

ISSN 2658-5340 (Print)



СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2010 г.

**CONSTRUCTION
PRODUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**№4
2023**

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

Журнал включен 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, и. о. зав. кафедрой «Информационные системы и технологии в строительстве», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
ГУРЬЕВА В. А. – д-р техн. наук, доцент, ГБОУ 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», начальник Управления 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, «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
КУЗЬМИНА Т. К. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ЛЕОНОВИЧ С. Н. – д-р техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь
ЛОГАНИНА В. И. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
МАИЛЯН Л. Р. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
МАЛАЕВ В. Ф. – канд. техн. наук, доцент, Ливанский Университет, факультет Искусств и Архитектуры, Ливанская Республика
МАКАРОВ К. Н. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет»
МЕНЕЙЛЮК А. И. – д-р техн. наук, профессор, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Республика Украина
МОЛОДИН В. В. – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (Сибстрин)
МОНДРУС В. Л. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
МОРОЗЕНКО А. А. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ОЛЕЙНИК П. П. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ПИКУС Г. А. – канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»
ПОПОВА О. Н. – канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова»
СУЛЕЙМАНОВА Л. А. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ «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 кафедры «Механика грунтов и геотехника», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ФЕДОСОВ С. В. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ХАВИН Д. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
ЦОПА Н. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ 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, ГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
ЮСУПОВ Х. И. – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технология строительной инженерии», Ташкентский архитектурно-строительный университет (ТАСУ)



СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ
Лapidус А. А., Абиленцев С. Ю. 3

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА УПЛОТНЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ
Жадановский Б. В., Базанов В. Е. 8

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ПОЛНОСТЬЮ РАЗРУШЕННОГО ЗДАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СИРИИ)
Кабанов В. Н., Алхамд А. 16

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО РАБОТ ПРИ МОНТАЖЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ
Олейник П. П., Абас М. Х. 21

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
Чвилев А. Н. 25

ЦИФРОВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ BIM – ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА
Лapidус А. А., Федосов С. В., Петрухин А. Б., Кеневей Э. 32

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПО УСТАНОВКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДУЛЕЙ В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ
Амбарцумян С. А., Колпаков А. М., Мочалин Д. Е., Аветисян Р. Т., Сьбева Ю. А. 37

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
Князева Н. В., Назойкин Е. А., Герц В. А., Медынцев А. А., Орехов А. А. 45

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА
Факторы организационной структуры в жизненном цикле строительного проекта
Федосов С. В., Петрухин А. Б., Федосеев В. Н., Овчинников А. Н. 55

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С УСТРОЙСТВОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
Ибрагимов Р. А., Шагиахметова Э. И., Галиев И. Х., Зигангирова Л. И. 60

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СОСТАВА ПРОЕКТНЫХ КОМАНД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
Лapidус А. А., Козлова А. Ю. 65

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЫБОРЕ ПОДРЯДЧИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ
Фахратов М. А., Аманов Р. Р. 69

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМФОРТНОГО ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В СТРОЕНИЯХ С ВЫСОКИМ КЛАССОМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
Современные цифровые решения организации технологии комфортного жизнеобеспечения в строениях с высоким классом энергоэффективности
Федосов С. В., Федосеев В. Н., Зайцева И. А., Воронов В. А. 77

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЖИЛЫХ ДОМОВ
Экба С. И., Билонда Трегубова Е., Кормухин С. А. 83

ПОВЫШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ
Говоруха П. А., Сафарян Г. Б., Есенов М. К. 88

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТОВ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА Михальченко О. Ю.	92
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ЭТАПЕ ОБОСНОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ Макаров А. Н., Гуреев М. В..	97
ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЯ АЭС Воронков И. Е., Островский Р. В., Агапов И. Г.	105
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ Фомин Н. И., Исупов Н. С.	111
КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ Маилян Л. Д., Зеленцов Л. Б., Пирко Д. В., Свитенко Д. В., Тузлуков К. В.	117
ВЫБОР СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ СУХОГО, ЖАРКОГО КЛИМАТА Фахратов М. А., Аль-Джубури Х. А. М. С., Полосина К. В.	123
ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ Опарина Л. А., Барзыгин Е. А.	128
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА Говоруха П. А., Кириллова М. А.	135
АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНЖИНИРИНГОВОЙ КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Пасканый В. И.	140
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ Маилян Л. Д., Зеленцов Л. Б., Пирко Д. В., Тузлуков К. В., Свитенко Д. В.	146
КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА Опарина Л. А., Гриднева Я. А.	150
ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ И НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ЭТАПАХ РЕАЛИЗАЦИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ Кузьмина Т. К., Абрегов М. А., Бабушкина Д. Д., Федоров С. В.	155
ПРАКТИКООРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕРСОНАЛА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА Морозенко А. А., Швеи Н. С.	160
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА Топчий Д. В., Касьяненко Н. С., Сокорева Е. В., Акимова Е. А.	165
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ РАБОТ ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ Фатуллаев Р. С., Ледовских Л. И., Боровкова А. Е., Седов Д. С.	169
КОНЦЕПЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ Лapidус А. А., Сафарян Г. Б.	176

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_3

Влияние комплексного показателя качества организационно-технологических решений на результаты строительства на Крайнем Севере

The Influence of the Integrated Quality Indicator of Organizational and Technological Solutions on the Results of Construction in the Far North

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@mgsu.ru

Lapidus Azari 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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, lapidus58@mgsu.ru

Абилентцев Станислав Юрьевич
Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, abilentsev@gmail.com

Abilentsev Stanislav Yurievich
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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, abilentsev@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрено влияние комплексного показателя качества организационно-технологических решений на результаты реализации строительных проектов на Крайнем Севере. Определены ключевые параметры, формирующие комплексный показатель качества организационно-технологических решений.

Приведены результаты экспертного опроса, проведено ранжирование факторов каждым экспертом по степени их влияния на реализацию строительных проектов в условиях Крайнего Севера, а также рассмотрены формирующие их параметры.

В работе уделено большее внимание факторам и параметрам, относящимся к стадии строительно-монтажных работ, а именно: зрелость системы управления проектами, качество работы службы технического заказчика, уровень автоматизации и механизации производства, квалификация инженерно-технических работников, качество логистического сопровождения, качество инженерно-бытовой подготовки производства, каче-

Abstract. The article considers the integrated quality indicator of organizational and technological solutions on the results of the implementation of construction projects in the Far North. The main parameters forming the integrated quality indicator of organizational and technological solutions are determined.

The results of the expert survey are presented, the factors are ranked by each expert according to the degree of their influence on the implementation of construction projects in the Far North, and the parameters forming them are considered.

The work pays more attention to the factors and parameters related to the stage of construction and installation work, namely: the maturity of the project management system, the quality of the technical customer service, the level of automation and mechanization of production, the qualification of engineering and technical workers, the quality of logistics support, the quality of

Введение
В последние годы во всем мире наблюдается тенденция к освоению и устойчивому развитию территорий Крайнего Севера и Арктики. Развитие регионов Крайнего Севера непосредственно связано с развитием инфраструктуры, формируемой посредством реализации инвестици-

ство исполнительной документации, природно-климатический фактор, качество ведения строительного контроля. Значимость факторов, относящихся к стадии проектно-изыскательских работ, определена равно важной как для объектов строительства в условиях Крайнего Севера, так и для иных условий строительства, и в данной работе не рассматривается.

Научно-техническая гипотеза исследования состоит в предположении о возможности оптимизации управления проектами в условиях Крайнего Севера на основе комплексного показателя качества организационно-технологических решений за счет выявления факторов со значениями, выходящими за пределы шкалы желательности, и приведения их к требуемым значениям.

Ключевые слова: комплексный показатель качества организационно-технологических решений, строительство, факторы, Крайний Север.

engineering and household preparation of production, the quality of executive documentation, natural and climate factor, quality of construction control. The significance of the factors related to the stage of design and survey work is determined to be equally important both for construction projects in the Far North and for other construction conditions, and is not considered in this work.

The scientific and technical hypothesis of the study consists in the assumption of the possibility of optimizing project management in the conditions of the Far North on the basis of the integrated quality indicator of organizational and technological solutions by identifying factors with values beyond the desirability scale and bringing them to the required values.

Keywords: the integrated quality indicator of organizational and technological solutions, construction, factors, the Far North.

онных строительных проектов. Таким образом, формируется потребность в нахождении инструмента повышения качества и оптимизации управления. Организационно-технологические решения, оказывая непосредственное влияние на процессы и результат, являются важным элементом в таком поиске. Введение комплексного показателя

теля качества организационно-технологических решений для оценки эффективности управления строительными проектами, реализуемыми в условиях Крайнего Севера, позволяет учесть все основные факторы, оказывающие влияние на достижение целей проектов – выполнение требуемого объема работ с необходимым качеством, в заявленные сроки и с затратами ожидаемого объема ресурсов [1].

Целью научно-исследовательской работы являются разработка и внедрение методики оптимизации управления проектами в условиях Крайнего Севера на основе комплексного показателя качества организационно-технологических решений, состоящего из множества параметров, оказывающих непосредственное влияние на различные области управления строительными проектами и на результат в целом [2].

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- 1) анализ опыта управления строительством в условиях Крайнего Севера и применяемых организационно-технологических решений, оказывающих влияние на реализацию строительных проектов;
- 2) формирование перечня ключевых факторов, оказывающих влияние на реализацию проектов в условиях Крайнего Севера, разделение последних на детерминанты.

В ходе выполнения обозначенной выше задачи по формированию ключевых факторов и разделения последних на детерминанты совместно с экспертами детально проведен анализ полного цикла строительного производства и сформирован перечень параметров, являющихся наиболее значимыми при строительстве в условиях Крайнего Севера [3]. Анализ произведен при реализации следующих проектов:

- 1. Строительство различных промышленных объектов для нужд ПАО «ГМК «Норильский никель»» в Арктической зоне на севере Красноярского края;
- 2. Строительство железнодорожных станций в рамках модернизации восточного полигона Дальневосточной железной дороги ПАО «Российские железные дороги» (Байкало-Амурская Магистраль) в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, на севере Амурской области;
- 3. Строительство тяговых подстанций Забайкальской и Дальневосточной железных дорог ПАО «Российские железные дороги» в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, на севере Забайкальского края и Амурской области;
- 4. Строительство объекта на Космодроме «Плесецк» для нужд МО РФ в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, на севере Архангельской области.

Учитывая нелинейность реализации проектов в условиях Крайнего Севера и, как следствие, отсутствие структурных зависимостей и четких математических значений, актуальным методом оценки влияния предложенных факторов на строительный процесс является метод экспертных оценок. Существуют различные методы экспертной оценки:

- 1) коллективной работы экспертной группы (дерево целей, мозговые атаки, сценарии, совещания);

- 2) индивидуального мнения экспертов (Дельфи, интервью, анкетный опрос).

В исследовании для выявления перечня факторов и оценки их влияния был использован метод индивидуального экспертного опроса посредством анкетирования.

Экспертами для данного опроса были привлечены специалисты строительной отрасли с высшим техническим образованием, значительным опытом проектирования и строительства, в том числе объектов на Крайнем Севере, включенные в национальные реестры специалистов (НО-СТРОЙ и НОПРИЗ).

Первоначально сформирован перечень из 14 факторов, затем проведено ранжирование факторов каждым экспертом по степени их влияния на реализацию строительных проектов в условиях Крайнего Севера [4].

По результатам экспертной оценки установлено, что значимость факторов, относящихся к стадии проектно-изыскательских работ, таких как:

- 1) качество исходно-разрешительной документации;
- 2) качество инженерных изысканий;
- 3) качество проектной документации;
- 4) качество рабочей документации;
- 5) соответствие решений требованиям СП, ГОСТ, других нормативно-технических документов [15],

– является равно важной как для объектов строительства в условиях Крайнего Севера, так и для иных условий строительства, в то время как на стадии строительно-монтажных работ выделяется большее количество факторов, применимых к Крайнему Северу. Таким образом, большее внимание в работе уделено факторам и параметрам, относящимся к стадии строительно-монтажных работ, а именно:

- 1) зрелость системы управления проектами;
- 2) качество работы службы технического заказчика;
- 3) уровень автоматизации и механизации производства;
- 4) квалификация инженерно-технических работников;
- 5) качество логистического сопровождения;
- 6) качество инженерно-бытовой подготовки производства;
- 7) качество исполнительной документации;
- 8) природно-климатический фактор;
- 9) качество ведения строительного контроля.

При определении требуемого количества экспертов для ранжирования обозначенных факторов применяется неравенство, содержащее коэффициент конкордации Кэнделла (W), количество экспертов (m) и количество ранжируемых объектов (n):

$$W \times m \times (n - 1) > x^2_r. \tag{1}$$

Подставив значения n и x^2_r (табличное значение критерия Пирсона), а также приняв минимальное значение коэффициента конкордации равным 0,5, получаем неравенство следующего вида:

$$m > \frac{2 \times 20,1}{(9 - 1)} > 5,03. \tag{2}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что для ранжирования 9 рассматриваемых факторов требуется участие минимум 6 экспертов (таблица 1).

Количество объектов	3	4	5–6	7–9
Количество экспертов	10	8	7	6

Табл. 1. Зависимости количества экспертов от количества ранжируемых объектов
Tab. 1. The dependence of the number of experts on the number of ranked objects

С учетом необходимости при дальнейших исследованиях проведения ранжирования параметров внутри факторов (минимальное количество которых составило 3 – при ранжировании внутри фактора «квалификация инженерно-технических работников»), для решения задач экспертного опроса на последующих этапах исследования требовалось 10 экспертов. С целью предотвращения возможных отклонений согласованности мнений экспертов было привлечено 20 экспертов, что в 2 раза больше требуемого и позволило избежать необходимости проведения дополнительных опросов экспертов.

Результат ранжирования данных факторов экспертами приведен в таблице 2: оценка произведена баллами от 1 до 9 – от факторов, влияние которых экспертами отмечается как менее значительное, к факторам, оказывающим наибольшее влияние на результат строительства, соответственно. Анализ ответов экспертов демонстрирует

Ф	Оценка значимости экспертами																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Σ
1	9	8	7	9	7	9	9	9	8	7	9	9	7	9	8	8	6	9	7	8	162
2	7	9	8	8	8	8	6	8	9	8	8	7	6	8	7	9	9	8	8	9	158
3	8	7	9	6	9	7	7	7	6	9	7	8	8	7	9	7	8	2	9	6	146
4	6	6	6	7	6	6	8	6	7	6	6	6	9	6	6	3	7	6	6	7	126
5	5	5	5	5	4	5	5	5	2	5	5	5	5	5	4	6	5	5	5	3	94
6	3	4	1	4	5	4	4	4	4	4	3	4	4	2	5	4	3	4	3	4	73
7	4	3	3	3	3	2	3	3	3	1	4	3	1	3	1	5	4	3	4	5	61
8	2	2	2	2	2	1	2	2	5	2	2	1	2	4	2	2	2	7	2	5	51
9	1	1	4	1	1	2	1	1	1	3	1	2	3	1	3	1	1	1	1	1	31

Табл. 2. Результат опроса экспертов
Tab. 2. The result of the expert survey

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1																			
2	0,9	1																		
3	0,8	0,8	1																	
4	0,9	1	0,7	1																
5	0,9	0,9	0,8	0,9	1															
6	0,9	1	0,8	1	0,9	1														
7	0,9	0,9	0,7	1	0,9	0,9	1													
8	1	1	0,8	1	0,9	1	0,9	1												
9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1											
10	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	1										
11	1	1	0,8	1	0,9	0,9	0,9	1	0,8	0,8	1									
12	1	0,9	0,8	0,9	0,9	1	0,9	1	0,7	0,9	1	1								
13	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,6	0,9	0,7	0,8	1							
14	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1	0,9	0,7	1						
15	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	1	0,8	0,9	0,9	0,8	1					
16	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,6	0,7	0,9	0,8	0,4	0,8	0,7	1				
17	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	1			
18	0,5	0,6	0,2	0,7	0,3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,3	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,4	1		
19	1	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1	0,3	1	
20	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	1	0,6	0,8	0,7	0,5	0,9	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	1

Табл. 3. Корреляция результатов опроса экспертов
Tab. 3. Correlation of expert survey results

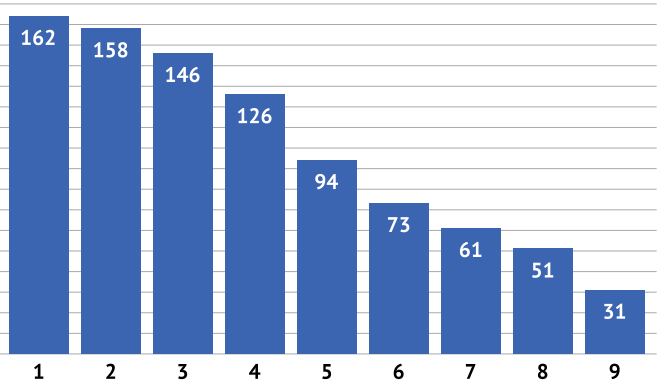


Рис. 1. Ранжирование факторов
Fig. 1. Ranking of factors

высокую корреляцию, сведения о которой представлены в таблице 3.

Приведенные факторы будут рассмотрены в порядке значимости, полученном в результате экспертной оценки и графически представленном на рисунке 1.

Обсуждение

Фактором, оказывающим наибольшее влияние на результаты строительства, явилась зрелость системы управления проектами организации-генподрядчика [5]. Основ-

ными параметрами, определяющими данный фактор, являются:

- 1) наличие действующих механизмов управления сроками;
- 2) наличие действующих механизмов управления рисками;
- 3) наличие действующих механизмов управления стоимостью;
- 4) наличие действующих механизмов управления коммуникациями;
- 5) наличие действующих механизмов управления качеством.

Качество работы службы технического заказчика отражают такие параметры, как:

- 1) наличие отдела производственно-технического обеспечения и постоянное присутствие специалистов подразделения на строительной площадке;
- 2) наличие подразделения по охране труда и технике безопасности и постоянное присутствие специалистов подразделения на строительной площадке [6];
- 3) наличие внутренней службы контроля качества, наличие стандартов предприятия и внутренних регламентов организации [7].

Для определения третьего фактора – уровня автоматизации и механизации производства – основными параметрами являются:

- 1) наличие современной высокопроизводительной техники;
- 2) наличие планов возникновения потребности в опасных частях;
- 3) наличие современных высокопроизводительных средств малой механизации;
- 4) наличие планов проведения технического обслуживания и ремонта;
- 5) наличие резерва используемой в строительстве техники [8].

Квалификация инженерно-технических работников определяется долей сотрудников от штатной численности, удовлетворяющих требованиям:

- 1) стаж работы не менее 5 лет в области деятельности;
- 2) высшее образование в области деятельности;
- 3) повышение квалификации в области деятельности.

Качество логистического сопровождения обуславливается следующими основными параметрами:

- 1) наличие возможности использования транспортных путей без ограничений межсезонных распутиц;
- 2) наличие организаций-перевозчиков в регионе проведения работ (контроль контрактной стратегии);
- 3) наличие возможности использования дорог общего пользования;
- 4) наличие возможности использования речного и морского транспорта (контроль контрактной стратегии);
- 5) наличие возможности использования авиационного транспорта (контроль контрактной стратегии [9].

Качество инженерно-бытовой подготовки производства охарактеризовано семью основными параметрами:

- 1) наличие резерва оборудования и механизмов жизнеобеспечения (автономные источники электро-снабжения, средства доставки питания и воды);
- 2) наличие проработанных схем поставки ГСМ (контроль наличия собственных ресурсов для накопления и перевозки топлива, разрешений ДОПОГ, а также контрактов и заявок на формирование резервов у поставщиков топлива);
- 3) наличие проработанных схем накопления и утилизации отходов (контроль наличия собственных ресурсов и контрактной стратегии, в том числе с учетом необходимости лицензирования данного вида деятельности);
- 4) наличие проработанных схем поставки воды (контроль наличия собственных ресурсов и контрактной стратегии, в том числе оформления разрешений на недропользование);
- 5) наличие проработанных схем поставки продуктов питания (контроль наличия собственных ресурсов для перевозки и хранения с соблюдением условий, а также контрактной стратегии);
- 6) наличие проработанных схем связи на распределенном объекте строительства;
- 7) наличие подготовленных автономных и мобильных вахтовых городков (контроль наличия собственных ресурсов и контрактной стратегии).

Седьмой фактор – качество исполнительной документации – определяется такими параметрами, как:

- 1) соответствие требованиям оформления исполнительной документации;
- 2) своевременность оформления;
- 3) комплектность исполнительной документации;
- 4) наличие электронного вида исполнительной документации.

Основными параметрами, определяющими природно-климатический фактор, являются:

- 1) наличие работ с ограничениями к производству в полярную ночь (ограничения действующими нормами и правилами, а также локальными нормативными документами собственников инфраструктуры);
- 2) наличие работ с необходимостью перемещения техники в летний период по землям с действующими ограничениями по давлению на грунт во избежание нарушения почвенно-растительного слоя и растепления вечномерзлых грунтов [10];
- 3) наличие работ с ветровыми ограничениями (ограничения действующими нормами и правилами, а также локальными нормативными документами собственников инфраструктуры);
- 4) наличие работ с ограничениями в период ледохода и ледостава (работы в береговых зонах, подводные работы в русловой части рек) [11].

Последним рассматриваемым фактором является качество ведения строительного контроля, которое обуславливается следующими параметрами:

- 1) своевременный входной контроль качества строительных материалов, изделий и оборудования;
- 2) оснащенность высокотехнологичными приборами и оборудованием;

- 3) своевременный операционный контроль качества отдельных строительных процессов или производственных операций;
- 4) своевременный приемочный контроль выполненных работ;
- 5) наличие подразделения строительного контроля;
- 6) постоянное присутствие строительного контроля на объекте строительства [12].

Заключение

Стоит еще раз отметить, что в работе выделены и рассмотрены факторы, специфичные для регионов Крайнего Севера, имеющие слабое освещение влияния на результаты строительства в изученной научной литературе.

Кроме того, многие элементы организационно-технологических решений, а также факторы и параметры, учитываемые при формировании комплексного показателя качества организационно-технологических решений, рас-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidus, A. A. Исследование комплексного показателя качества выполнения работ при возведении строительного объекта / А. А. Лapidus, Я. В. Шестерикова // Современная наука и инновации. – 2017. – № 3 (19). – С. 116–120.
2. Лapidus, A. A. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта / А. А. Лapidus // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 175–180.
3. Лapidus, A. A. Формирование интегрального потенциала организационно-технологических решений посредством декомпозиции основных элементов строительного проекта / А. А. Лapidus // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 114–123.
4. Бешелев, С. Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Москва : Наука, 1973. – 157 с. (Проблемы науки и технического прогресса).
5. Южэнь, Л. Эффективность управления строительными проектами / Л. Южэнь, А. Т. Зуб // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 10. – С. 84–89.
6. Крестин, П. А. Основные функции технического заказчика в строительстве и основы строительного контроля / П. А. Крестин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 11-1 (42). – С. 55–57.
7. Чередниченко, Н. Д. Современные подходы к формированию службы технического заказчика / Н. Д. Чередниченко, А. А. Семёнов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 2 (98).
8. Рогозина, К. С. Анализ критериев механизации и автоматизации производственных процессов / К. С. Рогозина // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Спецвыпуск 2. – С. 282–286.
9. Компанийцева, О. В. О процессе интегрирования логисти-

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Issledovanie kompleksnogo pokazatelya kachestva vypolneniya rabot pri vozvedenii stroitel'nogo ob`ekta [The study of the integrated indicator the quality of work at construction of the object] / A. A. Lapidus, Y. V. Shesterikova // Sovremennaya nauka i innovatsii [Modern science and innovation]. – 2017. – № 3 (19). – P. 116–120.
2. Lapidus, A. A. Potentsial ehffektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij stroitel'nogo ob`ekta [Efficiency Potential of Management and Technical Solutions for a Construction Object] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2014. – № 1. – P. 175–180.
3. Lapidus, A. A. Formirovanie integral'nogo potentsiala organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij posredstvom dekompozitsii osnovnykh elementov stroitel'nogo proekta [Formation of the integral potential of organizational and technological solutions through the decomposition of the main elements of

смотрены в научных трудах без учета их комплексной взаимосвязи [13].

Определение факторов, входящих в комплексный показатель качества, с выявлением зависимости между ними и эффективностью процесса организации строительства объектов в условиях Крайнего Севера делает возможным прогнозирование вероятности достижения требуемого результата на любой стадии строительства.

Актуальность задачи в области исследования также повышается тем, что комплексный показатель качества позволяет выявить факторы с отрицательными значениями и ввести необходимые корректирующие действия. Таким образом, становится возможным если не полностью исключить неэффективные организационно-технологические решения, то свести их к минимуму, оптимизируя тем самым процесс строительства в условиях Крайнего Севера [14].

- ческих функций инвестиционно-строительного проекта / О. В. Компанийцева // Проблемы современной экономики. – 2013. – № 2 (46). – С. 198–201.
10. Калинина, Н. С. Архитектурные, технические и дизайнерские особенности проектирования жилых и общественных зданий в условиях Крайнего Севера. / Н. С. Калинина, Н. В. Морозов // Системные технологии. – 2019. – № 3 (32). – С. 44–49.
11. Абдул Кадер, А.-Ш. Строительство и реконструкция зданий и сооружений с учетом природно-климатических факторов / А.-Ш. Абдул Кадер // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2 (45). – С. 66–71.
12. Скакалов, В. А. Организационно-технологическая модель ведения строительного контроля как средство сведения к минимуму финансовых и временных затрат заказчика / В. А. Скакалов // Символ науки. – 2017. – № 6. – С. 20–24.
13. Забудский, Д. А. Особенности строительства в условиях Крайнего Севера // Промышленное и гражданское строительство / Д. А. Забудский, Ю. В. Посвятенко // Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии», Пенза, 16–17 апреля 2019 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 44–49.
14. Асанкызы, А. Процесс управления и способы его оптимизации на примере управления проектами / А. Асанкызы // Вестник науки. – 2019. – Т. 3, № 5 (14). – С. 36–44.
15. Chahal, K. S. Quality control and quality assurance in design and construction / K. S. Chahal, P. Emerson // Journal of the institution of engineers (India): Architectural engineering division. – 2007. – Vol. 88, No. 29. – P. 16–20.

- a construction project] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – № 12. – P. 114–123.
4. Beshelev S. D. Ehkspertrnye otsenki [Expert Assessment] / S. D. Beshelev, F. G. Gurvich. – Moscow : Nauka Publ., 1973. – 163 p. (Problemy nauki i tekhnicheskogo progressa [Problems of Science and Technology Progress]).
5. Yuzhen, L. Ehffektivnost' upravleniya sroitel'nymi proektami [Efficiency of management of long-term projects]. / L. Yuzhen', A. T. Zub // Innovatsii i investitsii [Innovations and investments]. – 2020. – № 10. – P. 84–89.
6. 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 // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2015. – № 11-1 (42). – P. 55–57.
7. Cherednichenko, N. D. Sovremennye podkhody k formi-

rovaniyu sluzhby tekhnicheskogo zakazchika [Modern approaches to the formation of the technical customer service] / N. D. Cherednichenko, A. A. Semyonov // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – № 2 (98).

8. Rogozina, K. S. Analiz kriteriev mekhanizatsii i avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov [Analysis of criteria for mechanization and automation of production processes] / K. S. Rogozina // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra [Proceedings of the Krylov State Scientific Center]. – 2019. – Speczvypusk 2. – P. 282–286.

9. Kompanijceva, O. V. O protsesse integrirvaniya logisticheskikh funktsij investitsionno-stroitel'nogo proekta [About the process of integrating the logistics functions of an investment and construction project] / O. V. Kompanijceva // [Problems of modern Economics]. – 2013. – № 2 (46). – P. 198–201.

10. Kalinina, N. S. Arkhitekturnye, tekhnicheskiye i dizajnerskiye osobennosti proektirovaniya zhilykh i obschestvennykh zdaniy v usloviyakh Kraynego Severa [Architectural, technical and design features of the design of residential and public buildings in the Far North] / N. S. Kalinina, N. V. Morozov // Sistemniye tekhnologii [System technologies]. – 2019. – № 3 (32). – P. 44–49.

11. Abdul Kader, A.-Sh. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya zdaniy i sooruzheniy s uchetom prirodno-klimaticheskikh faktorov [Construction and reconstruction of buildings and structures taking into account natural and climatic factors] / A.-Sh. Abdul Kader // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of

the Don]. – 2017. – № 2 (45). – P. 66–71.

12. Skakalov, V. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya model' vedeniya stroitel'nogo kontrolya kak sredstvo svedeniya k minimumu finansovykh i vremennykh zatrat zakazchika [Organizational and technological model of conducting construction control as a means of minimizing the financial and time costs of the customer] / V. A. Skakalov // Simvol nauki [Symbol of Science]. – 2017. – № 6. – P. 20–24.

13. Zabudsky, D. A. Osobennosti stroitelstva i usloviyakh Kraynego Severa [Peculiarities of construction in the Far North] / D. A. Zabudsky, Y. V. Posvyatenko // Sbornik statej XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Goroda Rossii: problemy stroitel'stva, infenernogo obespecheniya, blagoustrojstva i ehkologii», Penza, 16–17 aprelya 2019 goda [Collection of articles of the XXI International Scientific and Practical Conference «Cities of Russia: problems of construction, infrastructure, landscaping and ecology», Penza, April 16–17, 2019]. – Penza : Penza State Agrarian University, 2019. – P. 44–49.

14. Asankyzy, A. Protsess upravleniya i sposoby ego optimizatsii na primere upravleniya proektami [The management process and ways to optimize it on the example of project management] / A. Asankyzy // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2019. – № 5 (14). – P. 36–44.

15. Chahal, K. S. Quality control and assurance in design and construction / K. S. Chahal, P. Emerson // Journal of the Institute of Engineers (India): Architectural and Engineering Department. – 2007. – Vol. 88, No. 29. – P. 16–20.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2023_4_8

Организация и проведение работ по контролю качества уплотнения земляных сооружений

Organization and Performance of Works on Quality Control of Compaction of Earthworks

Жадановский Борис Васильевич

Кандидат 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

Zhadanovsky Boris Vasilievich

Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26

Базанов Владимир Евгеньевич

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, Bazanov_kim@mail.ru

Bazanov Vladimir Evgenievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, Bazanov_kim@mail.ru

Аннотация. Цель. Цель публикации заключается в выявлении и анализе особенностей организации и проведения строительного контроля уплотнения грунтовых насыпей, обзор методического и инструментального обеспечения контроля степени уплотнения, определении факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений по контролю уплотнения на строительной площадке.

Методы. Аналитический обзор научной литературы по контролю уплотнения грунтовых насыпей, применяемым методам и оборудованию. Анализ требований нормативно-технических и методических документов.

Результаты. Выполнен обзор отечественных и зарубежных исследований по организации и применению различных ме-

тодов контроля качества уплотнения насыпей на строительной площадке. Рассмотрены действующие нормативно-технические документы и требования по контролю качества работ. Приведены рекомендации по планированию и организации проведения контроля, данные по применяемым традиционным и разрабатываемым перспективным методам, видам инструмента и оборудования. Отмечены преимущества и недостатки различных методов контроля. Сформулированы факторы, влияющие на выбор методов и повышение эффективности работ по контролю качества уплотнения. Обсуждается возможность применения риск-ориентированного подхода к контролю качества на основе оценки организационно-технологической надежности процессов производства земляных работ.

Выводы. Основными методами контроля уплотнения грунтов при возведении насыпей являются косвенные методы. Большое разнообразие используемых в настоящее время приборов и оборудования позволяет обеспечить качество земляных сооружений. Однако для получения корреляционных зависимостей, связывающих показания приборов с параметрами прочности и деформируемости испытываемого грунта, необходимо обязательное проведение лабораторных испытаний прямыми методами.

Использование методов, основанных на непрерывном контроле уплотнения непосредственно в процессе производства

Abstract. Object. This paper is aimed at finding and analyzing the features of construction control of the technological process of earthworks erection, methodological and tooling support of the process of layer-by-layer formation of the embankment body.

Methods. The requirements of standard technical and methodical documents concerning the performance of earthworks construction quality control have been analyzed. Analytical overview of scientific literature on the construction control of earthworks and methods and equipment applied has been done.

Results. Current standard technical documents and requirements to quality control during embankment erection works are overviewed. Data on the types of conventional earthworks quality control tools and equipment in use and prospective ones under development are given. The advantages and disadvantages of different methods of control are noted. The possibility of applying a risk-oriented approach to quality control based on the assessment of organizational and technological reliability of earthworks production processes is discussed. The matters of control planning and control procedures are addressed.

Conclusions. The main methods of soil compaction monitor-

Введение

Качеством выполненных земляных работ по возведению насыпей, выступающих в качестве оснований зданий и сооружений или транспортных коммуникаций, во многом обеспечиваются заданные характеристики безопасности объектов, что требует постоянного контроля за ходом технологических процессов на всех этапах строительства. Разнообразие объектов строительства и сопутствующих грунтовых условий вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по совершенствованию контроля технологического процесса послойного возведения насыпей.

Прогнозирование и техническое регулирование организационного и технологического процессов на основе обобщения опыта реального строительства, лабораторных испытаний грунта, анализа исследований по развитию методов контроля качества, а также использования методов математической статистики позволяют выделять этапы возведения насыпи, требующие проведения мониторинга и постоянного контроля качества работ для недопущения возникновения брака [1; 2; 3].

При определении характеристик уплотняемого грунта используют прямые и косвенные методы. Прямые методы основаны на непосредственном измерении в лабораторных условиях массы и объема небольших извлеченных из массива образцов грунта. Косвенные методы позволяют определять плотность грунтов прямо в массиве и отличаются повышенной производительностью, достаточной для практических целей точностью. Они могут применяться при однократных и многократных определениях [4], в т. ч. при необходимости проведения дополнительного контроля уплотнения в полевых условиях всякий раз, когда меняется тип (характеристики) укладываемого

работ, позволяет оперативно реагировать на изменение внешних условий, изменение состояния укладываемого грунта или разновидностей грунта в случае его замены, замену используемой строительной техники с отличными от первоначальных параметрами. Такой подход способствует повышению эффективности регулирования и управляемости технологического процесса устройства земляных сооружений.

Ключевые слова: земляные сооружения, строительный контроль, возведение насыпей, послойное уплотнение грунтов, оборудование для контроля качества, полевая грунтовая лаборатория.

ing during erection of embankments are indirect methods. A great variety of currently used instruments and equipment allows to ensure the quality of earthwork structures. However, to obtain correlation dependencies relating instruments' readings and parameters of strength and deformability of soil under test, it is absolutely necessary to perform laboratory tests by direct methods.

Methods based on continuous monitoring of compaction straight in the course of works make it possible to respond promptly to any changes in the external conditions, change in the condition of soil being laid or types of soil if the latter is replaced, choice of building machines to be used, which have other parameters than thought initially. Such approach assists improved efficiency of regulation and manageability of the technological process of earthworks erection and assurance of a more even, in the overall scope, distribution of the required characteristics of an earthwork structure.

Keywords: earthwork structures, construction control, erection of embankments, layer-by-layer compaction of soils, quality control equipment, field soil laboratory.

грунта [5; 6]. Проблема того, какой метод является более точным, остается актуальной и обсуждается техническим и научным сообществом [7–9].

В целях совершенствования методов экспресс-оценки качества уплотнения грунтов разрабатываются математические модели, связывающие коэффициент уплотнения грунта с коэффициентом увлажнения при испытании различными приборами (динамическими плотномерами, динамическими конусными пенетрометрами) [10; 11].

Разрабатываются новые методики для неразрушающей оценки плотности насыпи в режиме реального времени в процессе уплотнения: измерение деформации поверхности с использованием лазерных источников и разработка моделей для привязки измеренных параметров к плотности грунта [12; 13]. Совершенствование методов тестирования в месте производства работ и контрольно-измерительных приборов позволяет ускорить сроки реализации проектов.

В настоящее время методы контроля качества в основном сталкиваются с проблемами точного определения качества уплотнения, составления нормативов (спецификаций), связанных с контролем качества и стандартизации процесса. Для решения этих проблем дополнительно обозначаются некоторые потенциальные направления исследований, в том числе: разработка комплексных систем измерения; развитие математических моделей сложной динамики уплотнения; стандартизированный рабочий процесс применения и оценка затрат и выгод в контексте полного жизненного цикла; методы и технологии уплотнения земляных работ, основанные на междисциплинарной интеграции [14; 15].

Ведутся исследования по разработке модульных решений при выборе оборудования для контроля и приемки

работ по уплотнению насыпей в зависимости от масштаба и характеристик сооружений. При этом формируемые решения должны отвечать следующим требованиям: контроль должен основываться на полевых измерениях модуля упругости и влажности грунта; методы контроля и применяемое оборудование должны соответствовать уплотняемым грунтам; должны учитываться принципы механики ненасыщенного грунта; в спецификацию необходимо включать только доступные модели, устройства и методы [16].

Цель статьи заключается в выявлении и анализе особенностей организации и проведения строительного контроля уплотнения грунтовых насыпей, обзоре методического и инструментального обеспечения контроля степени уплотнения, определении факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений по контролю уплотнения на строительной площадке.

Материалы и методы

Выполнен обзор отечественных и зарубежных исследований по организации и применению различных методов контроля качества уплотнения насыпей на строительной площадке.

Приведены действующие нормативно-технические документы и требования по контролю качества при проведении работ по устройству насыпей.

Рассмотрены вопросы деятельности полевых лабораторий при контроле качества работ, оснащение их обученным квалифицированным персоналом и оборудованием.

Проведен анализ особенностей используемых методов контроля и применяемого оборудования, оказывающих влияние на организацию проведения работ по определению качества уплотнения.

Результаты

Организацию и проведение работ по контролю качества уплотнения необходимо планировать с учетом особенностей применяемых методов контроля, используемого оборудования и типа грунтов:

- статическое и динамическое зондирование (пенетрационные методы): для статических пенетрометров точность и отсутствие разброса результатов измерений обеспечивается постоянной скоростью вдавливания пенетрометра в грунт, при этом усилие задавливания зонда-наконечника может достигать значительных величин, что требует от исполнителей не только навыков, но и физической силы; динамические плотномеры – наиболее простые, надежные и легкие в использовании, отличаются более длительным временем измерения по сравнению со статическими пенетрометрами. Замеры на участке производства работ следует проводить непосредственно после уплотнения, т. к. при снижении влажности грунта ниже оптимальной пенетрометры показывают завышенные результаты. Для

№	Обозначение	Название
1	СП 45.13330.2017	Земляные сооружения, основания и фундаменты
2	СП 407.1325800.2018	Земляные работы. Правила производства работ способом гидромеханизации
3	СП 78.13330.2012	Автомобильные дороги
4	СТО НОСТРОЙ 2.25.23-2011	Строительство земляного полотна для автомобильных дорог. Часть 1. Механизация земляных работ при сооружении земляного полотна автомобильных дорог

Табл. 1. Нормативные документы по контролю качества
Tab. 1. Regulatory documents on quality control

- исключения ошибок определения степени уплотнения следует организовать работу с одновременным использованием прямых методов определения плотности;
- установки динамического нагружения обеспечивают высокую эффективность (по сравнению с другими методами) для щебеночных насыпей и оперативность получения результата: легкая переносная установка не требует использования механизмов, в каждой точке измерения – три контрольных сбрасывания груза;
- определение модуля упругости статическим штампом достаточно точное, но трудоемкое испытание, требующее (кроме штампа, домкрата и измерительного устройства) применения автотранспорта для упора домкрата в раму транспортного средства; значительная длительность испытаний в одной точке обусловлена пошаговым нагружением (одно- или двухцикловым) с измерением деформаций через 10–15 минут до условной стабилизации деформаций грунта на каждой ступени нагружения;
- методы радиоизотопных измерений требуют при организации работ дополнительных мероприятий по обеспечению правил радиационной безопасности (при хранении, перевозке и использовании приборов), проведение тарировки оборудования (с использованием прямых методов) для каждого вида грунтов, обладают высокой чувствительностью к наличию камней;
- методы электромагнитного зондирования требуют определения прямыми методами большого числа показателей каждой разновидности контролируемого грунта при тарировке прибора. Точность определения этих параметров определяет точность измерений при контроле. Специальные требования предъявляются к выбору и подготовке мест измерений, а также к внешним условиям: не ближе 2 м от крупных металлических объектов и 3 м от электрокабелей, измерения следует выполнять в сухую погоду (после дождя – через 2 часа). Достаточно длительное время испытания для одной точки (среднее значение из пяти измерений).

Выделены факторы, влияющие на повышение эффективности организации и осуществления строительного контроля: продолжительность выполнения испытаний и оперативность получения результатов; густота сетки точек контроля; надежность результатов контроля; доступность оборудования и методик испытаний.

Обсуждение

В Российской Федерации контроль качества работ по возведению насыпных и намывных земляных сооружений определен в ряде нормативно-технических документов, регламентирующих объемы контроля и предельные отклонения параметров от требуемых значений (таблица 1).

№	Контролируемые параметры	Предельные отклонения	Объем контроля
1	Плотность грунта обратных засыпок	Не ниже проектной (ниже на 0,06 г/см³ не более чем в 20 % определений)	Устанавливается в ППР
2	Плотность сухого грунта для дорожных и гидротехнических насыпей, а также подушек под фундаменты	Не ниже проектной в 90 и 80 определений соответственно при летней и зимней отсыпке	Устанавливается в РД; не менее одного определения на 300 м² насыпи; для дорожных насыпей: при высоте до 3 м – не реже чем через 200 м, более 3 м – не реже чем через 50 м; число точек измерений в поперечнике – при ширине насыпи до 20 м – 3, более 20 м – 5
3	Плотность грунта насыпных грунтовых оснований под полы	Не ниже проектной (допускается ниже не более чем в 20 % измерений)	Устанавливается в РД; не менее одного определения на 200 м² при толщине до 1 м и на 300 м² при толщине более 1 м
4	Влажность грунта в теле насыпи	В пределах установленных РД (допускаются отклонения не более, чем в 10 % определений)	Устанавливается в РД; не менее одного определения на 20–50 тыс. м³ насыпи

Табл. 2. Технические требования при устройстве насыпей
Tab. 2. Technical requirements for the construction of embankments

Мероприятия строительного контроля при производстве земляных работ проводятся непосредственно строительной организацией (подрядчиком), представителями застройщика и авторского надзора. Технический надзор осуществляется, при необходимости, органами госстройнадзора.

Контроль отсыпки и разравнивания грунта насыпи, планировки верха насыпи и откосов выполняется инженерно-техническим персоналом подрядной организации (мастером и геодезистом) инструментальными методами. При определении свойств и характеристик укладываемого грунта (гранулометрического состава, физико-химических параметров) требуется привлечение специализированной грунтовой лаборатории.

В зависимости от объемов укладываемого грунта и условий производства работ текущий контроль может осуществляться контрольными постами – при суточном объеме укладки грунта до 3500 м³, полевыми лабораториями или грунтовой лабораторией в составе строительной лаборатории – при суточном объеме до 20000 м³. Указанные параметры являются ориентировочными и в некоторых случаях могут отличаться от фактических. Штатная обеспеченность работниками, помещениями и оборудованием контрольных постов, полевых и грунтовых лабораторий разрабатывается строительной организацией с учетом используемых методов и приборов контроля.

Наиболее подробно методологические вопросы организации, обеспечения и проведения геотехнического контроля грунтовыми лабораториями рассматривались в ранее разработанных «Руководстве по геотехническому контролю при производстве земляных работ» (ЦНИИОМТП Госстроя СССР) и РД 34 15.073-91 «Руководство по геотехническому контролю за подготовкой

оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве» (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева).

Важнейшим критерием качества выполненных работ по устройству насыпей является достижение плотности уложенного грунта не ниже проектной. Качество уплотнения и влажность отсыпаемого в каждый слой грунта определяются в ходе проведения операционного контроля. Степень уплотнения грунта характеризуется коэффициентом уплотнения – отношением достигнутой в насыпи плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта, полученной прибором стандартного уплотнения (типа прибора СОЮЗДОРНИИ) по ГОСТ 22733-2016.

Объем контрольных измерений зависит от вида и назначения возводимых насыпей (таблица 2).

В процессе укладки насыпей текущие значения плотности определяются методами, подразделяемыми на две группы: прямые (методы непосредственных измерений) и косвенные. В таблице 3 приведены основные стандарты, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (приказ Росстандарта от 02.04.2020 № 687).

Контроль плотности и влажности грунтовых слоев прямыми методами регламентированы ГОСТ 5180-2015. Эти объемно-весовые методы (например, метод режущего кольца) основаны на отборе проб грунта из массива и являются самыми точными, однако они характеризуются достаточно высокой трудоемкостью при отборе проб и значительными временными затратами при определении влажности кернов.

Поэтому для оперативной оценки состояния уплотнения грунтов применяют косвенные экспресс-методы,

№	Обозначение	Название
1	ГОСТ 30416-2020	Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения
2	ГОСТ 22733-2016	Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности
3	ГОСТ Р 70456-2022	Дороги автомобильные общего пользования. Грунты. Определение оптимальной влажности и максимальной плотности методом Проктора
4	ГОСТ Р 70457-2022	Дороги автомобильные общего пользования. Грунты. Метод определения калифорнийского числа (CBR) для оценки несущей способности грунта
5	ГОСТ 5180-2015	Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик плотности
6	ГОСТ 30672-2019	Грунты. Полевые испытания. Общие положения
7	ГОСТ 20276.1-2020	Грунты. Метод испытания штампом
8	ГОСТ 19912-2012	Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием
9	ГОСТ Р 70260-2022	Грунты. Методы полевого определения плотности крупнообломочных грунтов
10	ГОСТ 23061-2012	Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности

Табл. 3. Государственные стандарты по методам испытаний грунтовых насыпей
Tab. 3. State standards for testing methods of soil embankments



Рис. 1. Пенетromетры для оперативного контроля качества уплотнения:
а) статический (источник: <https://geotest.ru/>),
б) динамический (источник: <https://geobond.ru/>)
Fig. 1. Penetrometers for quick response quality control of compaction:
a) static (source: <https://geotest.ru/>),
b) dynamic (source: <https://geobond.ru/>)

позволяющие получать результаты непосредственно на строительном объекте в процессе выполнения работ. Лабораторные испытания применяются, как правило, на начальных этапах (на стадии опытного уплотнения) или для контроля точности экспресс-методов в процессе производства работ. Косвенные методы характеризуются большим разнообразием и заключаются в измерении различных характеристик грунта с последующим определением плотности на основе построенных корреляционных зависимостей:

- статическое и динамическое зондирование;
- испытания несущей способности установками динамического нагружения;
- определение модуля упругости статическим штампом;
- методы радиоизотопных измерений;
- методы электромагнитного зондирования.

Использование косвенных экспресс-методов связано с обязательным процессом калибровки и тарировки оборудования, построением корреляционных таблиц и графиков. Эти процессы проводят до начала работ по контролю уплотнения грунта, одновременно с процессом пробного уплотнения. Возможность применения каждого из рассмотренных методов зависит от свойств контролируемых грунтов – разновидности грунта, его гранулометрического состава, влажности, температуры и др.

Методы статического и динамического зондирования (ГОСТ 19912-2012) основаны на измерении показателей

сопротивления грунта внедрению зонда – штанги с коническим или цилиндрическим наконечником – под действием, соответственно, статической или динамической вдавливающей нагрузки. Приборами, реализующими эти методы, являются пенетromетры статического действия (РП-1, В-1, ПСГ-МГ4 (РФ), S086 (Италия)) и динамические пенетromетры типа Д-51, ДПУ (рисунок 1). Сопротивление грунта погружению зонда сильно зависит от влажности, поэтому при влажности грунта отличающейся от оптимальной, коэффициент уплотнения, определенный при помощи пенетromетра, может отличаться от истинного. Для исключения ошибок целесообразно применять и прямые методы определения плотности.

Для определения деформативности рабочих слоев земляных насыпей используются установки динамического нагружения или динамические плотнометры: ПДУ-МГ4 «Удар», ДИНА-3М, Dynatest FWD, TERRATEST 5000 blu, ZFG 3.0 (рисунок 2). Метод динамического нагружения грунта через жесткий штамп заключается в многократном сбрасывании на штамп груза и измерении величины осадки штампа. По полученным в результате испытаний значениям кратковременного штампового модуля упругости грунта и корреляционным таблицам, связывающих кратковременные модули со статическим модулем и коэффициентом уплотнения, контролируется степень уплотнения. Метод применяется для грунтовых насыпей, в том числе неоднородного гранулометрического состава – крупнообломочных, гравийных и щебеночных.



Рис. 2. Установка динамического нагружения (динамические плотнометры) (источник: <https://www.geo-ndt.ru>)
Fig. 2. Dynamic loading unit (dynamic density meters) (source: <https://www.geo-ndt.ru>)

Требования к испытательному оборудованию и методам проведения испытаний установками динамического нагружения регламентируются СТО АВТОДОР 10.3-2018 (вместо ранее использовавшегося СТ СЭВ 5497-86).

Определение модуля упругости статическим штампом выполняется согласно нормативным документам ГОСТ 20276.1-2020, ОДМ 218.5.007-2016, DIN 18134, СТО АВТОДОР 10.3-2018. Нагружение грунта производится вертикальной статической нагрузкой посредством гидроцилиндра через нагрузочную плиту, с измерением просадки штампа от нагрузки. Образцы статических штамповых установок приведены на рисунке 3.

Благодаря относительно простому использованию (с позиций квалификации исполнителей), стоимости, мобильности и безопасности, эти установки являются наиболее распространенным и применяемым оборудованием.

Методы радиоизотопных измерений (ГОСТ 23061-2012) основаны на эффектах ослабления и рассеяния гамма-излучения в грунте. Испытания производятся с использованием радиоизотопных плотнометров, влагоплотнометров и нейтронных влагомеров – поверхностных и глубинных гамма-плотнометров типа ПГП-1, ГГП-1, влагоплотнометры 3440 TROXLER, MC3 Elite и др. Этими



Рис. 3. Статическая штамповая установка (источник: <https://ic-globalem.pro/>)
Fig. 3. Static plate testing unit (source: <https://ic-globalem.pro/>)

методами можно осуществлять контроль плотности для грунтов всех видов за исключением крупнообломочных. При использовании радиоизотопных приборов (рисунок 4) необходимо соблюдать требования безопасности по транспортировке и обращению с радиоактивными материалами: СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010); СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009); Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП 053-16). Несмотря на возможность быстрого получения результатов контроля, применение этих методов зачастую ограничивается необходимостью соблюдения обязательных лицензионных требований радиационной безопасности и психологическим фактором исполнителей [8; 17].

Методом электромагнитного зондирования, регламентированным ОДМ 218.3.059-2015, измеряются компоненты электромагнитного поля в уплотняемой насыпи, т. е. фиксируется изменение значений диэлектрической проницаемости грунта в зависимости от его плотности. До начала работ по контролю уплотнения, одновременно с процессом пробной укатки на площадке строительства, приборы электромагнитного зондирования типа IWIN-4114, SDG-200 (рисунок 5) проходят тарировку. Область применения метода – насыпи из несвязных, однородных по составу песчаных и связных глинистых грунтов. Необходимо учитывать, что диэлектрическая проницаемость грунта в значительной мере зависит от наличия в грунте воды и крупных включений, например, камней.

Для повышения надежности контроля степени уплотнения и локализации недоуплотненных участков грунтовых насыпей целесообразно увеличение количества измерений по сравнению с нормируемым – сгущение сетки контроля. Постоянное измерение плотности во время уплотнения также будет способствовать поддержанию однородности плотности, снижая вероятность чрезмерных локальных деформаций. Одна из методологий основана на измерении деформации поверхности непосредственно под грунтоуплотняющими катками с использованием источников лазерного излучения и привязкой измеренных параметров к плотности грунта [12]. Другим вариантом устройства, позволяющего контролировать про-



Рис. 4. Влагоплотномеры грунтов радиоизотопные:
а) плотномер (источник: <https://www.institutdrhaag.de/>),
б) нейтронный влагомер (источник: <https://kimaro.com.sg/>)
Fig. 4. Nuclear gauges for the measurement of soil moisture content and density:
a) density meter (source: <https://www.institutdrhaag.de/>),
b) neutron moisture meter (source: <https://kimaro.com.sg/>)

цесс уплотнения грунтов от прохода к проходу, является установка механического индикатора непосредственно на грунтоуплотняющем катке. Принцип работы основан на измерении непосредственно в процессе уплотнения величины проседания грунта под катком по отношению к неуплотненному грунту рядом с катком. При известной начальной плотности грунта можно отслеживать ее изменение в процессе уплотнения [18].

Для снижения затрат при осуществлении контрольных мероприятий представляется целесообразным рассмотрение подхода, при котором количество проверок (испытаний) определяется с учетом оценки рисков организационно-технологической надежности строительного производства. За основу расчета должны приниматься сведения о прогнозируемом количестве критических дефектов, возникающих на конкретном этапе строительства, и исключаться незначительные аспекты контроля, не влияющие на безопасность объекта, в нашем случае – при возведении насыпей. Такой подход использовался для повышения эффективности органов стройнадзора на этапе производства земляных работ [19; 20].

Анализ объемов контрольных определений, используемых методов и оборудования для контроля качества насыпей позволяет выделить факторы, влияющие на эффективность строительного контроля:

- продолжительность выполнения испытаний и оперативность получения результатов могут быть сокращены использованием более совершенного испытательного оборудования и методов обработки результатов;
- густота сетки точек контроля может быть увеличена использованием ускоренных экспресс-методов и методов непрерывного контроля качества уплотнения;
- надежность результатов контроля достигается дублированием испытаний различными методами, как прямыми, так и косвенными;
- доступность оборудования и методик испытаний может обеспечиваться, с одной стороны, поддержанием актуального реестра производителей и системодержателей, а с другой – наличием испы-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полянский, А. В. Мониторинг технологического процесса возведения насыпей земляного полотна : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Полянский Алексей Викторович ;



Рис. 5. Приборы электромагнитного зондирования
(источники: <https://www.iwintesting.com/>; <https://vek-pro.ru/>)
Fig. 5. Electromagnetic sounding instruments
(sources: <https://www.iwintesting.com/>; <https://vek-pro.ru/>)

тательного оборудования с учетом сокращения зарубежных образцов и необходимости расширения производства отечественных приборов;

- системность и стандартизация в проведении строительного контроля путем модульного подхода к составлению спецификаций (комплектов) оборудования для испытаний грунта в зависимости от проектных решений, вида грунтов, грунтоуплотняющей техники, наличия доступных методик и оборудования, квалификации исполнителей и лицензионных требований к исполнителям.

Заключение

Контроль уплотнения является фундаментальной частью обеспечения качества земляных работ при устройстве насыпей и необходим для обеспечения долгосрочной стабильности и работоспособности сооружений.

Осуществление мероприятий строительного контроля возлагается на полевые лаборатории. Основными методами оперативного контроля работ на строительной площадке являются косвенные методы, с обязательным подтверждением прямыми лабораторными испытаниями. При организации работ по строительному контролю следует исходить из интенсивности строительных работ по укладке грунта с учетом особенностей существующих методов контроля и соответствующего оборудования, влияющих на оперативность и достоверность результатов.

Процедуры и методы строительного контроля определены нормативно-технической и методической документацией. Тем не менее, в настоящее время продолжают исследования по совершенствованию методов и оборудования для оценки качества уплотнения, в т. ч. с применением систем непрерывного контроля, интеллектуальных систем контроля и регулирования технологического процесса укладки и уплотнения насыпей.

Выбор эффективных организационно-технологических решений по контролю уплотнения на строительной площадке должен основываться на ряде факторов, таких как доступность оборудования и методики испытаний для соответствующих грунтов, продолжительность выполнения испытаний, оперативность и надежность получения результатов, густота сетки точек контроля.

- Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). – Москва, 2006. – 24 с.
2. Топчий, Д. В. Организационно-технические решения по обеспечению качества строительного монтажа работ на раз-

личных этапах жизненного цикла объекта строительства / Д. В. Топчий. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.2.283-292 // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, вып. 2. – С. 283–292.

3. Look, B. Quality Control Specifications for Large Earthworks Projects / B. Look. – DOI 10.3850/978-981-07-3560-9_04-0413 // International Conference on Ground Improvement & Ground Control. – 2012. – P. 1113–1118.
4. Look, B. G. An Earthworks Quality Assurance Methodology Which Avoids Unreliable Correlations / B. G. Look // Advances in Transportation Geotechnics IV : Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Cham, 2021. – 2022. – Vol. 166. – P. 179–192. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77238-3_14.
5. Innovation in earthwork practices / I. H. Abd Hamid, N. Narendranathan, L. E. Choy, Q. N. B. Rusli. – DOI 10.1088/1757-899x/512/1/012054 // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 512. – P. 012054.
6. Huber, S. Compaction control of secondary materials used in earthworks / S. Huber, C. Henzinger, D. Heyer, // Geotechnik. – 2019. – Vol. 42, № 4. – P. 99–211. – URL: <https://doi.org/10.1002/gete.201900007>.
7. Blanco, L. Control of compaction on embankment dam core by nuclear density meter and sand cone test / L. Blanco, A. Santos-Ferreira, A. P. F. Da Silva // European Conference in Geo-Environment and Construction, Tirana, Albania, 2015. – 2015. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/293793137>.
8. Berney, E. S. Evaluation of Nonnuclear Soil Moisture and Density Devices for Field Quality Control / E. S. Berney, J. D. Kyzar // Transportation Research Record. – 2012. – Vol. 2310, Iss. 1. – P. 18–26. – URL: <https://doi.org/10.3141/2310-03>.
9. McLain, K. W. Contractor-furnished compaction testing: searching for correlations between potential alternatives to the nuclear density gauge in Missouri highway projects / K. W. McLain, D. D. Gransberg. – DOI 10.1504/IJQI.2017.090532 // International Journal of Quality and Innovation. – 2017. – Vol. 3. – № 2-4. – P. 91–106.
10. Александрова, Н. П. Совершенствование методов экспресс-оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна строительства автомобильных дорог / Н. П. Александрова, Т. В. Семенова, К. Ю. Стригун // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 4 (44). – С. 46–57.
11. Tatsuoka, F. Importance of Controlling the Degree of Saturation in Soil Compaction / F. Tatsuoka, A. Correia. – DOI 10.1016/j.proeng.2016.06.070 // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 143. – P. 556–565.
12. Proximal Sensing of Density During Soil Compaction by

REFERENCES

1. Polyanskij, A. V. Monitoring tekhnologicheskogo protsessa vozvedeniya nasypej zemlyanogo polotna : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.11 [Monitoring of the technological process of the construction of embankments of the roadbed : abstract. diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.11] / Polyansky Alexey Viktorovich ; Moskovskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya [Moscow State University of Railway Transport (MIIT)]. – Moscow, 2006. – 24 p.
2. Topchij, D. V. Organizatsionno-tekhnicheskie resheniya po obespecheniyu kachestva stroitel'no-montazhnykh rabot na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla ob'ekta stroitel'stva [Organizational and technical solutions to ensure the quality of construction and installation work at various stages of the life cycle of the construction object] / D. V. Topchij. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.2.283-292 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2023. – Vol. 18, iss. 2. – P. 283–292.
3. Look, B. Quality Control Specifications for Large Earthworks Projects / B. Look. – DOI 10.3850/978-981-07-3560-9_04-0413 // International Conference on Ground Improvement & Ground Control. – 2012. – P. 1113–1118.
4. Look, B. G. An Earthworks Quality Assurance Methodol-

ogy Which Avoids Unreliable Correlations / B. G. Look // Advances in Transportation Geotechnics IV : Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Cham, 2021. – 2022. – Vol. 166. – P. 179–192. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77238-3_14.

13. Deflection-Based Field Testing for Quality Management of Earthwork / C. Tirado, A. Fathi, S. Rocha, M. Mazari, S. Nazarian. – Center for Transportation Infrastructure Systems ; Texas University of Texas at El Paso. – El Paso, 2018. – P. 187. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330503364-Deflection-Based_Field_Testing_for_Quality_Management_of_Earthwork.
14. A Review on Roller Compaction Quality Control and Assurance Methods for Earthwork in Five Application Scenarios / Q. Zhang, Z. An, Z. Huangfu, Q. Li // Materials. – 2022. – Vol. 15, Iss. 7. – P. 2610. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma15072610>.
15. Козлов, А. В. Совершенствование оценки качества уплотнения крупнообломочных грунтов земляного полотна и необработанных вяжущими материалов оснований и покрытий автомобильных дорог / А. В. Козлов, И. А. Болячевец, А. К. Мирошкин // Транспортное строительство. – 2018. – № 11. – С. 19–22. – URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=20>.
16. Modulus-based construction specification for compaction of earthwork and unbound aggregate. Draft final report, National Cooperative Highway Research Program NCHRP Project 10-84 / S. Nazarian, M. Mazari, I. Abdallah, I. Puppala, L. Mohammad, M. Abu-Farsakh // Transportation Research Board – 2014. – URL: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP10-84_FR.pdf.
17. Илюхин, А. В. Основные методы контроля степени уплотнения грунтов / А. В. Илюхин, С. В. Борисов, Я. В. Лазукин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 1 (35). – С. 1–11.
18. Применение и преимущества инновационного устройства контроля качества уплотнения грунта / С. В. Савельев, Г. Г. Бурый, И. К. Потеряев, А. С. Белодед // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-i-preimuschestva-innovatsionnogo-ustroystva-kontrolya-kachestva-uplotneniya-grunta> (дата обращения: 24.04.2023).
19. Токарский, А. Я. Научный подход при определении количества проверок при инспекционном контроле / А. Я. Токарский, З. Р. Якубова // ЦЭИИС : [сайт]. – 2022. – URL: <https://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/11071760.html>.
20. Лapidус, А. А. Риск-ориентированный строительный контроль технического заказчика / А. А. Лapidус, А. Н. Макаров, Р. В. Волков. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_2 // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 2–6.

9. McLain, K. W. Contractor-furnished compaction testing: searching for correlations between potential alternatives to the nuclear density gauge in Missouri highway projects / K. W. McLain, D. D. Gransberg. – DOI 10.1504/IJQI.2017.090532 // International Journal of Quality and Innovation. – 2017. – Vol. 3. – № 2-4. – P. 91–106.

10. Aleksandrova, N. P. Sovershenstvovanie metodov ekspress otsenki kachestva uplotneniya gruntov zemlyanogo polotna stroitel'stva avtomobil'nykh dorog [Improvement of methods of express assessment of the quality of compaction of soils of the roadbed construction of highways] / N. P. Aleksandrova, T. V. Semenova, K. Yu. Strigun // Vestnik SibADI [The Russian Automobile and Highway Industry Journal]. – 2015. – № 4 (44). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodov-ekspress-otsenki-kachestva-uplotneniya-gruntov-zemlyanogo-polutna-stroitelstva-avtomobilnyh-dorog>.

11. Tatsuoka, F. Importance of Controlling the Degree of Saturation in Soil Compaction / F. Tatsuoka, A. Correia. – DOI 10.1016/j.proeng.2016.06.070 // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 143. – P. 556–565.

12. Proximal Sensing of Density During Soil Compaction by Instrumented Roller / A. Tophel, J. P. Walker, Y. Lu, J. Kodikara // Australian Geomechanics Journal. – 2022. – Vol. 57, № 3. – P. 161–169. – URL: <https://doi.org/10.56295/AGJ5739>.

13. Deflection-Based Field Testing for Quality Management of Earthwork / C. Tirado, A. Fathi, S. Rocha, M. Mazari, S. Nazarian. – Center for Transportation Infrastructure Systems ; Texas University of Texas at El Paso. – El Paso, 2018. – P. 187. – URL: https://www.researchgate.net/publication/330503364_Deflection-Based_Field_Testing_for_Quality_Management_of_Earthwork.

14. A Review on Roller Compaction Quality Control and Assurance Methods for Earthwork in Five Application Scenarios / Q. Zhang, Z. An, Z. Huangfu, Q. Li // Materials. – 2022. – Vol. 15, Iss. 7. – P. 2610. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma15072610>.

15. Kozlov, A. V. Sovershenstvovanie otsenki kachestva uplotneniya krupnooblomochnykh gruntov zemlyanogo polotna i neobrabotannykh vyazhushhimi materialov osnovanij i pokrytij avtomobil'nykh dorog [Improving the assessment of the quality of compaction of large-block soils of the roadbed and untreated binder materials of bases and coatings of highways] / A. V. Kozlov, I. A. Bolyachevets, A. K. Miroshkin // Stroitel'stvo [Transport construction]. – 2018. – № 11. – P. 19–22. – URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=20>.

16. Modulus-based construction specification for compaction of earthwork and unbound aggregate. Draft final report, National Cooperative Highway Research Program NCHRP Project 10-84 / S. Nazarian, M. Mazari, I. Abdallah, I. Puppala, L. Mohammad, M. Abu-Farsakh // Transportation Research Board – 2014. – URL: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP10-84_FR.pdf.

17. Ilyukhin, A. V. Osnovnye metody kontrolya stepeni uplotneniya gruntov [Basic methods of controlling the degree of soil compaction] / A. V. Ilyukhin, S. V. Borisov, Ya. V. Lazukin // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura [Automobile. Road. Infrastructure]. – 2023. – № 1 (35). – P. 1–11.

18. Primenenie i preimushhestva innovatsionnogo ustrojstva kontrolya kachestva uplotneniya grunta [Application and advantages of an innovative device for quality control of soil compaction] / S. V. Savelyev, G. G. Brown, I. K. Poteryaev, A. S. Beloded // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya TULSU. Technical sciences]. – 2016. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-i-preimushchestva-innovatsionnogo-ustrojstva-kontrolya-kachestva-uplotneniya-grunta> (accessed: 04/24/2023).

19. Tokarsky, A. Ya. Nauchnyj podkhod pri opredelenii kolichestva proverok pri inspeksionnom kontrole [Scientific approach in determining the number of inspections during inspection control] / A. Ya. Tokarsky, Z. R. Yakubova // CEIS : [web-site]. – 2022. – URL: <https://ceis.mos.ru/presscenter/news/detail/11071760.html>.

20. Lapidus, A. A. Risk-orientirovannyj stroitel'nyj kontrol' tekhnicheskogo zakazchika [Risk-oriented construction control of a technical customer] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov, R. V. Volkov. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_2 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 2. – P. 2–6.

УДК 69.059.63

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_16

Цифровая модель полностью разрушенного здания (на примере Сирии)

Digital Model of a Completely Destroyed Building (the Case of Syria)

Кабанов Вадим Николаевич

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

Kabanov Vadim Nikolaevich

Doctor of Economic 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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, kabanovvn@yandex.ru

Алхамд Амар

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, ammaralhmed930@gmail.com

Alhamd Amar

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, ammaralhmed930@gmail.com

Аннотация. Военные действия на территории Сирии привели к разрушению большого количества жилых и гражданских зданий. Для восстановления жилья и гражданской инфраструк-

туры необходимо выполнять работы по расчистке территории от полностью разрушенных зданий. Вопросы разработки рабочей организационно-технологической документации, ре-

гламентирующей выполнение работ по расчистке от остатков полностью разрушенных зданий, недостаточно освещены в опубликованных результатах исследований. На этом основании поставлена цель работы: систематизировать информацию о полностью разрушенных зданиях на территории Сирии и построить цифровую модель площадок, на которых размещены остатки полностью разрушенных зданий. В результате решения задач, поставленных для достижения цели, получена классификация полностью разрушенных зданий, необходимая для разработки рабочей организационно-технологической документации. Обоснованы количественные показатели, которые применяются для выбора ведущей машины, осуществляющей

Abstract. Military operations in Syria have led to the destruction of a large number of residential and civilian buildings. To restore housing and civil infrastructure, it is necessary to carry out work to clear the territory from completely destroyed buildings. The issues of developing working organizational and technological documentation, regulating the performance of work on clearing the remains of completely destroyed buildings are not sufficiently covered in the published research results. On this basis, the goal of the work was set: to systematize information about completely destroyed buildings on the territory of Syria and build a digital model of the sites on which the remains of completely destroyed buildings are located. As a result of solving the tasks set to achieve the goal, a classification of completely destroyed

Введение

В результате боевых действий на территории Сирии разрушено большое количество зданий и сооружений. Восстановление гражданской инфраструктуры и жилого фонда требует привлечения значительных материально-технических ресурсов. Для того чтобы оценить масштаб работ по восстановлению зданий и сооружений, достаточно привести данные, опубликованные ООН [1]: 140000 зданий повреждены, из которых 40000 полностью разрушены, а 50000 серьезно пострадали. Восстановление жилого фонда и элементов гражданской инфраструктуры предполагает работы по реконструкции частично разрушенных и строительство новых зданий. Строительство новых зданий, как правило, планируется на местах полностью разрушенных домов. Такое решение продиктовано желанием использовать существующие инженерные сети, а также сложившуюся инфраструктуру.

Жилые здания в Сирии принято разделять на многоквартирные и малоэтажные [2]. При этом многоквартирные дома сосредоточены в крупных городах и составляют не более 15 % [3] от всего жилого фонда. Высота многоквартирных зданий не превышает 30 метров [4], а в плане большинство таких домов не превышает 20 x 20 метров, то есть сооружения относятся к домам точечного типа. Эти здания принято различать по степени защищенности от сейсмического воздействия. Наиболее дорогие здания предусматривают восприятие существенного сейсмического воздействия. Конструкции таких домов выполняются из монолитного железобетона [5]. Полностью разрушенные в результате боевых действий многоквартирные дома предполагают высокую трудоемкость при расчистке территории. Высокая трудоемкость объясняется необходимостью резки арматурного каркаса, а также разрушения крупных элементов таких зданий.

Малоэтажные (до 3 этажей) дома наиболее часто встречаются в городах и сельских поселениях [6]. Такие дома принято разделять на глиняные и каменные. Глиняные дома, как правило одноэтажные, имеют размер в плане, не превышающий 12 x 12 метров. Каменные, из

расчистку территории от остатков полностью разрушенных зданий. Разработана последовательность получения цифровой модели полностью разрушенного здания, которая предназначена для автоматизации процедур, предусмотренных при разработке рабочей организационно-технологической документации. При построении цифровой модели используются известные программные продукты, применяемые для построения рельефа местности в результате лазерного сканирования или оцифровки фотографий полностью разрушенных зданий.

Ключевые слова: экскаватор, расчистка, продолжительность, трудозатраты, цифровая модель, пространственная решетка.

buildings was obtained, which is necessary for the development of working organizational and technological documentation. Quantitative indicators are substantiated, which are used to select the leading machine that clears the territory from the remains of completely destroyed buildings. A sequence has been developed for obtaining a digital model of a completely destroyed building, which is designed to automate the procedures provided for in the development of working organizational and technological documentation. When building a digital model, well-known software products are used to build the terrain as a result of laser scanning or digitize photographs of completely destroyed buildings.

Keywords: excavator, clearing, duration, labor costs, digital model, spatial lattice.

натуральных камней базальтовых пород, как правило, имеют 2 и 3 этажа [7], а в плане встречаются размеры до 24 x 24 метра.

Приведенная выше характеристика зданий в Сирии применяется для оценки объема работ по расчистке территорий под новое строительство. Важно обратить внимание, что при повторном использовании территории для гражданского строительства органы государственного управления и местного самоуправления должны исходить из оценки эффективности региональной экономики [8] с учетом перспектив агломерационного объединения [9], а также создания зон опережающего развития [10].

Необходимо отметить, что изучение результатов исследований, опубликованных в открытых источниках, позволяет сделать вывод о том, что геометрическим размерам и составу материалов полностью разрушенных зданий в Сирии не уделяется внимание. Этот факт является основанием для выполнения настоящей работы.

Материалы и методы

Основными методами, применяемыми в настоящем исследовании, являются изучение открытых источников информации, анализ и синтез, классификация и систематизация. Обоснование характеристик, которые описывают полностью разрушенные здания, выполнялось с учетом дальнейшего применения полученных результатов для разработки рабочей документации по расчистке территорий от остатков полностью разрушенных зданий. В работе не разделяются причины полного разрушения. Совместно рассматривались результаты сноса и демонтажа зданий, а также остатки домов, разрушение которых произошло в результате боевых действий.

Результаты

Классификация полностью разрушенных зданий выполнялась по признакам, которые имеют наиболее важное значение при применении экскаваторов для расчистки территории. К числу таких признаков наиболее часто относятся: характеристики материала по связанности и прочности, которые определяют степень трудности экскавации; объем работ, который имеет важное значение при

Этажность	Материал стен	Площадь этажа, м²	Объем остатков, м³
1–2	Глина	до 100	до 100
	Камень (базальт)	до 100	до 100
	Глина	выше 100	выше 100
	Камень (базальт)	выше 100	выше 100
3	Камень (базальт)	до 100	до 100
	Камень (базальт)	выше 100	выше 100
4–5	Монолитный железобетон	до 500	до 500
	Монолитный железобетон	выше 500	выше 500
	Сборный железобетон	до 500	до 500
	Сборный железобетон	выше 500	выше 500
6–10	Монолитный железобетон	до 500	до 1000
	Монолитный железобетон	выше 500	выше 1000
	Сборный железобетон	до 500	до 1000
	Сборный железобетон	выше 500	выше 1000

Табл. 1. Классификация полностью разрушенных зданий в Сирии
Tab. 1. Classification of completely destroyed buildings in Syria

выборе землеройной техники. По приведенным признакам полностью разрушенные здания можно классифицировать по этажности (объем работ) и материалам, из которых изготовлены стены, кровля и перекрытия. Результат классификации приводится в таблице 1 [11; 12].

Классификация полностью разрушенных зданий (таблица 1) необходима при определении проектной продолжительности расчистки территории. При разработке проекта продолжительность, как правило, определяется по государственным или отраслевым нормативам [13]. В случае отсутствия норматива строительная компания разрабатывает собственный норматив, который устанавливает продолжительность расчистки единичного объема. В качестве единичного объема в большинстве случаев применяют объем, равный 100 или 1000 кубических метров. Норматив должен учитывать технические характеристики экскаваторов, например, емкость ковша. В этой связи норматив должен содержать норму времени с привязкой к наиболее распространенным объемам ковша экскаватора. В России к числу таких объемов ковша относятся 0,25; 0,4; 0,5; 0,65; 1,0 м³ [14].

Для выполнения работ в срок, установленный проектной продолжительностью, подбирается конкретная марка экскаватора. Для конкретного экскаватора должна разрабатываться рабочая организационно-технологическая документация [15] (проект производства работ или технологическая карта). В рабочей документации устанавливаются размеры типовой технологической стоянки

(забоя), указывается положение автомобилей-самосвалов или бункеров, применяемых для вывоза остатков полностью разрушенных зданий. Определяется количество и места технологических стоянок экскаватора, которые необходимы для выполнения объема работ, установленного проектом.

Разработка рабочей организационно-технологической документации на расчистку территории от полностью разрушенных зданий должна учитывать геометрические размеры остатков таких зданий, а также крупность обломков, из которых состоят остатки. В качестве примера приводятся фотографии полностью разрушенных зданий в результате боевых действий (рисунок 1).

Технологический процесс расчистки территории при помощи экскаватора предполагает наличие остатков полностью разрушенных зданий. Принимая во внимание тот факт, что остатки полностью разрушенных зданий редко имеют форму стандартной геометрической фигуры (конуса, пирамиды, призмы), необходимо в оцифрованной модели установить координаты границ фигуры, описывающей форму, в которой находятся остатки полностью разрушенных зданий. Для построения такой фигуры могут использоваться хорошо известные программные продукты, применяемые для описания рельефа местности, например, Surfer, Gradat и другие. Вместе с тем для определения геометрических размеров забоя экскаватора остаются актуальными максимальные геометрические размеры ширины, длины и высоты. Именно по максимальным значениям этих величин выполняется предварительный выбор ведущей машины процесса путем сравнения максимального радиуса экскаватора и максимальных геометрических размеров площадки, на которой находятся остатки полностью разрушенного здания. Например, высота остатков полностью разрушенного здания выступает ограничением по применению экскаваторов с максимальным радиусом, который меньше такой высоты.

Еще одна группа показателей применяется для определения размеров ковша экскаватора. К числу таких показателей следует относить размер и количество крупных обломков, которые по своему максимальному размеру равны или превышают ширину ковша экскаватора [19]. Если количество обломков, размер которых больше ширины экскаватора, составляет менее 10 % от всего объема остатков, тогда принимается решение о выполнении работ по разрушению таких остатков на месте. Если количество крупных остатков превышает 10 % от объема, как

правило, целесообразно использовать ковш экскаватора с большим объемом, а следовательно – с большей шириной. Таким образом, величина крупности остатков полностью разрушенных зданий имеет существенное значение при определении марки экскаватора и размеров навесного оборудования (ковша).

При расчистке остатков полностью разрушенных зданий из железобетона (в сборном или монолитном варианте) появляется проблема разрушения металлических связей (арматурного каркаса). Существует большое количество технологических решений по резке арматуры. К числу наиболее эффективных методов принято относить применение ручного механического инструмента (например, дисковые электрические пилы). Заметим, что наличие арматурного каркаса в остатках полностью разрушенного здания может значительно увеличить затраты труда при расчистке. Такое увеличение связано с необходимостью выполнения операций по резке арматурного каркаса. При выполнении таких операций в рабочей зоне экскаватора работы по расчистке остатков здания останавливаются. В результате увеличивается общая продолжительность выполнения работ.

В качестве количественных характеристик, необходимых для описания остатков полностью разрушенных зданий, в настоящем исследовании предлагается применять:

- максимальные геометрические размеры длины, ширины и высоты для выбора экскаватора, который выполняет работы по расчистке территории от остатков полностью разрушенных зданий;
- геометрические размеры в горизонтальной плоскости в виде многоугольника, который описывает площадку, на которой находятся остатки полностью разрушенных зданий;
- цифровое описание изменений горизонтальной плоскости (высоты) для каждой координаты, лежащей на поверхности земли, которое необходимо для определения объема работ;
- геометрические размеры остатков здания, для которых хотя бы 1 размер превышает ширину ковша экскаватора, а также объем таких остатков;
- наличие металлических связей (арматуры) для многоквартирных 4–10-этажных домов из монолитного или сборного железобетона.

Для построения цифровой модели площадки, на которой размещены остатки полностью разрушенных зданий, могут применяться различные способы. Каждый из известных способов основывается на определении принадлежности каждой точки пространства фигуре, которая описывает полностью разрушенное здание. В качестве исходных данных для построения цифровой модели могут использоваться результаты лазерного сканирования, оцифровка фотографий, определение границ фигуры вручную, например, на пространственной сетке с заданным шагом (например, 0,1 x 0,1 x 0,1 метра).

С точки зрения автора, наиболее простым способом построения является определение границ остатков полностью разрушенных зданий на координатной сетке, которая построена в границах максимальных геометрических размеров (длина, ширина, высота). При этом несложно установить максимальные размеры длины и ширины для каждой горизонтальной секущей плоскости (для каждой горизонтальной секущей плоскости координата по верти-

кали постоянна: $Zn = const$, где n – количество горизонтальных секущих плоскостей).

Принципиальная блок-схема построения цифровой модели полностью разрушенного здания показана на рисунке 2. Последовательность построения цифровой модели состоит из 4 этапов. На первом этапе формируется исходная информация, которая представляет собой максимальные размеры площадки, на которой находятся остатки полностью разрушенного здания. На втором этапе формируется пространственная решетка. Здесь существует возможность построения решетки с одинаковым шагом по всем трем осям или перемены шага по одной или всем осям. На третьем этапе выполняется процедура построения цифровой модели, которая представляет собой выбор точек пространственной решетки, которые принадлежат остаткам полностью разрушенного здания. В приведенной последовательности выполняется поиск точек для каждой горизонтальной секущей плоскости. Заметим, что существует возможность выполнять проверку для любой вертикальной плоскости (по оси X или Y). Наконец, на четвертом этапе формируется массив точек, который описывает остатки полностью разрушенных зданий в трехмерном пространстве (3D-модель).

Практическое применение цифровой модели полностью разрушенного здания осуществляется в процессе разработки рабочей организационно-технологической документации для процесса расчистки территории от остатков здания. Процедура применения представляет собой размещение рабочей зоны (забоя) экскаватора в массиве точек, который описывает остатки полностью



Рис. 1. Вид полностью разрушенных зданий в результате боевых действий в Сирии: а) оцифрованное изображение малоэтажного здания из глины [16]; б) фото малоэтажного здания из натурального камня (базальта) [17]; в) фото остатков многоэтажного здания из монолитного железобетона [18]
Fig. 1. View of completely destroyed buildings as a result of hostilities in Syria: а) Digital image of a low-rise clay building [16]; б) photo of a low-rise building made of natural stone (basalt) [17]; в) photo of the remains of a multi-storey building made of monolithic reinforced concrete [18]



Рис. 2. Принципиальная блок-схема построения цифровой модели полностью разрушенного здания
Fig. 2. Schematic block diagram of building a digital model of a completely destroyed building

разрушенного здания. Наличие 3D-модели полностью разрушенного здания может обеспечить автоматизацию процесса привязки забоя экскаватора к объекту, на котором выполняются работы по расчистке.

Заключение

На основании выполненных исследований следует сформулировать следующие выводы:

1. Полностью разрушенные здания в Сирии можно разделить на 4 категории (таблица 1). В результате такого разделения обеспечивается возможность на этапе разработки рабочей организационно-технологической документации предусматривать дополнительные затраты времени, которые необходимы для резки металлических связей (арматурного каркаса) в зданиях из монолитного и сборного железобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations Institute for Training and Research, Syrian Cities Damage Atlas Syrian Cities Damage Atlas / Eight Year Anniversary of the Syrian Civil War: Thematic assessment of satellite identified damage : [сайт]. – URL: <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/syrian-cities-damage-atlas-eight-year-anniversary-syrian-civil-war>.
2. Ниамин, А.-Х. Э. Жилая архитектура Сирии на современном этапе развития (интеграция этно-традиций и урбанистических новаций) / А.-Х. Э. Ниамин // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 133–137.
3. Urban recovery framework / Considerations for a Housing Sector Recovery Framework in Syria : [сайт]. – URL: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/09/housing>.
4. The Syrian People's Assembly. Legislative Decree 5 of 1982 Urban Planning Law / Syrian People's Assembly : [сайт]. – URL: <http://www.mola.gov.sy/upload/Building%20System%202005>.
5. Забалуева, Т. Р. Возможные направления устойчивого развития архитектуры многоквартирных жилых домов в послевоенный период Сирии / Т. Р. Забалуева // Вестник Евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 59. – URL: <https://esj.today/PDF/30SAVN218>.
6. Халиль, И. Типологические особенности объемно-планировочной структуры малоэтажных жилых зданий и сооружений Сирии / И. Халиль // Архитектура и современные информационные технологии. – 2018. – № 4 (45). – С. 214–224. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologicheskie-osobennosti-obemno-planirovochnoy-struktury-maloetazhnyh-zhilyh-zdaniy-i-sooruzheniy-sirii>.
7. Salkini, H. Towards Adaptive Residential Buildings Traditional and Contemporary Scenarios in Bioclimatic Design (the Case of Aleppo) / H. Salkini, L. Greco, R. Lucente // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 180. – P. 1083–1092. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.268>.
8. Михайлова, Е. В. Оценка эффективности управления экономикой региона / Е. В. Михайлова // Бизнес. Образование. Право. – 2017. – № 1 (38). – С. 101–106.
9. Кабанов, В. Н. Агломерация сельских поселений как стратегия социально-экономического развития территорий / В. Н. Кабанов, Е. В. Михайлова // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – Т. 16, № 11 (458). – С. 2092–2107.
10. Кабанов, В. Н., Критерии для формирования зон опережаю-

2. Для описания площадок, на которых находятся остатки полностью разрушенных зданий, обоснованы показатели, количественное значение которых обеспечивает выполнение процедур построения цифровых 3D-моделей полностью разрушенных зданий в условиях Сирии.
3. Последовательность построения цифровых моделей (рисунок 2) для полностью разрушенных зданий на территории Сирии обеспечивает получение информации, которая необходима для автоматизации процессов и процедур разработки рабочей организационно-технологической документации по расчистке территорий от остатков полностью разрушенных зданий в условиях Сирии.

щего развития сельских территорий (на примере Волгоградской области) / В. Н. Кабанов, Е. В. Михайлова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 4 (24). – С. 232–249.

11. Carrington, D. Recycling rubble can help rebuild Syria faster, scientists show / D. Carrington // The Guardian. – 2023. – URL: <https://www.theguardian.com/environmen/2023/mar/31/recycling-rubble-rebuild-syria-war-quake-concrete> (publication date: March 31, 2023).
12. In numbers... A detailed UN statistic on the rate of destruction in Syrian cities 2023 / EnabBaladi.net : [website]. – URL: <https://www.enabbaladi.net/archives/288218>.
13. Sobotka, A. Decision support system in management of concrete demolition waste / A. Sobotka, J. Sagan // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 128. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103734>.
14. Рисун, А. Р. Выбор оптимального комплекта ведущих машин для земляных работ в зависимости от ряда влияющих производственных и геотехнических факторов / А. Р. Рисун, В. Н. Кабанов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 4 (64). – С. 38. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-komplekta-veduschih-mashin-dlya-zemlyanyh-rabot-v-zavisimosti-ot-ryada-vliyayuschih-proizvodstvennyh-i>.
15. Хмара, Л. А. Выбор машин для земляных работ по техническим, экономическим и эксплуатационным параметрам / Л. А. Хмара, С. И. Кононов // Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2009. – № 6-7 (137). – P. 5–10.
16. Illustration of destroyed / Dreamstime : [website]. – URL: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-images-cartoon-ruins-image27627759>.
17. Alalam.ir : [website]. – URL: <https://www.alalam.ir/news>.
18. Vigliotti, J. Syria's future remains buried under millions of tons of rubble / J. Vigliotti // CBS NEWS : [website]. – URL: <https://www.cbsnews.com/news/syria-war-future-buried-under-millions-tons-of-rubble-2019-03-14/> (updated on: March 14, 2019).
19. Черноиван, В. Н. К вопросу выбора эффективных технологических решений ликвидации неэксплуатируемых производственных зданий и сооружений / В. Н. Черноиван, А. В. Черноиван // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2015. – № 3. – P. 131–142.

eight-year-anniversary-syrian-civil-war.

2. Niamin, A.-Kh. Eh. Zhilaya arkhitektura Sirii na sovremennom etape razvitiya (integratsiya etno-traditsij i urbanisticheskikh novatsij) [Residential architecture of Syria at the present stage of development (integration of ethno-traditions and urban innovations)] / A.-Kh. E. Niamin // Innovatsii i investitsii [Innova-

tions and investments]. – 2019. – № 8. – P. 133–137.

3. Urban recovery framework / Considerations for a Housing Sector Recovery Framework in Syria : [website]. – URL: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/09/housing>.
4. The Syrian People's Assembly. Legislative Decree 5 of 1982 Urban Planning Law. Syrian People's Assembly : [website]. – URL: <http://www.mola.gov.sy/upload/Building%20System%202005>.
5. Zabalueva, T. R. Vozmozhnye napravleniya ustojchivogo razvitiya arkhitektury mnogokvartirnykh zhilykh domov v poslevoennyj period Sirii [Possible directions for the sustainable development of the architecture of multi-apartment residential buildings in the post-war period of Syria] / T. R. Zabalueva // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2018. – Vol. 10, № 1. – P. 59. – URL: <https://esj.today/PDF/30SAVN218>.
6. Khalil, I. Tipologicheskie osobennosti ob'emno-planirovochnoj struktury maloetazhnykh zhilykh zdaniy i sooruzhenij Sirii [Typological features of the space-planning structure of low-rise residential buildings and structures in Syria] / I. Khalil // Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii [Architecture and modern information technologies (AMIT)]. – 2018. – № 4 (45). – P. 214–224. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologicheskie-osobennosti-obemno-planirovochnoy-struktury-maloetazhnyh-zhilyh-zdaniy-i-sooruzheniy-sirii>.
7. Salkini, H. Towards Adaptive Residential Buildings Traditional and Contemporary Scenarios in Bioclimatic Design (the Case of Aleppo) / H. Salkini, L. Greco, R. Lucente // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 180. – P. 1083–1092. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.268>.
8. Mikhajlova, E. V. Otsenka ehffektivnosti upravleniya ehkonomikoj regiona [Assessment of the efficiency of regional economic management] / E. V. Mikhajlova // Biznes. Obrazovanie. Pravo [Business. Education. Right.]. – 2017. – № 1 (38). – P. 101–106.
9. Kabanov, V. N. Aglomeratsiya sel'skikh poselenij kak strategiya sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya territorij [Agglomeration of rural settlements as a strategy for the socio-economic development of territories] / V. N. Kabanov, E. V. Mikhajlova // Regional'naya ehkonomika: teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]. – 2018. – Vol. 16, № 11 (458). – P. 2092–2107.
10. Kabanov, V. N. Kriterii dlya formirovaniya zon operezhayushhego razvitiya sel'skikh territorij (na primere Volgogradskoj oblasti) [Criteria for the formation of zones of advanced development of rural areas (the case of the Volgograd region)] / V. N. Kabanov, E. V. Mikhajlova // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. – 2016. – № 4

УДК 69.05

Основные факторы, влияющие на качество работ при монтаже инженерных систем высотных зданий

Main Factors Affecting the Quality of Work During Installation of Engineering Systems of High-Rise Buildings

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, cnioimtp@mail.ru

Oleynik 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, cnioimtp@mail.ru

Абас Марина Хабиб
Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, marina.abbas1@outlook.com

Abas Maryna Habib
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, Yaroslavlshoshe, 26, marina.abbas1@outlook.com

Аннотация. Управление сроками строительства – это два постоянно противоборствующих вектора. С одной стороны, это реальность, которая постоянно стремится выйти из зоны планирования, а с другой стороны – это слаженная работа коллектива инженерной компании, направленная на достижение поставленных задач и темпов строительства, а также минимизацию отклонений от графика производства работ (линейная диаграмма Ганта). Реализация проектов высотного строительства сталкивается со значительными рисками, исключение и минимизация которых во многом зависит от качества выполнения строительного-монтажных работ (далее – СМР) с инженерными системами, функцией которых является обеспечение нормальных условий для ведения соответствующих технологических процессов. Целью исследования является разработка методики повышения качества работ при монтаже инженерных систем высотных

Abstract. Construction schedule management is a perpetual conflicting vector. On one hand, it represents an ever-present reality, persistently striving to break free from the realm of planning. On the other hand, it signifies the harmonized efforts of the engineering company's team, aimed at accomplishing project objectives and maintaining construction pace, while minimizing deviations from the work schedule (Gantt line chart). High-rise projects encounter substantial risks and time constraints due to the intricate and dynamic nature of their surroundings. The quality of construction hinges not only on the excellence of design solutions, but also relies heavily on the quality of construction and installation work pertaining to engineering systems. These systems function to provide optimal conditions for conducting pertinent technological processes. The purpose of the study is to develop a methodology for improving the quality of work during the in-

Введение
Качество выполнения санитарно-технических работ зависит от качества знаний как исполнителей работ, так и специалистов, осуществляющих контроль требований к качеству работ и правилам их контроля и приемки. Безусловное выполнение требований нормативных документов и проектной документации должно стать приоритетным требованием в работе монтажных организаций [1].
При монтаже инженерных систем высотных зданий существует ряд особенностей по сравнению с обычными зданиями, среди них [2]:

- возникновение больших значений гидростатического давления в напорных системах, что требует

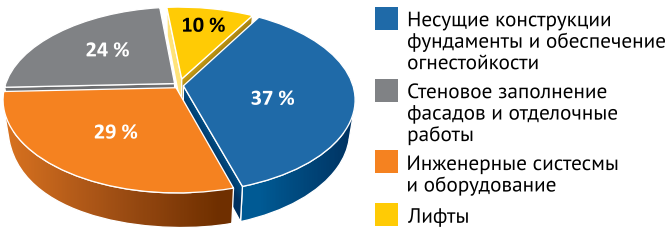


Рис. 1. Распределение стоимости конструкций и работ при строительстве высотных зданий
Fig. 1. The distribution of the cost of structures and works during the construction of high-rise building

зданий на основе установленных положений и зависимостей, учитывающих комплексное воздействие влияющих факторов. В данной работе рассматриваются актуальные вопросы повышения качества работ при монтаже инженерных систем высотных зданий и предложен алгоритм работ за счет изучения факторов. Если бы эти факторы были идентифицированы на ранних стадиях, их можно было бы свести к минимуму, а вероятность их возникновения в будущем можно было бы полностью избежать. По результатам проведенных исследований определены основные факторы, влияющие на качество работ, и отобраны наиболее значимые из них методом экспертных оценок.

Ключевые слова: контроль качества, инженерные системы, высотные здания, строительный контроль, монтажные работы.

stallation of engineering systems of high-rise buildings based on established provisions and dependencies, taking into account the complex impact of influencing factors. In this paper, the actual issues of improving the quality of work during the installation of engineering systems of high-rise buildings are considered and an algorithm of work is proposed due to the study of factors. If these factors were identified at an early stage, they could be minimized, and the likelihood of their occurrence in the future can be completely avoided. Based on the results of the research, the main factors affecting the quality of work have been identified and the most significant of them have been selected by the method of expert assessments.

Keywords: quality control, engineering systems, high-rise buildings, construction control, installation works.

специфического контроля со стороны проектировщиков;

- особые требования к устройству внутренних противопожарных водопроводов;
- повышенные требования в обеспечении комплексной безопасности, что предполагает использование высококачественных технических решений;
- высотные здания потребляют большое количество ресурсов, и для этого необходим особый контроль с целью сохранения, сбережения природных ресурсов и человеческих затрат и обеспечения требования энергоэффективности зданий [3];
- размещение возросшего количества инженерных коммуникаций и оборудования требует иного принципа его размещения и иного подхода контроля при выполнении монтажных работ.

На рисунке 1 представлено сформировавшееся соотношение распределения стоимости отдельных конструкций и работ при строительстве высотных зданий [4].

Учитывая индивидуальный подход к проектированию и строительству высотных зданий, применение эксклюзивных элементов инженерных систем и оборудования, а также материалов, которые обеспечивают уникальность здания [5], создается значительная необходимость в разработке дополнительных требований по повышению ка-

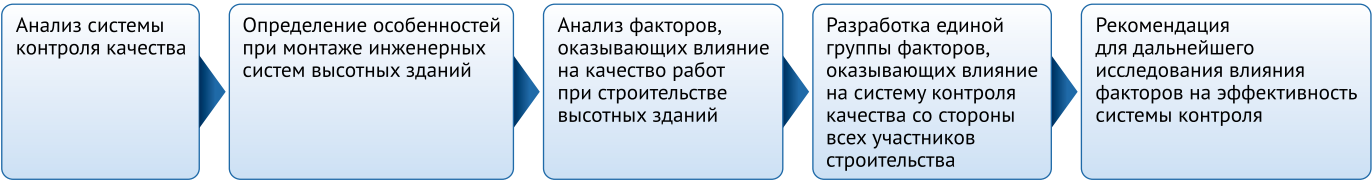


Рис. 2. Схема работ по определению факторов, влияющих на качество инженерных систем
Fig. 2. Scheme of work to determine the factors that affect the quality of engineering systems

чества работ при монтаже инженерных систем высотных зданий. По результатам проведенного анализа были сделаны следующие выводы о ситуации контроля качества работ в России:

- отсутствие детального перечня работ, необходимых для проведения строительного контроля в целом и особенно при строительстве высотных зданий, что снижает качество выполненных работ;
- отсутствует понимание у инвесторов значения экономического эффекта от прогнозирования факторов на этапе разработки предпроектных решений [6];
- недостаточность требований при разработке проектной документации в подразделе «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети» влечет за собой разногласия и необходимость внесения изменений после разработки рабочей документации;
- проектировщики знают нормативные документы по своей основной специальности, но не всегда знают всего многообразия документов, относящихся к смежным специальностям;
- необходимость к построению единой информационной системы управления качеством работ и эффективной системы коммуникации между всеми участниками строительства [7];
- необходимость создания Единого реестра специалистов строительного контроля качества.

Материалы и методы
Материалами при подготовке исследования служили труды российских и зарубежных авторов, а методами исследования служили теоретические методы: анализ, обобщение и систематизация. Данное исследование сосредоточено на изучении факторов, влияющих на качество работ при монтаже инженерных систем высотного строительства. Решение проблем качества СМР с инженерными системами требует тщательного обобщения уже имеющегося опыта и поиска новых подходов и методов развития, учитывающих многообразие влияющих факто-

ров. Поэтому с целью повышения качества и сокращения сроков строительства предложена следующая схема работ (рисунок 2).

На основании изученной литературы [8–10] и имеющегося личного практического опыта, полученного на объекте строительства «Многофункциональный высотный жилой комплекс с подземной автостоянкой по адресу: г. Москва, Краснопресненская набережная, ММДЦ «Москва-Сити», уч. 15», в организации монтажных работ инженерных систем определены более чем 40 факторов, влияющих на качество работ при строительстве высотных зданий, и отобраны наиболее значимые из них.

Для оценки значимости факторов использован метод экспертных оценок, который является комплексом логических и математико-статистических процедур, использование которых дает возможность получить информацию от экспертов, изучить и проанализировать их для получения правильного решения по данному вопросу. Экспертные мнения собираются путем индивидуального анкетирования. Каждому из экспертов предлагается ранжировать параметры по их значимости.

При обработке результатов экспертного опроса использован коэффициент конкордации Кендалла, с помощью которого оценивается согласованность мнений экспертов [11]. В данной работе этот коэффициент имеет значение 0,8, что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов.

После определения степени согласованности мнений экспертов проводился системный анализ результатов для выбора наиболее значимых факторов с доверительной вероятностью 0,954 согласно правилу 2 сигм (рисунок 3).

Результаты
Полученные данные методом экспертных оценок были поделены на пять групп: это группы факторов, влияющих на качество работ при монтаже инженерных систем высотных зданий со стороны всех участников строительства.

Первая группа – факторы, влияющие на качество работ со стороны застройщика:

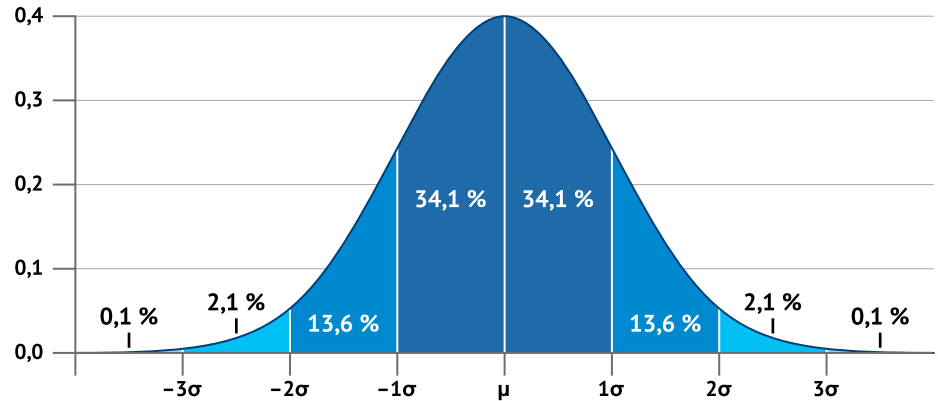


Рис. 3. Схема стандартного отклонения нормального распределения
Fig. 3. Diagram of the standard deviation of the normal distribution

- качество разработанной проектно-сметной документации;
 - оплата выполненных СМР;
 - финансовый контроль и своевременное обеспечение необходимыми средствами всех участников строительства [12];
 - своевременное получение исходно-разрешительной документации на строительство;
 - не соответствующая действительности продолжительность контракта на строительство;
 - долгое принятие решений.
- Вторая группа – факторы, влияющие на качество работ со стороны технического заказчика:
- оперативность проверки и выдачи «в производство работ» рабочей документации в объеме, необходимом для производства работ;
 - оперативность в освидетельствовании и приемке результатов выполненных работ;
 - гибкость в подходе к управлению контрактами [13];
 - контроль соблюдения и прогнозирования отставаний от графика производства работ подрядчиками, поставки материалов и оборудования, оперативная замена санкционных материалов;
 - своевременный, превентивный контроль за качеством выполнения работ подрядчиками;
 - контроль технологии производства работ при монтаже инженерных систем.
- Третья группа – факторы, влияющие на качество работ со стороны генерального проектировщика:
- недостаточный уровень проработки проектной документации на этапе тендера;
 - изменения в проектной документации из-за неслачливости смежных отделов;
 - изменения в спецификации материалов и оборудования;
 - квалификация специалистов авторского надзора;
 - форма представления проектных решений инженерных систем;
 - отсутствие согласованности между проектировщиками при проектировании в BIM-среде;
 - задержки в предоставлении информации подрядчику на этапе строительства.

Четвертая группа – факторы, влияющие на качество работ со стороны генерального подрядчика:

- отсутствие отчетов о затратах на этапе строительства;
- контроль над сроками поставок и качеством материалов и оборудования;
- оперативность выдачи инструкций и указаний;
- дефицит рабочих трудовых ресурсов;
- несоблюдение взаимоувязки по времени и последовательности монтажных работ инженерных систем (строительная готовность захваток под монтаж инженерных коммуникаций, оборудования);
- контроль за своевременным устранением дефектов подрядчиком и сдачей результата работ техзаказчику.

Пятая группа – факторы, влияющие на качество работ со стороны подрядчика:

- невыполнение в части обязательств субподрядчиками и отдельными поставщиками (в основном – сроки работ и поставки);
- монтаж систем разными исполнителями;
- нарушения техники безопасности проведения работ;
- квалификация производителей работ инженерных систем (прорабы);
- низкое качество выполненных работ, качество стыков, изоляция и т. д.;
- система управления закупками и система поставки материалов на объект строительства.

Заключение

Таким образом, изучение факторов и прогнозирование их последствий при монтаже инженерных систем высотных зданий на данный момент не до конца изучены. Это позволяет выявить общие методические подходы, учитывающие комплексное воздействие факторов и особенности высотных зданий. В данной статье были рассмотрены некоторые группы факторов, требующие особого внимания. В дальнейших исследованиях авторы предлагают разработать систему контроля СМР с инженерными системами, внедрение которой будет способствовать повышению качества за счет оценки влияния факторов на производство работ и созданию методики в виде управления факторами через определенные мероприятия заказчика, строительных и подрядных организаций.

- этажных зданий / К. А. Назарова, А. А. Лапидус // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 3. – Ст. 10.
7. Актуальные направления совершенствования строительного контроля при реализации объектов капитального строительства, реконструкции и перепрофилирования / Д. В. Топчий, А. Ю. Юргайтис, Д. Д. Зуева, Е. С. Бабушкин // Перспективы науки. – 2018. – № 12 (111). – С. 20–29.
8. Kiet, T. T. Proposing Solutions to Reduce Factors Affecting the Delay of Construction Phase in High-Rise Building Projects / T. T. Kiet, T. C. Thuan, T. T. Khan. – DOI 10.26480/jtin.02.2022.34.36 // Journal of Technology & Innovation. – 2022. – № 2 (2). – P. 34–36.
9. Голотина, Ю. Г. Контроль качества в строительной сфере / Ю. Г. Голотина, М. Г. Ковтуненко. – DOI 10.18411/pivsn-03-2019-15 // Проблемы и вопросы современной науки : Рецензируемый сборник научных трудов конференции, Самара, 1–30 июня 2019 года. – Самара : НИЦ МОАН, 2019. – Т. 2 (3), ч. 2. – С. 20–24.
10. Методические подходы к организации внутреннего контроля в строительных организациях / М. П. Сарунова, Т. В. Бурлуткин, О. В. Бондаева, Г. Е. Битяева, М. В. Дорджиев // Вестник

Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 11-2. – С. 322–328.

11. Коновалова, Е. А. Экспертная оценка качества продукции методом ранжирования / Е. А. Коновалова, Т. М. Щербакова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 8-3 (19-3). – С. 297–299.
12. A Study on Factors Influencing Cost Overrun in High-rise Building Construction across India / M. Tayyab, M. Furkhan,

REFERENCES

1. Olejnik, P. P. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva [Organization of construction production] / P. P. Olejnik. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2010. – 572 p.
2. Sizov, V. D. Organizatsiya, planirovanie inzhenernykh sistem. Upravlenie ikh proizvodstvom [Organization, planning of engineering systems. Management of their production] / V. D. Sizov, Yu. A. Stanetskaya. – Minsk : Vyshehshaya shkola, 2021. – 352 p.
3. Lyashenko, E. K. Faktory, vliyayushhie na formirovanie ob'emno-planirovochnykh reshenij ehnergoehffektivnykh vy-sotnykh ofisnykh zdaniy [Factors influencing the formation of space-planning solutions for energy-efficient high-rise office buildings] / E. K. Lyashenko // Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii [Architecture and modern information technologies]. – 2013. – № 3 (24). – P. 10.
4. Tolstoj, L. V. Osobennosti ehkonomicheskogo obosnovaniya stroitel'stva vy-sotnykh zdaniy (neboskrebov) [Features of the economic justification of the construction of high-rise buildings (skyscrapers)] / L. V. Tolstoj, R. G. Abakumov // Innovatsionnaya nauka [Innovative science]. – 2017. – № 1-1. – P. 100–102.
5. Kryukov, K. M. Osobennosti problematiki kachestva proektirovaniya i stroitel'stva vy-sotnykh zdaniy [Features of the quality problems of design and construction of high-rise buildings] / K. M. Kryukov, M. Al'-Tulaikhi // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2020. – № 3 (63). – P. 21.
6. Nazarova, K. A. Osobennosti formirovaniya faktorov tekhnicheskikh riskov, vznikayushhikh pri stroitel'stve mnogoetazhnykh zdaniy [Features of the formation of factors of technical risks arising during the construction of multi-storey buildings] / K. A. Nazarova, A. A. Lapidus // Vestnik evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2021. – Vol. 13, № 3. – Art. 10.
7. Aktual'nye napravleniya sovershenstvovaniya stroitel'nogo kontrolya pri realizatsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva, rekonstruktsii i pereprofilirovaniya [Current directions of improving construction control in the implementation of capital construction, reconstruction and reprofiling facilities] / D. V. Topchij, A. Yu. Yurgajtis, D. D. Zueva, E. S. Babushkin // Perspektivy nauki [Prospects of science]. – 2018. – № 12 (111). –

- M. Rizwan, M. Jameel, A. Chdee. – DOI 10.30564/jsbct.v5i1.5489 // Journal of Smart Buildings and Construction Technology. – 2023. – Vol. 5, Iss. 1. – P. 52–83.
13. Delay in High-rise Building Construction Projects of Duba / I. Ali, A. H. Abdullah, S. Nagapan, S. Sohu, M. Lohar, N. Bhatti // Engineering Science And Technology International Research Journal. – 2018. – Vol. 2, № 2. – P. 7–15.

- P. 20–29.
8. Kiet, T. T. Proposing Solutions to Reduce Factors Affecting the Delay of Construction Phase in High-Rise Building Projects / T. T. Kiet, T. C. Thuan, T. T. Khan. – DOI 10.26480/jtin.02.2022.34.36 // Journal of Technology & Innovation. – 2022. – № 2 (2). – P. 34–36.
9. Golotina, Yu. G. Kontrol' kachestva v stroitel'noj sfere [Quality control in the construction sector] / Yu. G. Golotina, M. G. Kovtunencko. – DOI 10.18411/pivsn-03-2019-15 // Problemy i voprosy sovremennoj nauki : Retsenziruemyj sbornik nauchnykh trudov konferentsii, Samara, 1–30 iyunya 2019 goda [Problems and issues of modern Science : A peer-reviewed collection of scientific papers of the conference, Samara, June 1–30, 2019]. – Samara : NITS MOAN, 2019. – Vol. 2 (3), Part 2. – P. 20–24.
10. Metodicheskie podkhody k organizatsii vnutrennego kontrolya v stroitel'nykh organizatsiyakh [Methodological approaches to the organization of internal control in construction organizations] / M. P. Sarunova, T. V. Burlutkin, O. V. Bondaeva, G. E. Bityaeva, M. V. Dordzhiev // Vestnik Altajskoj akademii ehkonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and rights]. – 2020. – № 11-2. – P. 322–328.
11. Konovalova, E. A. Ehkspertnaya otsenka kachestva produktsii metodom ranzhirovaniya [Expert assessment of product quality by ranking method] / E. A. Konovalova, T. M. Shherbakova // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. – 2015. – Vol. 3, № 8-3 (19-3). – P. 297–299.
12. A Study on Factors Influencing Cost Overrun in High-rise Building Construction across India / M. Tayyab, M. Furkhan, M. Rizwan, M. Jameel, A. Chdee. – DOI 10.30564/jsbct.v5i1.5489 // Journal of Smart Buildings and Construction Technology. – 2023. – Vol. 5, Iss. 1. – P. 52–83.
13. Delay in High-rise Building Construction Projects of Duba / I. Ali, A. H. Abdullah, S. Nagapan, S. Sohu, M. Lohar, N. Bhatti // Engineering Science And Technology International Research Journal. – 2018. – Vol. 2, № 2. – P. 7–15.

УДК 330.322:332:69

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_25

Современные тенденции и перспективы развития строительной отрасли

Current Trends and Prospects for the Development of the Construction Industry

Чвилев Алексей Николаевич

Аспирант кафедры «Строительное производство», ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» (СКГМИ (ГТУ)), Россия, 362021, Республика Северная Осетия – Алания, Владикавказ, улица Николаева, 44, ipchvilev@mail.ru

Chvilev Alexey Nikolaevich

Postgraduate student of the Department of Construction Production, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, ipchvilev@mail.ru

Аннотация. Актуальность определена тем, что в настоящее время внешние и внутренние направления политической системы задают особый вектор развития строительной сферы, не понятны экономические сценарии развития в дальнейшем, тем не менее развитие внутренних производств является важным и приоритетным направлением социально-экономического развития – как регионов, так и государства в целом. Строительная отрасль была и является основной сферой производства, которая всегда имеет потребительские предпочтения и потребительскую стоимость. Как нам известно, строительная отрасль замедлила свое развитие в 2022 году из-за последствий российско-украинских отношений, также из-за введенных Западом санкций против России, тем не менее, внутренние ресурсы государства, как социальные, так и материальные, свидетельствуют о том, что строительная отрасль повысит свою динамику развития в дальнейшем. Приоритетность строительной отрасли выражается в ее инновационности, в развитии различных приоритетных направлений, которые содержат более качественный уровень производства, ресурсобеспечения, робототехники и т. д., что обеспечивает более высокий уровень производства.

Цель исследования – теоретическое представление совре-

Abstract. The relevance is determined by the fact that at present the external and internal directions of the polytypical system set a special vector for the development of the construction sector, economic development scenarios are unclear in the future, nevertheless, the development of domestic production is an important and priority direction of socio-economic development, both regions and the state as a whole. The construction industry has been and is the main sphere of production, which always has consumer preferences and consumer value. As we know, the construction industry slowed down its development in 2022 due to the consequences of Russian-Ukrainian relations, also due to the sanctions imposed by the West against Russia, which led to a decline in economic development, nevertheless, the internal resources of the state, both social and material, indicate that the construction industry will increase its dynamics development in the future. The priority of the construction industry is expressed in its innovativeness, in the development of various priority areas that contain a higher quality level of production, resource supply, robotics, etc., which ensures a higher level of production.

Введение

Настоящее время определяется выраженными экономическими и политическими процессами, происходящими как внутри государства, так и на международном уровне. Данная ситуация глубоко проникла во все сферы деятельности: экономический и политический кризисы в связи с российско-украинскими военными действиями, что вызвало негативную реакцию как на международном уровне, так и на национальном уровне [1].

Основным негативным фактором, влияющим на экономику страны, стали санкции против России в связи с данным политическими обстоятельствами. Незадолго до этого события на экономику России, на ее социальное развитие повлияли негативные обстоятельства в связи с пандемией коронавируса, в результате все отрасли промышленности, торговли, услуг и работ приостановили собственную деятельность, что весьма отрицательно сказалось на внутреннем и внешнем социально-экономическом развитии, соответственно снизились обороты торговли, работ и услуг, были закрыты предприятия, выросло количество безработных граждан, понизилась покупательская способность и т. д. [2]. Все данные обстоятельства привели экономику государства к отрицательным последствиям, тем не менее, в связи с новыми указами Президента России, связанными с поддержкой

менных тенденций и перспектив развития строительной отрасли.

Методология. Основными методами исследования стали принципиальные подходы, методы системного анализа.

Результаты. Строительная область начинает трансформироваться в связи с разработками и появлением новых цифровых технологий, приоритетность направлений в строительной сфере вызвана различными факторами, которые направлены на более качественное и экологичное строительное производство. Современные тенденции и перспективы развития строительной отрасли заключаются в приоритетности внедрения роботизации строительных работ, применении искусственного интеллекта, высоких форм производств, качественного сырья и материалов, применении внешнего строительства, моделирования, что поднимает строительную сферу на высокий уровень, делает ее конкурентоспособной в международном масштабе и т. д.

Ключевые слова: покупательская способность, строительная отрасль, экономический кризис, ввод жилья, объем строительства, инвестиции, строительная сфера.

The purpose of the study is a theoretical representation of modern trends and prospects for the development of the construction industry.

Research methods. The main research methods were principal approaches, methods of system analysis.

Results. The construction field is beginning to transform in connection with developments and the emergence of new digital technologies, the priority of directions in the construction sector is caused by various factors that are aimed at higher-quality and environmentally friendly construction production. Current trends and prospects for the development of the construction industry consist in the priority of the introduction of robotization of construction works, the use of artificial intelligence, high-quality forms of production, high-quality raw materials, the use of external construction, modeling, which raises the construction sector to a high level, makes it competitive on an international scale, etc.

Keywords: purchasing power, construction industry, economic crisis, housing commissioning, construction volume, investment, construction sector.

и помощью малому и среднему предпринимательству, в связи с мероприятиями, которые были направлены на поддержание экономики России, социального положения россиян, к 2021 году ситуация стабилизировалась [3].

Материалы и методы

В работе использовались нормативные документы (Указ Президента РФ от 03.05.2022 № 252 (ред. от 22.12.2022) «О применении ответных специальных экономических мер в связи с недружественными действиями некоторых иностранных государств и международных организаций»), Интернет-ресурсы, содержащие научную информацию, также собственные научные статьи, статьи зарубежных авторов.

Методы научного исследования: анализ, синтез, дедукция, индукция, принципиальные подходы.

Результаты

В настоящее время, в условиях санкционного давления со стороны Запада, Россия открыла в себе более обширный и более полный потенциал социально-экономического развития внутри государства. Конечно, санкционное давление со стороны Запада сильно действовало на экономическую ситуацию в России, так как был ограничен экспорт, импорт продукции, работ и услуг, поэтому Президентом России 3 мая 2022 года был подписан Указ «О применении ответных специальных экономических мер в

связи с недружественными действиями некоторых иностранных государств и международных организаций» [4].

В данном Указе прописывались меры, которые запрещали совершать какие-либо сделки с недружественными государствами, также был запрет на исполнение обязательств перед иностранными физическими и юридическими лицами вывозить из России сырье и продукцию в пользу этих лиц. Данный Указ способствовал выходу России на определенную ступень развития: весь производственный и финансовый потенциал теперь работает внутри государства несмотря на ужесточение санкций, Россия больше развивается на национальном уровне, поднимает собственное производство, промышленные сферы деятельности и т. д. Под данную категорию также попадает и строительная сфера деятельности. На фоне санкционного давления ключевая ставка в феврале 2022 года повысилась до уровня 20,0 %, но уже к июню опустилась до 9,5 % [5].

Строительная сфера претерпела в последнее время много изменений, особенно в части технологий строительства, также в части модификаций на строительном рынке, повысилось качество строительства, также стали производить более качественные инновационные строительные материалы, появились различные экологические строительные технологии, которые позволили обеспечить более качественный уровень строительства и тем самым повысить конкурентоспособность отрасли.

Перспективным направлением стало формирование и развитие коммерческой недвижимости, которая является сферой правовых отношений, основанных на договорных условиях, ориентированных на внешний и внутренний рынки, также на применение всех возможностей, что, в свою очередь, определяется конкурентоспособностью сферы строительства как одного из факторов развития экономики государства. Именно формирование и развитие коммерческой недвижимости на рынке стало актуальной и важной задачей для социально-экономического развития страны.

Отметим, что на законодательном уровне строительная сфера, ее нормы и правила регулируются Федеральным законом РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором прописываются важнейшие положения строительной отрасли. Строительная область, по своей сути, связана не только со строительством каких-либо объектов, но и с реализацией данных объектов с целью получения доходности, что отражает роль формирования и развития коммерческой недвижимости. Поэтому строительная сфера является одной из важных и ведущих областей в отраслевой деятельности страны, исходя из вышесказанного – данному направлению деятельности государством уделяется большое внимание со стороны региональных и федеральных властей, так как именно данная деятельность повышает уровень благосостояния и социально-экономического развития государства [6].

По мнению Х. Х. Эсхаджиева, И. М. Дубаева, А. Б. Ахмедова, строительная отрасль способствует эффективно управлению экономикой страны, стандартизирует порядок развития строительного рынка, также способствует социально-экономическому развитию и повышает бюджетный доход, занятость населения [7].

Д. Кан отмечал, что «во всем многообразии видов коммерческой деятельности строительство было и остается одной из ведущих отраслей. Оно оказывает решающее влияние на развитие огромного количества смежных отраслей материального производства. Несмотря на определенные сложности, строительный сектор имеет множество перспектив для дальнейшего развития» [8].

Также, по мнению Е. В. Поезжаева, на современное состояние строительной сферы влияет огромное количество факторов, особенно экономические шоки, которые возникают в политической и экономической среде, что критически воздействует на бизнес, а в результате и на социально-экономическое развитие [9].

Д. Ф. Шишкина, В. А. Савина, И. С. Красов, М. А. Усов отмечают, что именно строительная сфера требует огромных инвестиций, но в настоящее время повышаются риски, связанные с капитальным вложением в строительную сферу, так как именно нестабильная политическая и экономическая ситуация влияет на все отрасли экономики [10].

М. В. Шевченко, Е. Р. Франковская придерживаются мнения, что основным направлением развития строительной сферы является ее конкурентоспособность, а для этого, по мнению авторов, нужно «анализировать спрос на рынке строительных услуг, совместно с государственными органами участвовать в разработке соответствующих социальных программ, анализировать возможности технологической модернизации предприятий, активно использовать в строительстве современные, экологичные и надежные материалы, повышать качество проектно-сметной документации, уделять внимание квалификации персоналу» [11].

Ю. А. Голиков и Я. П. Танцуй отмечают, что строительная сфера является неотъемлемой и важнейшей составляющей национальной экономики, что данная отрасль связана со всеми отраслями народного хозяйства, она не просто характеризует экономическое состояние государства, но и предвосхищает экономику страны [12].

Например, А. И. Кокорев, В. В. Кузьменко пишут, что «строительная отрасль – одна из фондообразующих отраслей экономики страны, решающая важнейшие социально-экономические задачи и во многом определяющая темпы развития экономики. Именно от строительного комплекса напрямую зависят решение жилищной проблемы, темпы обновления материально-технической базы и модификации основных фондов, структурная перестройка промышленности и, несомненно, эффективность реформирования всей экономики. Позитивный характер изменений в строительной отрасли напрямую будет зависеть от поведения инвесторов, таких как государство и крупные корпорации, а также, конечно, платежеспособности населения» [13].

В настоящее время перспективы развития строительной сферы ориентированы в направлении инновационности, цифровизации, модернизации строительных услуг и работ с целью получения необходимого строительного продукта, товара для реализации на рынках. Важной перспективой развития строительной сферы является применение более инновационных технологий строительства с учетом меняющихся тенденций и покупательской способности, с производством более экологичных и качественных материалов. Роль данной отрасли стала повышаться,

на рынках появились более прогрессивные разработки, которые требуют не только высокой квалификации работников строительной области, но и нового программного обеспечения. Однако новые инновационные разработки в строительной области являются более затратными в части приобретения новых качественных материалов. Тем не менее, несмотря на затратность модернизации строительных технологий, для более качественного производства строительного продукта, товара, данные трансформации и модификации необходимы, так как только они обеспечивают нужный уровень повышения конкурентоспособности и потребительского спроса для получения прибыли. Основным условием в данной ситуации является модификация методов и способов строительства объектов недвижимости.

Способов строительства домов, зданий и сооружений огромное количество, особенно в плане методов строительства, поэтому новые технологии строительства имеют свои как положительные характеристики, так и отрицательные. Что касается старых строительных технологий, то они также имели какие-то недостатки и достоинства, но самым положительным моментом было качество возведенных зданий, их долговечность [14].

Что касается современных методов строительства, то больше стали применяться инновационные материалы, которые уже прочно на сегодняшний день заняли свои позиции на рынке и пользуются огромным успехом, например, к таким материалам относятся клееный брус, СИП-панели, пенобетонные и газобетонные блоки и другие материалы, которые удобны в строительстве и используются при применении новых методов отделки, изоляции и иных строительных работах. Например, технология ТИЭС предполагает технологические способы индивидуального строительства и экологии, данная технология больше известна как «переставная опалубка». Достоинствами данной технологии являются простота, качество и экономичность.

По мнению О. И. Макаренко, «поскольку строительная отрасль находится под влиянием системных политических и экономических вызовов, отражающих как мировые тенденции, так и внутренние барьеры развития, возникает необходимость формирования инновационных направлений ее развития на технологичной основе с учетом административных реформ и новых вариантов финансирования строительных работ» [15].

Особую роль приобрели такие технологии, как ОСП-плиты и сборные щитовые СИП-панели, особенно при строительстве каркасных домов. Такие технические инновации обладают новыми качественными характеристиками: теплоизоляцией, защитой от ветра, влаги и т. д. Достоинством данных решений является низкая стоимость, высокая скорость строительства, также что касается коммуникаций – то они прокладываются внутри стен, а это простота монтажа, строительство возможно в любое время года, не используется грузоподъемная техника, строится облегченный фундамент и т. д. Но и существуют свои недостатки таких технологий – а именно недолговечность, то есть капитальный ремонт необходимо проводить каждые 20–30 лет, также важным моментом является большая пожароопасность и т. д. Такие нюансы необходимо учитывать при разработке различных материалов и технологий для строительства деревянных до-

мов, так как именно дерево более пожароопасное и имеет свойство гнить.

Особым направлением в отрасли строительства стали 3D-технологии, которые обеспечивают различные виды объемных изображений, то есть данные технологии предполагают трехмерное изображение, графику и также совокупность аппаратного и программного инструментария, который дает возможность создавать объемность объектов. В настоящее время подобная технология пользуется большим спросом в строительной сфере. Например, технология 3D-панели, которая предполагает усовершенствованную сборку каркасно-щитовых домов. Панели – это монолитные плиты, которые имеют армированную сетку с каждой стороны и соединяются посредством стержневого металла, проходящего насквозь. Основной характеристикой данной технологии является такой способ производства, когда в 3D-принтер могут загружаться строительные отходы, смешанные с цементом, и начинается процесс печати. По завершении данного процесса получается готовая стена.

Данные технологии считаются быстрыми в строительстве, также дешевыми, поэтому такой процесс строительства применяется при производстве бюджетных зданий, отмечается, что при применении такой технологии стены получаются пустотелыми. Опять же, 3D-технологии имеют как достоинства, так и недостатки. Преимуществами данной технологии являются низкая стоимость строительства при приобретении стандартных панелей, маловесомость конструкций, возможность строительных работ в любой сезон года, минимальные потери тепла и т. д. Недостатками данной технологии являются такие моменты: в теплоизоляции могут завестись вредители, а также необходимо создание продвинутой вентиляции и т. д.

Отмечаются и иные методы строительства зданий, сооружений, но, тем не менее, при применении любого метода имеются свои положительные и отрицательные моменты [16].

На рисунке 1 представлены перспективы развития приоритетных направлений строительной отрасли. Отметим, что экономический и политический кризисы повлияли на приоритетность развития строительной отрасли, в основном в направлении строительных технологий, которые стали более эффективными, например, в настоящее время в строительстве стали использоваться инновации в сфере моделирования зданий (BIM), также в отрасли стали использовать строительную робототехнику и современные строительные материалы, более качественные и экологичные. Например, как отмечал Ben-Zion Iliev, «любые инновации могут произвести революцию в строительном секторе. Строительный сектор будущего будет сочетать различные технологии для решения новых рыночных задач. Например, в 3D-принтере может использоваться самовосстанавливающийся бетон. Или роевые роботы могут быть запрограммированы с помощью BIM-системы. Возможен исход, при котором в этом секторе не будет внедрено ни одно новшество» [17].

Zerfu Kefiyalew Ekaputri, Januarti Jaya отмечают, что также важным направлением в области строительства являются новации, связанные с влиянием волокна из поливинилового спирта (ПВА) на прочность сцепления в геополимерном бетоне, что «добавление волокна PVA обеспечивает более пластичный режим разрушения как в

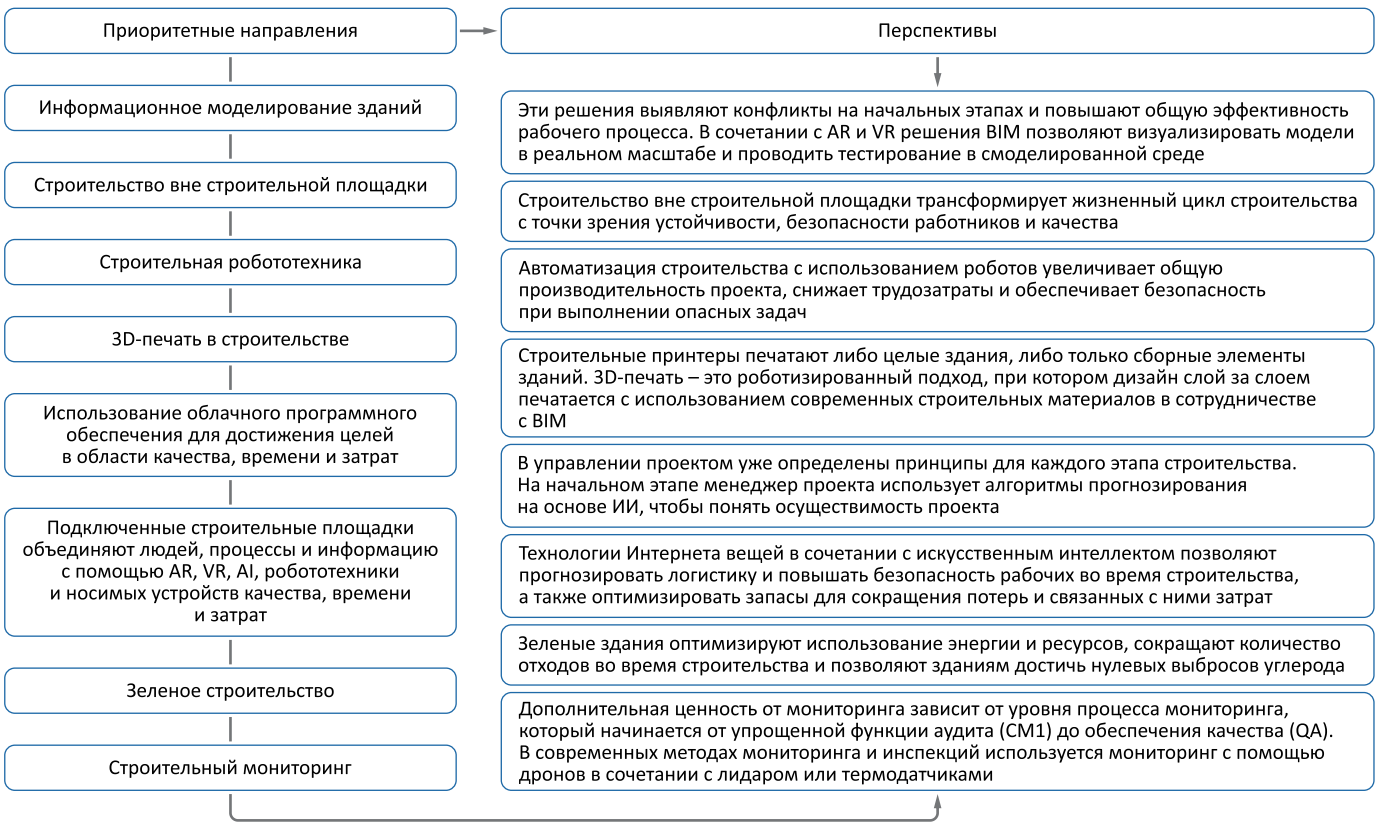


Рис. 1. Перспективы развития приоритетных направлений строительной отрасли [19]
Fig. 1. Prospects for the development of priority areas of the construction industry [19]

геополимерном, так и в ОРС-бетоне, чем в бетоне без волокна PVA» [18].

Saoudi Brahim, Haddadi Smail также отметили инновационную технологию, которая обеспечивает прочность конструкций, – «применение искусственных нейронных сетей (ANN) для прогнозирования скорости ползучести асфальтобетона, модифицированного различным содержанием каучука» [20].

В настоящее время начинается разработка стартапов и более масштабных проектов в строительной сфере, например, в области сборного производства, высокое внимание уделяется безопасности рабочих и также робототехнике, внедрению в строительную отрасль искусственного интеллекта, что повышает уровень производительности труда, качества труда и сокращает период строительства [21].

Обсуждение

Современные приоритетные направления строительной отрасли требуют все большего инновационного и цифрового вмешательства, так как именно качество и потребительские предпочтения делают данную отрасль конкурентоспособной. Особым приоритетным направлением строительной отрасли является информационное моделирование зданий, что предполагает расширение инструментов BIM, а именно решения в направлении централизованной базы данных, что обеспечивает работу над единой общей моделью. При моделировании применяются такие программные продукты, как 5D BIM, 6D BIM, которые учитывают затраты и время на строительство, и также энергосбережение.

Вторым по значимости приоритетным направлением является внешнее строительство, которое предполагает строительство вне строительной площадки, что модифицирует жизненный цикл строительства в направлении безопасности, устойчивости и качества.

Третье направление – применение робототехники – показывает автоматизацию строительных работ с учетом специфики строительных работ (земляные работы, тяжелый автопарк, транспортировка, подъем грузов и т. д.).

Четвертое направление – строительная 3D-печать, которая предполагает применение роботизированного метода, в печати применяются разнообразные методы, а именно: экструзия, силовое склеивание, аддитивная сварка.

Пятое направление – «управление строительным проектом» при использовании облачного программирования, что обеспечивается достижением цели в направлении качества, времени и затрат.

Шестое направление – современные строительные материалы, которые стали более качественными, экологичными, они изготовлены из живых организмов (бактерий), в отличие от бетона данные материалы самовосстанавливаются.

Седьмое направление – это безопасность строительных работ, особое внимание уделяется искусственному интеллекту для прогнозных данных опасностей и принятия необходимых мер по устранению ошибок и т. д., в данном направлении используется технология VR, которая предполагает обучение полевых работников для выполнения опасных задач при помощи иммерсионного обучения.

Восьмое направление – подключение строительной площадки посредством AR, VR и AI-технологий, робототехники и иных программных устройств.

Девятое направление – это внедрение экоздания, то есть строительство на основе энергии и ресурсов, которые снижают количество отходов во время строительных работ и позволяют зданиям достигать нулевых выбросов углерода.

Десятое направление – это строительный мониторинг, в основе которого лежат робототехника и искусственный интеллект, используются камеры высокой четкости и методы распознавания на базе искусственного интеллекта. Робототехника выявляет неисправности и отказы в различных конструкциях посредством встроенных сенсорных технологий.

Заключение

Экономический и политический кризисы повлияли на приоритетность развития строительной отрасли, в основном в направлении строительных технологий, которые стали более эффективными. Анализируя приоритетные направления строительной отрасли, мы приходим к основному выводу, что именно инновационность и технологическая составляющая, цифровые методы являются важным направлением развития данной отрасли. Строительная область начинает трансформироваться в связи с разработками и появлением новых цифровых технологий, приоритетность направлений в строительной сфере вызвана различными факторами, которые направлены на более качественное и экологичное строительное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чвилев, А. Н. Правовой режим регулирования строительных услуг – как объекта недвижимости коммерческого оборота / А. Н. Чвилев // Федеральная служба государственной статистики. Строительство : [электронный ресурс]. – URL : rosstat.gov.ru/folder/14458.
- Строительство в России. 2022 : Стат. сб. / Росстат. – Москва, 2022. – 148 с.
- Главные тенденции строительной отрасли, за которыми следить в 2022 году / Andreyex.ru : [электронный ресурс]. – URL: andreyex.ru/stati...stroitelnoj-otrasli...v-2022-godu/.
- О применении ответных специальных экономических мер в связи с недружественными действиями некоторых иностранных государств и международных организаций : Указ Президента РФ от 03.05.2022 № 252 (ред. от 22.12.2022 № 942) / Свод законов Российской Федерации. – 2022. – № 1. – Ст. 1.
- Десять трендов строительной отрасли в 2022 году / Р. Гарипов // Snob.ru : [электронный ресурс]. – URL : https://snob.ru/profile/32965/blog/1007194/.
- Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ / Свод законов Российской Федерации. – 2009. – № 1. – Ст. 1.
- Эсхаджиева, Х. Х. Проблемы и перспективы развития строительной отрасли в Российской Федерации / Х. Х. Эсхаджиева, И. М. Дубаева, А. Б. Ахмедова // Прикладные экономические исследования. – 2023. – № 1. – С. 174–180.
- Кан, Д. Некоторые тенденции и перспективы развития строительной отрасли в России / Д. Кан // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 2. – С. 1–10.
- Поезжаев, Е. В. Перспективы развития строительной отрасли Российской Федерации в «постпандемийный период» / Е. В. Поезжаев // Вестник Алтайской Академии экономики и права. – 2022. – № 2. – С. 83–89.
- Факторы развития строительного комплекса в Российской Федерации / Д. Ф. Шишкина, В. А. Савина, И. С. Красов, М. А. Усов. – DOI 10.34670/AR.2020.94.4.008 // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2020. – Т. 10, № 3А. – С. 65–70.
- Шевченко, М. В. Проблемы и перспективы развития строительной отрасли в России / М. В. Шевченко, Е. Р. Фран-

Данные факторы определяют перспективы развития строительной отрасли, перспективными направлениями развития строительной отрасли становятся информационное моделирование зданий, внешнее строительство, которое предполагает строительство вне строительной площадки, строительная 3D-печать, которая предполагает применение роботизированного метода, «управление строительным проектом» при использовании облачного программирования, современные строительные материалы, которые стали более качественными, экологичными, безопасность строительных работ, где особое внимание уделяется искусственному интеллекту для прогнозных данных опасностей и принятия необходимых мер по устранению ошибок и т. д., подключение строительной площадки посредством AR, VR и AL-технологий, робототехники и иных программных устройств, внедрение экоздания, строительный мониторинг, в основе которого лежат робототехника и искусственный интеллект. Все данные направления со временем прогрессируют и приобретают более разнонаправленное применение в строительной отрасли, также обеспечивают высокий уровень безопасности и эффективность строительства.

- ковская / Белгородский экономический вестник. – 2021. – № 3. – С. 8–11.
- Голиков, Ю. А. Современные тенденции развития строительного комплекса / Ю. А. Голиков, Я. П. Танцуй // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2015. – № 3. – С. 1–6.
- Кокорев, А. И. Проблемы и перспективы развития строительной индустрии / А. И. Кокорев, В. В. Кузьменко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № 3. – С. 96–103.
- Современная Россия / Российская цивилизация в пространстве, времени и мировом контексте // Ros-mir.ru : [электронный ресурс]. – URL : http://рос-мир.рф/node/729.
- Макаренко, О. И. Инновационные императивы развития современных строительных материалов и технологий в жилищном строительстве / О. И. Макаренко. – DOI 10.18334/zhs.10.1.117517 // Жилищные стратегии. – 2023. – № 1. – С. 43–60.
- Обзор строительной отрасли в России 2020–2022: прошлые успехи и новые вызовы / Открытый журнал : [электронный ресурс]. – URL : https://journal.open-broker.ru/analitika/obzor-stroitelnoj-otrasli-v-rossii/.
- Iliev, B.-Z. Modern Trends in Innovative Construction Projects / B.-Z. Iliev. – DOI 10.26794/2308-944X-2019-7-2-53-56 // Review of Business and Economics Studies. – 2019. – Vol. 7, No. 2. – P. 53–56.
- Zerfu, K. Bond strength in PVA fibre reinforced fly ash-based geopolymer concrete / K. Zerfu, J. J. Ekaputri // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Iss. 1 (101), No. 10105.
- Коронавирус в России / Утро.ру : [электронный ресурс]. – URL : https://utro.ru/news/coronavirus/2023/03/22/1525152.shtml.
- Brahim, S. Predicting creep deformation of asphalts modified with polymer using artificial neural networks / S. Brahim, H. Smail. – DOI 10.34910/MCE.101.6 // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Iss. 1 (101), No. 10106.
- Информация о введенных санкциях в отношении Российской Федерации / Торгово-промышленная палата Российской Федерации : [электронный ресурс]. – URL : uslugi.tpprf.ru/sanctions_2022/.

REFERENCES

- Chvilev, A. N. Pravovoj rezhim regulirovaniya stroitel'nykh uslug – kak ob'ekta nedvizhimosti kommercheskogo oborota [The legal regime of regulation of construction services – as a real estate object of commercial turnover] / A. N. Chvilev // Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Stroitel'stvo : ehlektronnyj resurs] [Federal State Statistics Service. Construction : electronic resource]. – URL: rosstat.gov.ru/folder/14458.
- Stroitel'stvo v Rossii. 2022 : Stat. sb. [Construction in Russia. 2022 : Statistical collection] / Rosstat. – Moscow, 2022. – 148 p.
- Glavnye tendentsii stroitel'noj otrasli, za kotorymi sledit' v 2022 godu [The main trends of the construction industry to follow in 2022] / Andreyex.ru : [electronic resource]. – URL : andreyex.ru/stati...stroitelnoj-otrasli...v-2022-godu/.
- O primenenii otvetnykh spetsial'nykh ehkonomicheskikh mer v svyazi s nedruzhestvennymi dejstviyami nekotorykh inostrannykh gosudarstv i mezhdunarodnykh organizatsij [On the application of retaliatory special economic measures in connection with the unfriendly actions of some foreign states and international organizations] : Ukaz Prezidenta RF ot 03.05.2022 № 252 (red. ot 22.12.2022 № 942) [Decree of the President of the Russian Federation No. 252 of 03.05.2022 (ed. No. 942 of 22.12.2022)] / Svod zakonov Rossijskoj Federatsii [Code of Laws of the Russian Federation]. – 2022. – № 1. – Article 1.
- Desyat' trendov stroitel'noj otrasli v 2022 godu [Ten trends of the construction industry in 2022] / R. Garipov // Snob.ru : [electronic resource]. – URL : https://snob.ru/profile/32965/blog/1007194/.
- Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij [Technical Regulations on the safety of buildings and structures] : Federal'nyj zakon RF ot 30.12.2009 № 384-FZ [Federal Law of the Russian Federation No. 384-FZ dated 30.12.2009] / Svod zakonov Rossijskoj Federatsii [Code of Laws of the Russian Federation]. – 2009. – № 1. – Article 1.
- Eshajieva, H. H. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'noj otrasli v Rossijskoj Federatsii [Problems and prospects of development of the construction industry in the Russian Federation] / H. H. Eshajieva, I. M. Dubaeva, A. B. Akhmedova // Prikladnye ehkonomicheskie issledovaniya [Applied economic research]. – 2023. – № 1. – P. 174–180.
- Kan, D. Nekotorye tendentsii i perspektivy razvitiya stroitel'noj otrasli v Rossii [Some trends and prospects for the development of the construction industry in Russia] / D. Kan // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik [International Student Scientific Bulletin]. – 2017. – № 2. – P. 1–10.
- Poezdaev, E. V. Perspektivy razvitiya stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federatsii v «postpandemijnyj period» [Prospects for the development of the construction industry of the Russian Federation in the «post-pandemic period»] / E. V. Poezdaev // Vestnik Altajskoj Akademii ehkonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. – 2022. – № 2. – P. 83–89.
- Factory razvitiya stroitel'nogo kompleksa v Rossijskoj Federatsii [Factors of development of the construction complex in the Russian Federation] / D. F. Shishkina, V. A. Savina, I. S. Kra-

- sov, M. A. Usov. – DOI 10.34670/AR.2020.94.4.008 // Ehkonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economy: yesterday, today, tomorrow]. – 2020. – Vol. 10, № 3A. – P. 65–70.
- Shevchenko, M. V. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'noj otrasli v Rossii [Problems and prospects of development of the construction industry in Russia] / M. V. Shevchenko, E. R. Frankovskaya // Belgorodskij ehkonomicheskij vestnik [Belgorod Economic Bulletin]. – 2021. – № 3. – P. 8–11.
- Golikov, Yu. A. Sovremennye tendentsii razvitiya stroitel'nogo kompleksa [Modern trends in the development of the construction complex] / Yu. A. Golikov, Ya. P. Dance // Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologij [Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technologies]. – 2015. – № 3. – P. 1–6.
- Kokorev, A. I. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'noj industrii [Problems and prospects of development of the construction industry] / A. I. Kokorev, V. V. Kuzmenko // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta [Bulletin of the North Caucasus Federal University]. – 2017. – № 3. – P. 96–103.
- Sovremennaya Rossiya [Modern Russia] / Rossijskaya tsivilizatsiya v prostranstve, vremeni i mirovom kontekste [Russian civilization in space, time and world context] // Ros-mir.ru : [electronic resource]. – URL : http://рос-мир.рф/node/729.
- Makarenko, O. I. Innovatsionnye imperativy razvitiya sovremennykh stroitel'nykh materialov i tekhnologij v zhilishhnom stroitel'stve [Innovative imperatives of the development of modern building materials and technologies in housing construction] / O. I. Makarenko. – DOI 10.18334/zhs.10.1.117517 // Zhilishhnye strategii [Housing strategies]. – 2023. – № 1. – P. 43–60.
- Obzor stroitel'noj otrasli v Rossii 2020–2022: proshlye uspekhi i novye vyzovy [Overview of the construction industry in Russia 2020-2022: past successes and new challenges] / Otkrytyj zhurnal [Open journal : electronic resource]. – URL: https://journal.open-broker.ru/analitika/obzor-stroitelnoj-otrasli-v-rossii/.
- Iliev, B.-Z. Modern Trends in Innovative Construction Projects / B.-Z. Iliev. – DOI 10.26794/2308-944X-2019-7-2-53-56 // Review of Business and Economics Studies. – 2019. – Vol. 7, No. 2. – P. 53–56.
- Zerfu, K. Bond strength in PVA fibre reinforced fly ash-based geopolymer concrete / K. Zerfu, J. J. Ekaputri // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Iss. 1 (101), No. 10105.
- Koronavirus v Rossii [Coronavirus in Russia] / Utro.ru : ehlektronnyj resurs : [electronic resource]. – URL : https://utro.ru/news/coronavirus/2023/03/22/1525152.shtml.
- Brahim, S. Predicting creep deformation of asphalts modified with polymer using artificial neural networks / S. Brahim, H. Smail. – DOI 10.34910/MCE.101.6 // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Iss. 1 (101), No. 10106.
- Informatsiya o vvedennykh sanktsiyakh v otnoshenii Rossijskoj Federatsii [Information about the sanctions imposed on the Russian Federation] / Torgovo-promyshlennaya palata Rossijskoj Federatsii [Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation : electronic resource]. – URL : uslugi.tpprf.ru/sanctions_2022/.

УДК69 DOI: 10.54950/26585340_2023_4_32

Цифровое информационное моделирование BIM – одна из возможностей управления жизненным циклом объектов строительства

Digital Information modeling BIM Is One of the Possibilities of Construction Objects Life Cycle Management

Лapidус Азари́й Абрамович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, lapidus58@mgsu.ru

Lapidus Azari 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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, lapidus58@mgsu.ru

Федосов Сергей Викторович

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, FedosovSV@mgsu.ru

Fedosov Sergei Viktorovich

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, FedosovSV@mgsu.ru

Петрухин Александр Борисович

Доктор экономических наук, профессор кафедры «Организация производства и городского хозяйства», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, a.petruhin@mail.ru

Petrukhin Alexander Borisovich

Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, a.petruhin@mail.ru

Кеневей Эммануел

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, kenewei@mail.ru

Kenewei Emmanuel

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, kenewei@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день важнейшим вопросом в сфере строительной недвижимости является ее информационное обеспечение, то есть какие данные, касающиеся объектов недвижимости, требуются на разных стадиях жизненного цикла (изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, снос и утилизация) объектов строительства. BIM позволяет не только проектировать объекты строительства (здания, дороги, плотины и т. д.) с реальными данными, но и управлять ими. С помощью 3D-моделирования проектировщики улучшают уровень проектирования с меньшими затратами времени на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства. Целью данной статьи является обзор преимуществ информационного моделирования, позволяющего управлять жизненным циклом объектов строительства. Для достижения этой цели в статье решены следующие задачи: рассмотрение основных возможностей и преимуществ BIM-технологии, позволяющей управлять жизненным циклом объектов строительства; рассмотрение особенностей внедрения BIM-технологий в зарубежное и отечественное про-

ектирование. Метод, использованный авторами в данном исследовании, является индуктивным, а материал, изложенный в статье, посвящен информационному моделированию. В результате работы авторов выявлено следующее: информационное моделирование обеспечивает снижение использования расходных ресурсов, оптимизацию использования площадей, снижение рисков и улучшение безопасности эксплуатации объекта; BIM-технологии позволяют также снизить себестоимость строительства, повысить скорость работы и, в конечном итоге, обеспечить эффективное управление строительством на всех этапах жизненного цикла объекта. Исходя из этого делается вывод, что информационное моделирование играет важнейшую роль в управлении жизненным циклом объектов строительства.

Ключевые слова: цифровое информационное моделирование, BIM-технологии, жизненный цикл объекта строительства, стадии проектирования, управление, информационные технологии.

ent stages of the life cycle (survey, design, construction, operation, demolition, and waste disposal) of construction objects. BIM allows not only to design construction objects (buildings, roads,

dams, etc.) with real data but also to manage them. With the help of 3D modeling, designers improve the level of design with less time in all stages of the life cycle of construction objects. The purpose of this article is to review the benefits of information modelling, allowing you to managing the life cycle of construction projects. To achieve this goal, the article solves the following tasks: consideration of some opportunities and advantages of BIM technologies in managing the life cycle of construction objects; consideration of the features of BIM technology implementation in foreign and domestic design. The method used by the authors in this study is inductive, and the material presented in the article is information modeling. As a result of the authors' work, the

Введение

История строительства показывает, что от первых эскизных идей до момента строительства на процесс проектирования всегда затрачивалось много ресурсов, а это, в свою очередь, влияет на период возведения объектов строительства. Проектировщики сталкивались с проблемой ограничения детализации проработки проектных решений. Стремление к разрешению данной ситуации привело к созданию BIM-технологии, которая стала прогрессом для улучшения качества проектирования в сфере строительства и теперь внедряется во всех развитых странах.

BIM-технология, или цифровое информационное моделирование, является революционным методом проектирования зданий и сооружений, ибо она позволяет определить, какие данные об объектах строительства понадобятся через несколько лет, а какие являются мало-значимыми [1]. Оно также дает возможность построить компьютерные модели, с помощью которых можно принять точное решение о необходимости тех или иных операций по управлению жизненным циклом объектов строительства [2]. BIM-технологии являются перспективным направлением в отрасли проектирования зданий и сооружений.

BIM-технологии начали внедряться в строительной отрасли в США с 2003 года, а в странах Европы и Азии с 2007 года. Позднее, в феврале 2019 года, в России был подготовлен проект Федерального закона «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации» о внедрении информационного моделирования для управления данными об объектах капитального строительства [3]. Важно отметить, что в 2014 году Правительством РФ утвержден План поэтапного внедрения

following has been revealed: information modeling provides a reduction in the use of consumable resources, optimizes the use of space, reduces risks, and improves the safety of facility operation; BIM technologies can also reduce the cost of construction, increase the speed of work and, ultimately, provide total construction management at all stages of the life cycle of the facility. From there, it is deduced that information modeling plays a crucial role in the life cycle management of construction projects.

Keywords: digital information modeling, BIM technologies, the life cycle of the construction object, design stages, management, information technology.

технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства [4].

Исходя из вышеизложенного, прогресс в области проектирования привел к созданию информационного моделирования, которое является актуальным инструментом для управления жизненным циклом объектов строительства.

Зарубежный опыт показывает, что внедрение BIM-технологий позволило сократить время проектирования приблизительно на 40 %, это привело к экономии денежных средств, что, в свою очередь, увеличивает производительность и общую прибыль компании [1]. В связи с этим информационное моделирование является не только новым инструментом для улучшения процесса проектирования и управления жизненным циклом объектов строительства, но способом повышения эффективности строительных компаний.

Целью данной статьи является обзор преимуществ информационного моделирования, позволяющего управлять жизненным циклом объектов строительства. Эта цель достигается путем решения следующих задач: рассмотреть наиболее существенные возможности и преимущества BIM-технологий, позволяющих управлять жизненным циклом объектов строительства, а также рассмотреть особенности внедрения BIM- технологий в зарубежное и отечественное проектирование.

Материалы и методы

Информационная модель – это совокупность представленных в электронном виде данных по объекту строительства на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла. Она представляет собой информационную среду, в которой существует объект строительства на протяжении всей своей жизни, и позволяет при необходимости изменить технологии управления объектом и техноло-

Уровень LOD	Описание
LOD 100	Элемент модели может быть представлен в виде объемных формообразующих элементов с приблизительными размерами, формой, пространственным положением и ориентацией или в виде 2D-символа.
LOD 200	Элемент модели представлен в виде объекта или сборки как характерный представитель системы здания с предварительными размерами, формой и пространственным положением, ориентацией и необходимой атрибутивной информацией.
LOD 300	Элемент модели представлен в виде объекта или сборки, принадлежащей конкретной системе здания, с точными размерами, формой и пространственным положением, ориентацией, связями и необходимой атрибутивной информацией.
LOD 400	Элемент модели представлен в виде конкретной сборки и детальными размерами, формой, пространственным положением, ориентацией, четкими связями, данными по изготовлению и монтажу, а также другой необходимой атрибутивной информацией.
LOD 5000	Элемент модели представлен в виде конкретной сборки и с фактическими размерами, формой, пространственным положением, ориентацией и атрибутивной информацией, достаточной для передачи модели в эксплуатацию.

Источник: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17329

Табл. 1. Базовые уровни разработки – LOD
Tab. 1. Basic levels of development – LOD

гии организации совместной работы множества людей, участвующих в процессе проектирования, строительства, эксплуатации и сносе объекта. Информационная модель в BIM-технологии состоит из компонентов. Компонент – это цифровое представление реальных функциональных свойств отдельного элемента объекта строительства, подходящего для многократного использования [2]. Компоненты, примененные в модели, являются элементами модели. В зависимости от уровня разработки элементов модели, компоненты бывают более детализированными или менее детализированными. Уровень детализации компонентов модели, или LOD (Level of Development), представляет собой набор правил, детерминирующий полноту проработки элементов BIM-модели. Уровень детализации задает минимальный объем геометрической, пространственной или любой атрибутивной информации, необходимой для решения задач на определенной стадии жизненного цикла объекта строительства. Ниже в таблице 1 представлены уровни детализации – LOD, применяемые на практике [2].

Жизненный цикл строительного объекта включает в себя последовательность следующих моментов: концепции, разработки, реализации, ликвидации. При этом общие затраты и эффективность строительного объекта в течение полного жизненного цикла представляют собой затраты на расходы предпроектных изысканий, проектирования и строительства, доходы в процессе эксплуатации построенного объекта и затраты на демонтаж объекта (снос) и утилизацию. С инженерно-строительной точки зрения, жизненный цикл строительного объекта реализуется путем выполнения работ по анализу, проектированию, изготовлению, транспортированию, монтажу, эксплуатации, ремонту, демонтажу и т. д. [5].

Для решения первой задачи данного исследования необходимо перечислить основные преимущества информационного моделирования. При использовании BIM-технологии строительные компании получают следующие возможности:

- улучшение ясности коллектива в понимании эскизного проекта на 69 %;
- улучшение уровня качества проектирования на 62 %;
- уменьшение проблем в процессе проектирования на 59 %;
- учитывается весь жизненный цикл проекта от эскиза до исполнения и утилизации [6];
- информационная модель объекта с его частными данными;
- подробная проектная документация с возможностью быстрого устранения возникающих ошибок;
- регулирование данных в соответствии с реальными факторами и управление жизненным циклом объекта;
- возможность совместного использования информационной модели объекта разными подрядными организациями [1].

Преимущества при использовании BIM-технологии для заказчиков:

- визуальное представление 3D-модели будущего объекта;
- возможность разработки нескольких вариантов проекта на эскизном этапе;
- точное управление и контроль, а также подробные и качественные планировочные решения;
- удобная возможность обмена информацией между участниками проекта;
- снижение потребительских расходов [7].

Стадии жизненного цикла объекта недвижимости (рис. 1):

- Эскиз (концептуальная, начальная стадия) – определение целей проекта, его жизнеспособности, разработка технико-экономического обоснования, исследование рынка, декларация о намерениях.
- Разработка – документальное проектирование, разработка структуры проекта, сроков реализации и потребностей в ресурсах.

- Строительство – реализация и сдача объекта в эксплуатацию.
- Использование – плановый, текущий и капитальный ремонт, модернизация, реконструкция.
- Демонтаж – ликвидация строения, утилизация отходов, рекультивация земельных участков.

Следует отметить, что BIM-технология является методом проектирования с учетом основных параметров объектов строительства, связанных с их жизненным циклом – от затрат на период строительства до последующих ежемесячных расходов на электроэнергию и на демонтаж объекта.

BIM-технология позволяет четко проработать ключевые моменты строительства – такие как технология производства работ, логистические цепочки последовательности работ, технико-экономические показатели, хранение материалов и безопасности труда. Таким образом, информационное моделирование позволяет составить смету каждой стадии строительства, контролировать затраты, ресурсы и оптимизировать продолжительность работ [8].

Какими бы ни были уровни проработки проектов при применении информационного моделирования, результаты должны позволить управлять жизненным циклом объектов строительства. Иными словами, применение информационного моделирования приводит к следующему:

- оптимизация трудовых ресурсов объектов строительства;
- оптимизация использования денежных ресурсов проектов;
- улучшение качества проектных решений;
- рациональное и контрольное управление проектами;
- актуализация информационных данных об оборудовании [7].

При решении второй поставленной задачи было установлено, что зарубежный опыт внедрения информационного моделирования в строительстве привел к сокра-

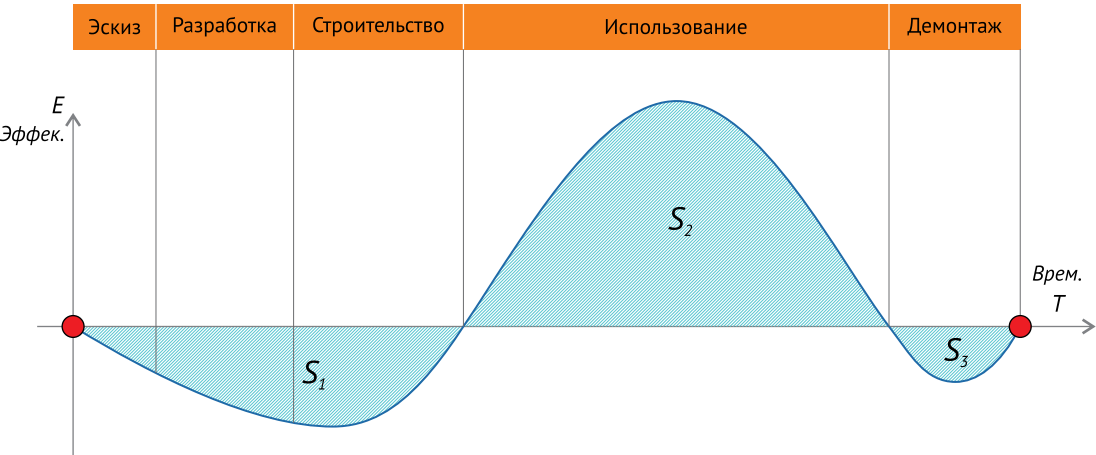
щению продолжительности проектирования на 40 % [1]. Как следствие, это привело к повышению заработной платы работников, увеличению общей прибыли и повышению эффективности работы компании в целом.

В России к внедрению информационного моделирования Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства приступило в 2015 году. Прогнозируется, что использование BIM-технологии позволит сократить затраты на строительство объектов примерно на 30 % [4]. Поскольку BIM-технологии сопряжены с определенными сложностями при разработке конструктивных разделов проектов, многие строительные компании мало заинтересованы и не готовы к большим первоначальным затратам для освоения BIM-технологии [1].

Несмотря на трудности применения BIM-технологий в России, информационное моделирование является актуальным инструментом для эффективного проектирования и ключевым способом управления жизненным циклом объектов строительства. Этому в значительной степени способствуют такие нормативные документы, как СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве» и Федеральный закон «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации», принятый в феврале 2019 года.

Результаты исследования

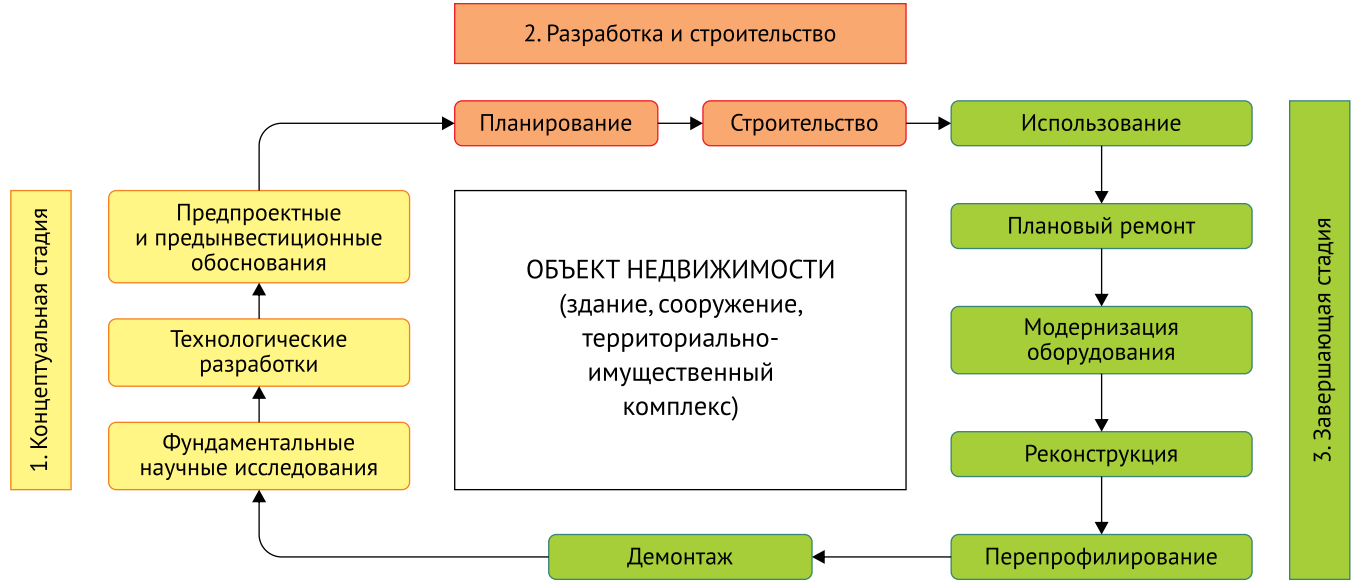
Информационное моделирование обеспечивает снижение использования расходных ресурсов, оптимизируют использование площадей, снижает риски и улучшает безопасность эксплуатации объекта. Это в свою очередь способствует качественной организации работ и обеспечивает наилучший уровень охраны труда и безопасности на строительной площадке [2]. Благодаря BIM-технологии проектировщики и строители могут улучшить качество проектирования, строительства и эксплуатации объектов. BIM-технологии позволяют также снизить себестоимость строительства и повысить скорость работы, и в итоге обеспечить эффективное управление строительством на всех этапах жизненного цикла объекта.



Источник: <https://studfile.net/preview/5945252/page:7/>

Рис. 1. Стадии и эффективность жизненного цикла объекта недвижимости, где S_1 – суммарные затраты и эффективность проекта на предпроектных изысканиях, при проектировании и строительстве; S_2 – доходы от эксплуатации построенного объекта; S_3 – затраты на выход из проекта и ликвидацию

Fig. 1. Stages and efficiency of the life cycle of a real estate project, where S_1 is the total costs and efficiency of the project during pre-project surveys, design and construction; S_2 is the income from the operation of the constructed facility; S_3 is the cost of exiting the project and liquidation



Источник: <https://studfile.net/preview/5945252/page:7/>

Рис. 2. Содержание стадий жизненного цикла объекта недвижимости
Fig. 2. Content of the stages of the life cycle of a real estate project

Содержание стадий жизненного цикла объекта недвижимости (рисунок 2):

1. Концептуальная стадия (начальная) – формулирование идеи проекта, определение цели и задач, проведение проектного анализа и оценки возможных альтернатив проекта, технико-экономического обоснования.
2. Разработка и строительство – сбор необходимых исходных данных, проведение проектно-исследовательских работ, разработка структуры проекта, осуществление планирования и документального проектирования, определение продолжительности строительства и потребности в ресурсах, определение основных исполнителей, проведение экспертизы проекта, организация обеспечения строительства необходимыми видами ресурсов, выполнение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности внедрения BIM-технологии в отечественные организации / А. Е. Перцева, А. А. Волкова, Н. С. Хижняк, Н. С. Астафьева // Вестник Евразийской науки. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 52.

2. Грабовый, П. Г. Организация строительства и девелопмент недвижимости. Часть I. Организация строительства / П. Г. Грабовый. – Москва : Издательство АСВ, 2018. – 648 с.

3. Трудности поэтапного внедрения BIM / В. В. Шарманов, А. Е. Мамаев, А. С. Бoleyko, Ю. С. Золотова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 10 (37). – С. 108–120.

4. Городнова, Н. В. Применение информационных технологий в концепции развития городов: экономико-правовые аспекты / Н. В. Городнова, Е. Г. Шаблова // Жилищные стратегии. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 277–293.

5. Управление строительством. Часть I. Организационные модели управления и контрактные конструкции объекта капитального строительства : учебник в 2 частях и Практикум

REFERENCES

1. Osobennosti vnedreniya BIM-tekhnologii v otechestvennye organizatsii [Features of the introduction of BIM technology in domestic organizations] / A. E. Pertseva, A. A. Volkova, N. S. Khizhnyak, N. S. Astafyeva // The Eurasian Scientific Journal. – 2017. – Vol. 9, № 6. – 52 p.

2. Grabov, P. G. Organizatsiya stroitel'stva i development nedvizhimosti. Chast' I. Organizatsiya stroitel'stva [Organization of construction and real estate development. Part I. Organization of construction] / P. G. Grabov. – Moscow : Publishing House of the DIA, 2018. – 648 p.

3. Trudnosti poehtapnogo vnedreniya BIM [Difficulties of phased implementation of BIM] / V. V. Sharmanov, A. E. Mamaev, A. S. Boleyko, Y. S. Zolotova // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2015. – № 10 (37). – P. 108–120.

4. Gorodnova, N. V. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy v kontseptsii razvitiya gorodov: ehkonomiko-pravovye aspekty [Application of information technologies in the concept of urban development: economic and legal aspects] / N. V. Gorodnova, E. G. Shablova // Zhilishhnye strategii [Housing strategies]. – 2019. – Vol. 6, № 3. – P. 277–293.

5. Upravlenie stroitel'stvom. Chast' I. Organizatsionnye modeli upravleniya i kontraktnye konstruksii ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva : uchebnik v 3 chastyakh [Construction management. Part I. Organizational management models and con-

строительно-монтажных работ, контроль, управление и координация.

3. Использование – проведение регламентного обслуживания, проведение технических и эксплуатационных работ, плановый и капитальный ремонт, модернизация, работы по реконструкции и пере-профилированию в строительстве.
4. Демонтаж – комплексные работы по сносу зданий, вывозу и утилизации отходов, рекультивации земельного участка.

Заклучение и обсуждение

По результатам изучения зарубежного и отечественного опыта внедрения BIM-технологий в строительном комплексе можно заключить, что BIM-технологии являются актуальным и эффективным механизмом управления жизненным циклом объекта строительства.

(Часть 3) / С. И. Беляков, Р. В. Волков, Е. А. Вьюгина и др. ; под общ. науч. ред. П. Г. Грабового, А. А. Лapidуса ; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 4-е изд. – Москва : Издательство АСВ : Просветитель, 2022. – 478 с.

6. Астафьева, Н. С. Преимущества использования и трудности внедрения информационного моделирования зданий / Н. С. Астафьева, Ю. А. Кибирева, И. Л. Васильева // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 8 (59). – С. 41–62.

7. Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов / С. Бенклян, Т. Кисель, М. Король, Н. Новкович ; ООО «Конкуратор» ; Autodesk. – Москва, 2019. – 100 с.

8. Савченко, Р. Н. Основные принципы и особенности BIM-технологии // Вопросы науки и образования. / Р. Н. Савченко // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 27 (39). – С. 26–29.

tract constructions of the capital construction object : textbook in 3 parts] / S. I. Belyakov, R. V. Volkov, E. A. Vyugina, etc.; under the total. Scientific ed. by P. G. Grabovoi, A. A. Lapidus ; Natsional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [National Research Moscow State University of Civil Engineering]. – 4th ed. – Moscow : Izdatel'stvo ACB [Publishing house ASV] : Prosветitel' [Enlightener], 2022. – 478 p.

6. Astafyeva, N. S. Preimushhestva ispol'zovaniya i trudnosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [Advantages of using and difficulties of implementing information modeling of buildings] / N. S. Astafyeva, Yu. A. Kibireva, I. L. Vasilyeva // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2017. – № 8 (59). – P. 41–62.

7. Rukovodstvo po informatsionnomu modelirovaniyu (BIM) dlya zakazchikov na primere promyshlennykh ob'ektov [Guide to information modeling (BIM) for customers on the example of industrial facilities] / S. Benklyan, T. Kisel, M. Korol, N. Novkovich ; Konkurator LLC ; Autodesk. – Moscow, 2019. – 100 p.

8. Savchenko, R. N. Osnovnye printsipy i osobennosti BIM tekhnologii [Basic principles and features of BIM technology] / R. N. Savchenko // Voprosy nauki i obrazovaniya [Issues of science and education]. – 2018. – № 27 (39). – P. 26–29.

УДК 69.057.4

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_37

Исследование особенностей строительно-монтажных операций по установке крупногабаритных железобетонных модулей в проектное положение

Investigation of the Features of Construction and Installation Operations for the Installation of Large-Sized Reinforced Concrete Modules in the Design Position

Амбарцумян Сергей Александрович

Доктор технических наук, профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

Ambartsumyan Sergey Alexandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

Колпаков Андрей Михайлович

Кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, a.kolpakov@mai.ru

Kolpakov Andrey Mikhailovich

Candidate of Engineering Sciences, Moscow Aviation Institute (National Research University), (MAI), Russia, 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, a.kolpakov@mai.ru

Мочалин Дмитрий Евгеньевич

Аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, d.mochalin@mon-arch.ru

Mochalin Dmitry Evgenievich

Postgraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, dm.mochalin@mail.ru

Аветисян Роберт Тигранович

Аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, robert.avetisyan.98@mail.ru

Avetisyan Robert Tigranovich

Postgraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, robert.avetisyan.98@mail.ru

Събева Юлия Александрова

Аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, y.sbeva@monarch.ru

Siebeva Julia Alexandrova

Postgraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, y.sbeva@monarch.ru

Аннотация. В статье авторами изучена перспектива строительства зданий из крупногабаритных модулей. Авторами рассматриваются особенности монтажа крупногабаритных модулей с помощью траверсы. Исследован алгоритм строповки крупногабаритного модуля. Изучены факторы, влияющие на продольный и поперечный перекосы крупногабаритного модуля в момент монтажа в проектное положение. Приведены общий вид и схемы выравнивания крупногабаритного модуля перед монтажом. Проведены практические эксперименты, позволившие определить особенности траверсы во время монтажа крупногабаритного модуля в проектное положение. В статье был произведен расчет перераспределения нагрузок на равномерно распределенные точки подвески модуля длиной 15 и шириной 6,5 метров. Авторами был проведен анализ перерас-

Abstract. In the article, the authors studied the prospect of building buildings from large-sized modules. The authors consider the features of the installation of large-sized modules using a traverse. The algorithm of slinging a large-sized module is investigated. The factors influencing the longitudinal and transverse

пределения нагрузок на точки подвески при перекосе по обеим осям до 10 градусов. Рассмотрены принципиальные смены по устранению продольных и поперечных перекосов модуля в момент строповки. Рассмотрен общий вид схемы выравнивания модуля в горизонтальное положение за счет изменения длин строп, соединяющих траверсу с технологическими точками подвески модуля. Актуальность рассмотренной темы заключается в реализации инвестиционных проектов, в их внедрении в сферу управления.

Ключевые слова: крупногабаритное модульное жилищное строительство, модульное строительство, инновационная технология, возведение зданий, крупногабаритные железобетонные модули, строительно-монтажное оборудование.

misalignment of a large-sized module at the time of installation in the design position are studied. The general view and alignment schemes of a large-sized module before installation are given. Practical experiments were carried out to determine the features of the traverse during the installation of a large-sized module in

the design position. The article calculated the redistribution of loads on evenly distributed suspension points of the module with a length of 15 and a width of 6.5 meters. The authors analyzed the redistribution of loads on the suspension points when skewed on both axes up to 10 degrees. The principal changes to eliminate the longitudinal and transverse distortions of the module at the time of strapping are considered. The general view of the module alignment scheme to the horizontal position is considered due to the change in the lengths of the slings connecting the traverse

with the technological points of the module suspension. The relevance of the topic under consideration lies in the implementation of investment projects, in their implementation in the field of management.

Keywords: large-sized modular housing construction, modular construction, innovative technology, construction of buildings, large-sized reinforced concrete modules, construction and installation equipment.

Организационно-планировочная последовательность осуществления монтажных работ

Специализированное строительно-монтажное оборудование

Рис. 1. Обобщенная структура инновационной технологии возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей
Fig. 1. Generalized structure of innovative technology for the construction of buildings from large-sized reinforced concrete modules

Введение

В быстроразвивающемся современном мире особенно актуальным становится вопрос повышения эффективности и наращивания темпов проведения строительных работ.

В отечественной школе создания архитектурных сооружений существует множество известных конструкторско-технологических решений по созданию построек различного типа и назначения [1–3].

На сегодняшний день в Российской Федерации комбинатом инновационных технологий «МонАрх» реализуется инновационная технология возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей высокой степени готовности.

На сегодняшний день существует внутренний стандарт организации, опубликованный ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх» в 2020 году, подробнейшим образом описывающий всю концепцию создания зданий из мобильных крупногабаритных железобетонных модулей от начала изготовления отдельных элементов конструкции, их сборки, транспортировки и осуществлению последующей сборки зданий.

Изучение вопросов, связанных с применением крупногабаритных составных элементов зданий, занимались виднейшие отечественные ученые еще во времена СССР [4–6]. Однако с развитием технологического прогресса интерес к применению данной концепции только усиливается, о чем свидетельствует огромное количество научных публикаций как отечественных, так и зарубежных ученых [7–26].

Инновационная технология возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей условно разделена на два взаимосвязанных процесса, а именно: осуществление организационно-планировочных последовательностей осуществления монтажных работ и применение специализированного строительно-монтажного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности и точности монтажа крупногабаритных железобетонных модулей (рисунок 1).

Данные два направления следует рассматривать совместно с целью выявления критических факторов, взаимно влияющих на эффективность осуществления процесса монтажных работ. С другой стороны, изначально следует рассмотреть их по отдельности с целью выявления факторов, влияющих на них по отдельности.

При этом следует учитывать тот факт, что современный уровень развития техники прямым образом влияет на эффективность инновационной технологии в целом.

Таким образом, можно подытожить, что изначально внимание следует сфокусировать именно на технологи-



Рис. 2. Классический пример процесса возведения здания по инновационной технологии, разработанной ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх»
Fig. 2. A classic example of the process of erecting a building using innovative technology developed by LLC «Combine of Innovative Technologies – Monarch»



Рис. 3. Общий вид траверсы, применяемой на сегодняшний день при возведении зданий из крупногабаритных модулей по инновационной технологии, разработанной ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх»

Fig. 3. A general view of the traverse used today in the construction of buildings from large-sized modules using innovative technology developed by LLC «Combine of Innovative Technologies – Monarch»

ческом строительно-монтажном оборудовании, позволяющем обеспечить возможность возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей.

На сегодняшний день при осуществлении строительно-монтажных операций, обеспечивающих установку крупногабаритных железобетонных модулей в проектное



Рис. 4. Траверса с подвешенным к ней модулем в процессе проведения монтажных работ
Fig. 4. A traverse with a module suspended from it during installation work

положение, применяется следующее специализированное и multifunctional оборудование:

- строительные подъемные краны, обеспечивающие возможность подъема грузов в виде железобетонных модулей на требуемую высоту;
- специализированные траверсы, обеспечивающие снижение нагрузок, воздействующих на железобетонные модули с такелажных тросов;
- специализированные грузозахватные механизмы, обеспечивающие надежное сцепление со специализированными технологическими конструктивными элементами, входящими в состав крупногабаритных железобетонных модулей, в процессе проведения монтажной операции.

Общий вид процесса возведения здания по инновационной технологии, разработанной ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх», представлен на рисунке 2.

На сегодняшний день в рамках реализации инновационной технологии возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей на строительных площадках применяется траверса (рисунок 3).

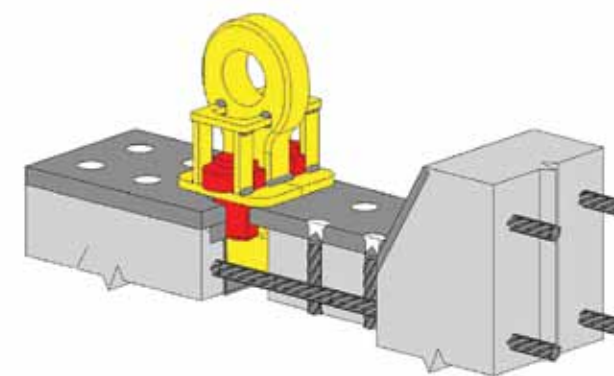


Рис. 5. Общий вид грузозахватного устройства в зацеплении с конструкцией модуля
Fig. 5. General view of the load-grabbing device in engagement with the design of the module



Рис. 6. Максимальный перекося крупногабаритного железобетонного модуля в подвешенном состоянии
Fig. 6. Maximum misalignment of a large-sized reinforced concrete module in a suspended state

Общий вид осуществления подъема модуля при помощи подъемного кранового оборудования показан на рисунке 4.

Материалы и методы

Для обеспечения надежности подвешивания крупногабаритных железобетонных модулей в их конструкцию на этапе производства интегрированы металлические пластины с прорезями – для возможности применения специализированных грузозахватных устройств [1], представляющих в совокупности грузозахватный механизм, который обеспечивает снижение временных интервалов, затрачиваемых на стыковку/расстыковку (рисунок 5).

Стоит отметить, что осуществлению установки крупногабаритных железобетонных модулей в проектное положение сопутствуют сложности, влияющие на обеспечение точности сборки здания. Сложности в первую очередь связаны с практически неизбежным смещением центра масс конструкции, находящейся в подвешенном состоянии ввиду компоновки конструкции модулей.

Причины смещения центра масс, как правило, связаны со следующими основными факторами:

- компоновка внутреннего пространства, обеспечивающая разделение на внутренние помещения;
- неравномерное распределение оконных/дверных проемов в конструкции модуля;
- наличие в некоторых модулях неплоских элементов, например, лестничных маршей и т. п.;
- архитектурное решение в виде наличия выступающих частей здания и, как следствие, невозможности равномерного распределения точек подвески ввиду ограничений, связанных с конструктивно-силовой схемой конкретного модуля (рисунок 6).

Данные обстоятельства приводят к практически неизбежному перекося нижней поверхности модуля, на которой располагаются стыковые конструктивные элементы и площадки.

При этом крайне необходимо обеспечить их точного совмещения с ответными элементами возводимого здания.

Стоит отметить, что смещение центра масс приводит к перекося модуля в подвешенном состоянии по продольной и поперечной осям.

Смещение центра масс крупногабаритного железобетонного модуля на виде в плане схематично (рисунок 7), где F_1 и F_2 – соответственно максимальные смещения фокуса центра масс в продольном и поперечном направлениях.

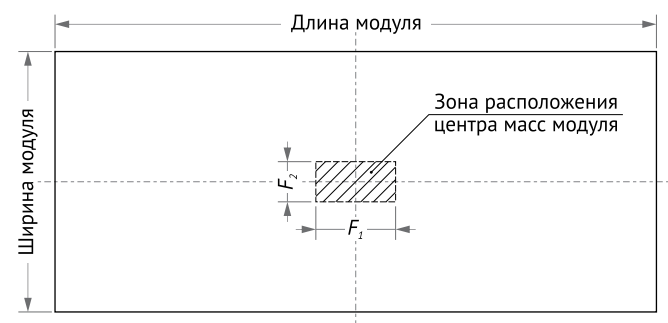


Рис. 7. Смещение центра тяжести модуля на виде в плане относительно геометрического центра

Fig. 7. Displacement of the center of gravity of the module in the plan view relative to the geometric center

В результате обработки статистических данных по произведенным на сегодняшний день модулям было установлено, что соотношение F_1 и F_2 соответственно к длине и ширине конструкции модуля не превышает 3÷4 %.

В целом система монтажа модулей в проектное положение при помощи подъемного крана реализуется при помощи следующих составляющих (рисунок 8).

1. Грузовой крюк (гак) – универсальное грузозахватное оборудование, применяемое для подъема и перемещения грузов крановым подъемным механизмом;
2. Стропы, соединяющие гак с рамой траверсы;
3. Прямоугольная траверса;
4. Стропы, соединяющие траверсу с технологическими точками подвески модуля;
5. Грузозахватные устройства [1];
6. Модуль;
7. Стыковые выступы модуля.

Следует отметить, что ширина траверсы должна быть чуть меньше, чем ширина модуля, поскольку на данное обстоятельство влияет организационно-планировочная последовательность осуществления монтажных работ, которая, в свою очередь, должна обеспечивать минимизацию необходимых перемещений подъемного крана вдоль строящегося здания. Таким образом, модули отдельных секций здания могут пристыковываться торцевыми сторонами к уже возведенным секциям.

Одним из составляющих элементов инновационной технологии возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей является регулировка системы монтажа модулей в проектное положение с целью выравнивания нижней (стыковой) поверхности крупногабарит-

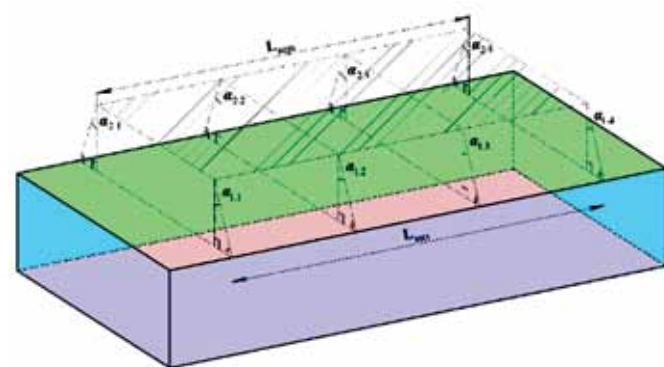


Рис. 9. Система подвески модуля к траверсе стропами одинаковой длины

Fig. 9. The suspension system of the module to the traverse with slings of the same length

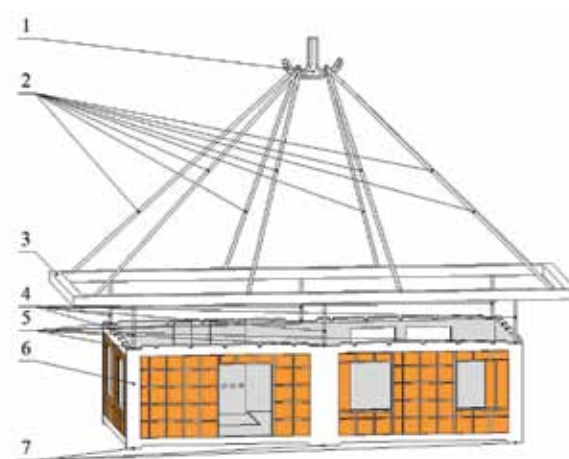


Рис. 8. Система монтажа модулей в проектное положение
Fig. 8. Module mounting system in the design position

ного железобетонного модуля. Выравнивание осуществляется за счет регулировки длин строп, соединяющих траверсу с технологическими точками подвески модуля.

Принцип регулировки осуществляется следующим образом.

В случае, если длина строп, соединяющих траверсу с технологическими точками подвески модуля, будет одинаковой (рисунок 9), то впоследствии при осуществлении подъема возникнет перекося по продольной и поперечным осям (рисунок 10). Данное обстоятельство негативным образом скажется на точности установки модуля в проектное положение.

Во избежание возникновения перекося и с целью снижения временных затрат на выравнивание конструкции осуществляется заблаговременное изменение длины тросов подвески таким образом, чтобы компенсировать перекося по обеим осям. Данную операцию можно условно разделить на две составляющие, такие как устранение перекося по продольной (рисунок 11) и по поперечной (рисунок 12) осям.

Стоит отметить тот факт, что в большинстве случаев, как показывает практика, наиболее важным является устранение перекося именно по поперечной оси, который, в свою очередь, наибольшим образом влияет на обеспечение точности установки модуля в проектное положение ввиду того обстоятельства, что длина модуля, как правило, превышает его ширину в $\approx 2,3 \div 3$ раза.

Таким образом, за счет изменения длин строп, соединяющих траверсу с технологическими точками подвески модуля, обеспечивается возможность выравнивания нижней стыковой поверхности крупногабаритного железобе-

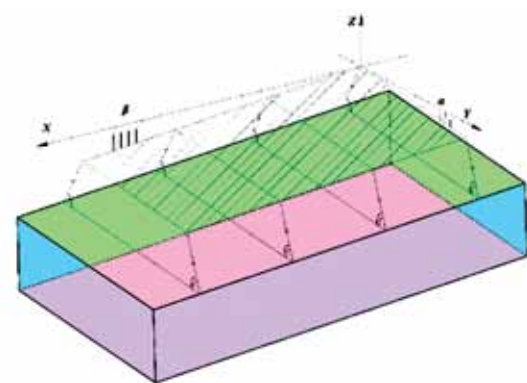


Рис. 10. Перекося по продольной и поперечной осям
Fig. 10. Skew along the longitudinal and transverse axes

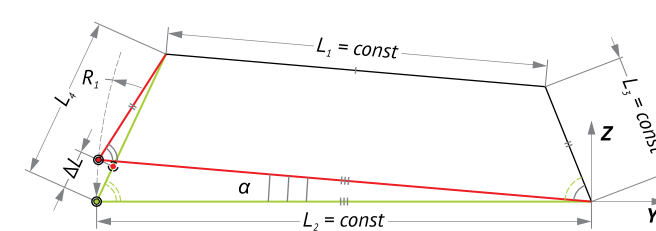


Рис. 11. Принципиальная схема устранения перекося по продольной оси

Fig. 11. Schematic diagram of the elimination of distortion along the longitudinal axis

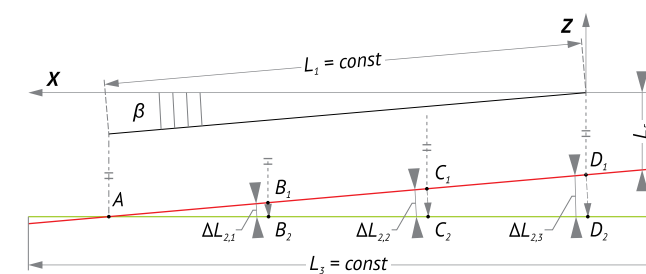


Рис. 12. Принципиальная схема устранения перекося по поперечной оси

Fig. 12. Schematic diagram of the elimination of misalignment along the transverse axis

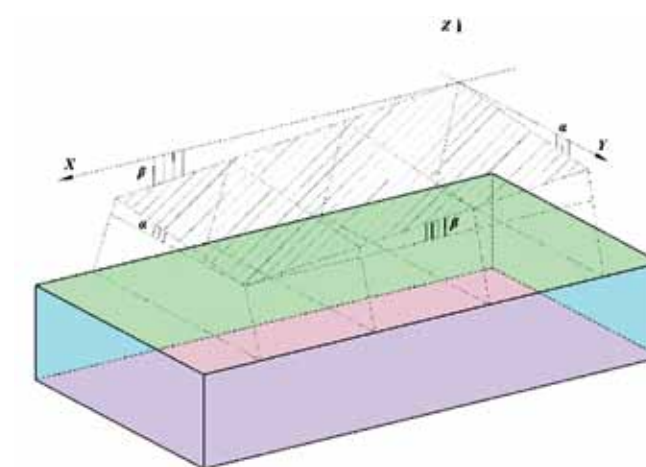


Рис. 13. Общий вид схемы выравнивания модуля в горизонтальное положение за счет изменения длин строп, соединяющих траверсу с технологическими точками подвески модуля

Fig. 13. General view of the alignment scheme of the module to the horizontal position by changing the lengths of the slings connecting the traverse with the technological points of the module suspension

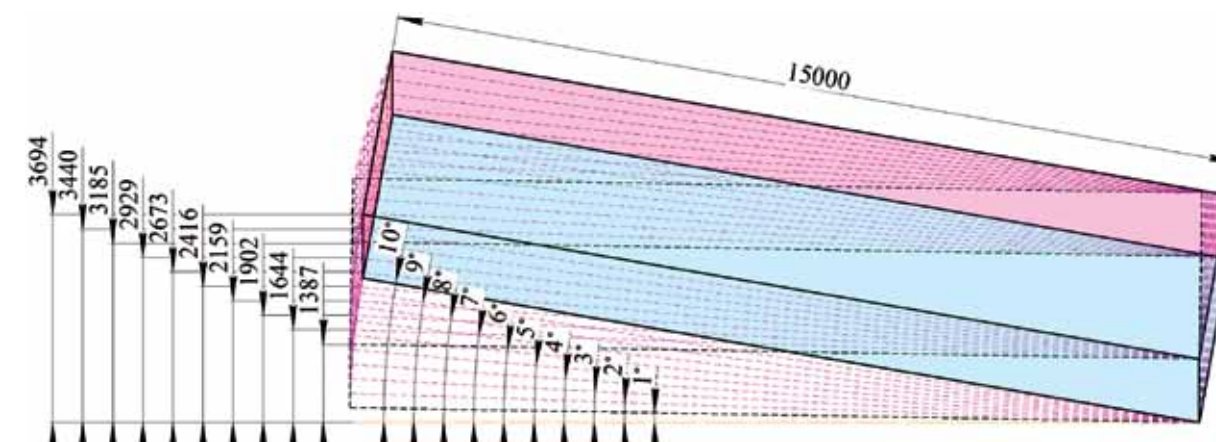


Рис. 16. Перекося модуля по обеим осям с шагом 1 градус от нуля до десяти градусов
Fig. 16. The module is skewed along both axes in increments of 1 degree from zero to ten degrees

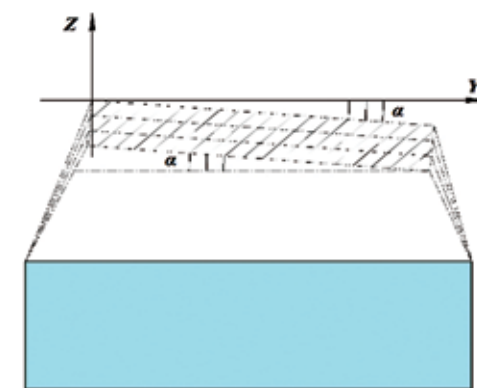


Рис. 14. Модуль в горизонтальном положении (вид спереди)
Fig. 14. Module in horizontal position (front view)

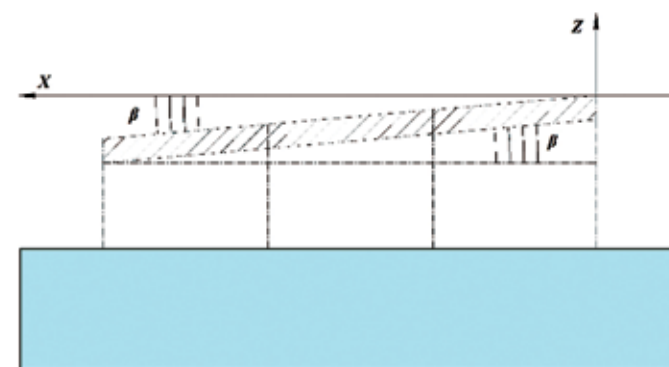


Рис. 15. Модуль в горизонтальном положении (вид сбоку)
Fig. 15. Module in horizontal position (side view)

тонного модуля (рисунки 13, 14, 15) с целью обеспечения возможности реализации рассматриваемой инновационной технологии возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей.

Стоит упомянуть, что на согласованную регулировку длин строп, осуществляемую до подъема при помощи подъемного крана вручную, требуется затрачивать существенное количество временных интервалов при постоянной необходимости переналадки оборудования. Таким образом, автоматизация данного процесса может существенно обеспечить экономию как трудовых, материальных (связанных с простоем подъемного оборудования во время переналадки), так и временных затрат.

На сегодняшний день сотрудниками ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх» была разработана и запатентована автоматическая траверса [2], которая в перспективе обеспечит существенное сокращение пря-

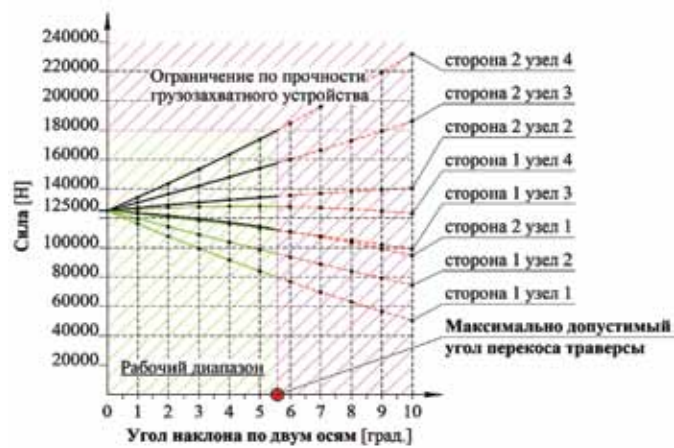


Рис. 17. Перераспределение значений нагрузок на точки подвески условного модуля при перекосе по обеим осям с шагом 0,5 градуса
Fig. 17. Redistribution of load values to the suspension points of the conditional module when skewed along both axes in 0.5 degree increments

мых затрат на реализацию исследуемой инновационной технологии.

Другим критически важным моментом, который необходимо учитывать при обеспечении возможности реализации рассматриваемой инновационной технологии, является следствие того факта, что при возникновении перекоса модуля осуществляется перераспределение нагружающих усилий, приложенных к точкам подвески модуля.

Данное обстоятельство является критически важным, поскольку при перекосе модуля точки подвески, оказавшиеся выше остальных, разгружаются, в то время как на точки, оказавшиеся ниже остальных, нагрузка будет максимальной.

№	Угол наклона	Сторона 1				Сторона 2			
		Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 4	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 4
1	0,50	12,29	12,47	12,64	12,81	12,67	12,85	13,03	13,21
2	1,00	11,85	12,19	12,53	12,87	12,59	12,95	13,31	13,67
3	1,50	11,41	11,92	12,42	12,92	12,50	13,05	13,60	14,15
4	2,00	10,99	11,65	12,30	12,96	12,40	13,15	13,89	14,63
5	2,50	10,57	11,38	12,19	13,00	12,30	13,24	14,18	15,13
6	3,00	10,15	11,11	12,07	13,03	12,18	13,33	14,48	15,63
7	3,50	9,75	10,85	11,94	13,04	12,06	13,42	14,78	16,14
8	4,00	9,35	10,58	11,82	13,06	11,93	13,50	15,08	16,66
9	4,50	8,96	10,32	11,69	13,06	11,79	13,59	15,38	17,18
10	5,00	8,57	10,07	11,56	13,05	11,64	13,67	15,69	17,72
11	5,50	8,20	9,81	11,43	13,04	11,48	13,74	16,00	18,27
12	6,00	7,83	9,56	11,29	13,02	11,31	13,82	16,32	18,82
13	6,50	7,47	9,31	11,15	12,99	11,14	13,89	16,64	19,39
14	7,00	7,11	9,06	11,01	12,96	10,96	13,96	16,96	19,96
15	7,50	6,76	8,81	10,86	12,91	10,76	14,02	17,29	20,55
16	8,00	6,42	8,57	10,71	12,86	10,56	14,09	17,62	21,14
17	8,50	6,09	8,33	10,56	12,80	10,35	14,15	17,95	21,75
18	9,00	5,76	8,09	10,41	12,73	10,13	14,21	18,29	22,37
19	9,50	5,44	7,85	10,25	12,65	9,89	14,26	18,63	22,99
20	10,00	5,13	7,61	10,09	12,57	9,65	14,31	18,97	23,63

Табл. 1. Перераспределение значений нагрузок на точки подвески условного модуля при перекосе по обеим осям с шагом 0,5 градуса при $\bar{F} = \sum F_n = const$
Tab. 1. Redistribution of load values to the suspension points of the conditional module when skewed along both axes in 0.5 degree increments at $\bar{F} = \sum F_n = const$

Результаты

Для наглядности был произведен расчет перераспределения нагрузок на точки подвески среднестатистического типового модуля.

Типовой модуль, применяемый в рассматриваемой инновационной технологии, как правило, имеет восемь технологических точек подвески к стропам, соединяющим с прямоугольной траверсой, во избежание возникновения сил, воздействующих на точки строповки с целью недопущения их разрушения.

Был произведен расчет перераспределения нагрузок на равномерно распределенные точки подвески модуля длиной 15 и шириной 6,5 метров.

Для примера сила тяжести была выбрана равной $\bar{F} = 1000[kH] = const$.

Был проведен анализ перераспределения нагрузок на точки подвески при перекосе по обеим осям до 10 градусов (рисунок 16).

Расчет проводился с шагом 0,5 градуса по обеим осям, результаты расчета сведены в таблицу 1 и представлены в графическом виде (рисунок 17).

При этом у применяемого на сегодняшний день грузозахватного устройства имеется ограничение по максимальной массе удерживаемого груза, которое составляет восемнадцать тонн, что примерно эквивалентно 180 кН.

При достижении перекоса по обеим осям значений порядка 5,5 градусов на одной из точек подвески достигается предельно допустимая нагрузка, обусловленная ограничением, связанным с применяемым на сегодняшний день грузозахватным устройством.

Закключение

В результате в рамках данного исследования получены следующие выводы. Для обеспечения реализации инновационной технологии возведения зданий из крупногабаритных железобетонных модулей следует учитывать следующие критически важные факторы:

1. Обеспечение регулировки системы подвески крупногабаритного железобетонного модуля с целью выравнивания его нижней поверхности, на которой располагаются стыковочные элементы и площадки, возможно реализовывать за счет согласованной регулировки длин строп, соединяющих специализированную траверсу с технологическими точками подвески модуля.

2. При проведении строительно-монтажных работ по установке крупногабаритных железобетонных модулей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2751379 С1 Российская Федерация, МПК В66С 1/38. Грузозахватное устройство : № 2021101935 : заявл. 28.01.2021 : опубл. 13.07.2021 / С. А. Амбарцумян, А. С. Мещеряков, Е. В. Агарцев, В. П. Горбачевский ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх».

2. Патент № 2749677 С1 Российская Федерация, МПК В66С 1/00. Автоматическая траверса : № 2020144159 : заявл. 31.12.2020 : опубл. 16.06.2021 / С. А. Амбарцумян, А. С. Мещеряков, Ю. С. Стоянчук [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх».

3. Здания из крупногабаритных модулей по технологии Комбината Инновационных Технологий – МонАрх. Проектирование, изготовление, транспортирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования / СТО ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх». – Москва : ООО «Бумажник», 2020. – 147 с.

4. Бронников, П. И. Объемно-блочное домостроение / П. И. Бронников. – Москва : Стройиздат, 1979. – 160 с.

5. Родин, Ю. М. За дальнейшее развитие объемно-блочного домостроения / Ю. М. Родин // Бетон и железобетон. – 1982. – № 323 (2). – С. 2–3.

6. Исследование влияния технологических и функциональных особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей / А. А. Лапидус, С. А. Амбарцумян, О. С. Долгов, А. М. Колпаков, А. С. Мещеряков, В. П. Горбачевский. – DOI 10.54950/26585340_2022_3_2 // Строительное производство. – 2022. – № 3. – С. 2–10.

7. Адильбекова, А. К. Перспективы развития модульного домостроения / А. К. Адильбекова, М. Р. Шайдулла. – DOI 10.33942/sit1904 // Наука и инновационные технологии. – 2021. – № 3 (20). – С. 28–35.

8. Захарова, М. В. Опыт объемно-модульного строительства зданий и сооружений / М. В. Захарова, А. Б. Пономарев // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – Т. 2. – С. 190–198.

9. Самсонова, М. Г. Анализ развития объемно-блочного домостроения в России / М. Г. Самсонова, Э. Е. Семенова, О. А. Сотникова // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений : сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 20 ноября 2020 года. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 233–239.

10. Самсонова, М. Г. История и тенденции развития объемно-блочного домостроения в России и за рубежом / М. Г. Самсонова, Э. Е. Семенова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – № 2. – С. 37–43.

11. Халтурина, Л. В. Современные тенденции развития объемно-блочного домостроения / Л. В. Халтурина, Ю. В. Халтурин // Ползуновский альманах. – 2020. – № 2-2. – С. 81–86.

12. Филиппов, И. В. Производство и строительство модульных зданий из блок-контейнеров. Техническое представление /

И. В. Филиппов, Е. С. Лопаницына // Дневник науки. – 2019. – № 4 (28). – С. 70.

13. Лобов, М. И. Виды модульных конструкций в строительстве социальных жилых зданий / М. И. Лобов, Л. А. Шестопал // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2019. – № 2 (136). – С. 50–53.

14. Мушинский А. Н. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений / А. Н. Мушинский, С. С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4 (31). – С. 182–193.

15. Макарова, Т. В. Опыт и перспективные тенденции развития объемно-блочного домостроения / Т. В. Макарова, О. С. Беззубова, М. В. Мраев // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – № 1. – С. 165–171.

16. Абрамян, С. Г. Объемные блок-модули как разновидность модульных конструкций быстровозводимых строительных систем / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, З. Ю. Галда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – № 1 (82). – С. 5–13.

17. Пономаренко, А. М. Современные быстровозводимые модульные жилые здания / А. М. Пономаренко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : сборник статей 78-й Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 19–23 апреля 2021 года. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2021. – С. 585–592.

18. Тешев, И. Д. Объемно-блочное домостроение / И. Д. Тешев, Г. К. Коростелева, М. А. Попова // Жилищное строительство. – 2016. – № 3. – С. 26–33.

19. Лукьяненко, Л. А. Модульное строительство как современное направление возведения доступного жилья / Л. А. Лукьяненко, Ю. В. Артемьева, Н. И. Шайбакова // Фотинские чтения. – 2018. – № 1 (9). – С. 218–225.

20. Генералова, Е. М. Перспективы внедрения модульных конструкций в строительство высотных зданий / Е. М. Генералова, В. П. Генералов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн : сборник статей под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Е. А. Ахмедовой ; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара : ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», 2016. – С. 54–59.

21. Цыгулев, Д. В. Современное состояние и анализ развития модульноблочного строительства / Д. В. Цыгулев, Р. Б. Сабитов // Вестник СКГУ им. М. Козыбаева. – 2020. – № 46 (1). – С. 204–210.

22. Модульные конструкции и энергоэффективная реконструкция современных строительных систем / С. Г. Абрамян, Р. Х. Ишмаметов, О. В. Оганесян, И. А. Улановский, А. А. Дикмеджан // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 6 (57). – С. 57.

23. Методические вопросы разработки технологических карт в строительстве для модульного дома на основе хронометражных наблюдений / Л. В. Киевский, С. А. Тихомиров, Э. И. Кулешова, В. А. Щеглов // Промышленное и граждан-

- ское строительство. – 2016. – № 11. – С. 41–49.
24. Кузьмина, Т. К. Особенности строительства зданий из крупногабаритных модулей (Часть 1) / Т. К. Кузьмина, Р. Т. Аветисян, А. Т. Мирзаханова // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 5. – С. 95–101.
25. Кузьмина, Т. К. Факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений при строительстве зданий из крупногабаритных модулей (Часть 2) / Т. К. Кузьмина,

REFERENCES

1. Patent № 2751379 C1 Rossijskaya Federatsiya, MPK B66C 1/38. Gruzozahvatnoe ustrojstvo : № 2021101935 : zayavl. 28.01.2021: opubl. 13.07.2021 [Patent No. 2751379 C1 Russian Federation, IPC B66C 1/38. Lifting device : No. 2021101935 : application No. 28.01.2021 : publ. 13.07.2021] / S. A. Ambartsumyan, A. S. Meshcheryakov, E. V. Agartsev, V. P. Gorbachevskij ; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Kombinat Innovatsionnykh Tekhnologij – MonArk» [head of the limited liability company «Combine of Innovative Technologies – Monarch»].
2. Patent № 2749677 C1 Rossijskaya Federatsiya, MPK B66C 1/00. Avtomaticheskaya traversa: № 2020144159 : zayavl. 31.12.2020: opubl. 16.06.2021 [Patent No. 2749677 C1 Russian Federation, IPC B66C 1/00. Automatic traverse: No. 2020144159 : application 31.12.2020 : publ. 16.06.2021] / S. A. Ambartsumyan, A. S. Meshcheryakov, Yu. S. Stoyanchuk [and others] ; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Kombinat Innovatsionnykh Tekhnologij – MonArk» [applicant of the limited liability company «Combine of Innovative Technologies – Monarch»].
3. Zdaniya iz krupnogabaritnykh modulej po tekhnologii Kombinata Innovatsionnykh Tekhnologij – MonArk. Proektirovanie, izgotovlenie, transportirovanie i stroitel'stvo. Pravila, kontrol' vypolneniya i trebvaniya [Buildings made of large-sized modules according to the technology of the Combine of Innovative Technologies – Monarch. Design, manufacture, transportation and construction. Rules, performance monitoring and requirements] / STO OOO «Kombinat Innovatsionnykh Tekhnologij – MonArk» [STO LLC «Combine of Innovative Technologies – Monarch»]. – Moscow : OOO «Bumazhnik», 2020. – 147 p.
4. Bronnikov, P. I. Ob'emno-blochnoe domostroenie [Large-block housing construction] / P. I. Bronnikov. – Moscow : Stroizdat, 1979. – 160 p.
5. Rodin, Yu. M. Za dal'nejshee razvitie ob'emno-blochnogo domostroeniya [For the further development of the large-block housing construction] / Yu. M. Rodin // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. – 1982. – № 323 (2). – P. 2–3.
6. Lapidus, A. A. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh i funktsional'nykh osobennostej mobil'nykh konveyernykh robotizirovannykh tekhnologicheskikh linij na konstrukt-siyu zhelezobetonnykh sten i perekrytij mobil'nykh krupnogabaritnykh modulej [Investigation of the influence of technological and functional features of mobile robotic conveyor technological lines on the construction of reinforced concrete walls and ceilings of mobile large-sized modules] / A. A. Lapidus, S. A. Ambartsumyan, O. S. Dolgov, A. M. Kolpakov, A. S. Meshcheryakov, V. P. Gorbachevsky. – DOI 10.54950/26585340_2022_3_2 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 3. – P. 2–10.
7. Adilbekova, A. K. Perspektivy razvitiya modul'nogo domostroeniya [Prospects for the development of modular housing construction] / A. K. Adilbekova, M. R. Shaidulla. – DOI 10.33942/sit1904 // Nauka i innovatsionnye tekhnologii [Science and innovative technologies]. – 2021. – № 3 (20). – P. 28–33.
8. Zaharova, M. V. Opyt ob'emno-modul'nogo stroitel'stva zdaniy i sooruzhenij [Experience in the modular construction of buildings and structures] / M. V. Zakharova, A. B. Ponomarev //

- Р. Т. Аветисян, А. Т. Мирзаханова // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 5. – С. 178–185.
26. Анализ рисков, возникающих на этапах производства, транспортировки, монтажа крупногабаритных модулей в проектное положение / С. А. Амбарцумян, Д. Е. Мочалин, Р. Т. Аветисян, Ю. А. Сьбева. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-769-1-84-94 // Известие вузов. Строительство. – 2023. – № 1 – С. 84–94.

- Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika [Modern technologies in construction. Theory and practice]. – 2017. – Vol. 2. – P. 190–198.
9. Samsonova, M. G. Analiz razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya v Rossii [Analysis of the development of large-block housing construction in Russia] / M. G. Samsonova, E. E. Semenova, O. A. Sotnikova // Innovatsionnye metody proektirovaniya stroitel'nykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij : sbornik nauchnykh trudov 2-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kursk, 20 noyabrya 2020 goda [Innovative methods of designing building structures of buildings and structures : collection of scientific papers of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference, Kursk, November 20, 2020]. – Kursk : Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet [Southwest State University], 2020. – P. 233–239.
 10. Samsonova, M. G. Istoriya i tendentsii razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya v Rossii i za rubezhom [The history and trends of the development of large-block housing construction in Russia and abroad] / M. G. Samsonova, E. E. Semenova // Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse [High technologies in the construction complex]. – 2019. – № 2. – P. 37–43.
 11. Khalturina, L. V. Sovremennye tendentsii razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya [Modern trends in the development of large-block housing construction] / L. V. Khalturina, Yu. V. Khalturin // Polzunovskij al'manakh [Polzunovsky Almanac]. – 2020. – № 2-2. – P. 81–86.
 12. Filippov, I. V. Proizvodstvo i stroitel'stvo modul'nykh zdaniy iz blok-kontejnerov. Tekhnicheskoe predstavlenie [Production and construction of modular buildings from block containers. Technical presentation] / I. V. Filippov, E. S. Lopanitsyna // Dnevnik nauki [Diary of Science]. – 2019. – № 4 (28). – P. 70.
 13. Lobov, M. I. Vidy modul'nykh konstruksij v stroitel'stve sotsial'nykh zhilykh zdaniy [Types of modular structures in the construction of social residential buildings] / M. I. Lobov, L. A. Shestopal // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture]. – 2019. – № 2 (136). – P. 50–53.
 14. Mushinsky, A. N. Stroitel'stvo bystrovozvodimyh zdaniy i sooruzhenij [Construction of prefabricated buildings and structures] / A. N. Mushinsky, S. S. Zimin // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2015. – № 4 (31). – P. 182–193.
 15. Makarova, T. V. Opyt i perspektivnye tendentsii razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya [Experience and promising trends in the development of large-block housing construction] / T. V. Makarova, O. S. Bezzubova, M. V. Mraev // Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse [High technologies in the construction complex]. – 2018. – № 1. – P. 165–171.
 16. Abramyan, S. G. Ob'emnye blok-moduli kak raznovidnost' modul'nykh konstruksij bystrovozvodimyx stroitel'nykh sistem [Volumetric block modules as a kind of modular structures of prefabricated building systems] / S. G. Abrahamyan, O. V. Burlachenko, Z. Y. Galda // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. – 2021. – № 1 (82). – P. 5–13.
 17. Ponomarenko, A. M. Sovremennye bystrovozvodimye

- modul'nye zhilye zdaniya [Modern prefabricated modular residential buildings] / A. M. Ponomarenko // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Arkhitektura i gradostroitel'stvo : sbornik statej 78-j Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Samara, 19–23 aprelya 2021 goda [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and Urban Planning : Collection of articles of the 78th All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 19–23, 2021]. – Samara : Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Samara State Technical University], 2021. – P. 585–592.
18. Teshev, I. D. Ob'emno-blochnoe domostroenie [Volume-block housing construction] / I. D. Teshev, G. K. Korosteleva, M. A. Popova // Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2016. – № 3. – P. 26–33.
 19. Lukyanenko, L. A. Modul'noe stroitel'stvo kak sovremennoe napravlenie vozvedeniya dostupnogo zhil'ya [Modular construction as a modern direction of affordable housing construction] / L. A. Lukyanenko, Yu. V. Artemyeva, N. I. Shaibakova // Fotinskie chteniya [Fotinsky readings]. – 2018. – № 1 (9). – P. 218–225.
 20. Generalova, E. M. Perspektivy vnedreniya modul'nykh konstruksij v stroitel'stvo vysotnykh zdaniy [Prospects for the introduction of modular structures in the construction of high-rise buildings] / E. M. Generalova, V. P. Generalov // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Arkhitektura i dizajn : sbornik statej pod redaktsiej : M. I. Balzannikov, K. S. Galickov, E. A. Ahmedovoy ; Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and Design : collection of articles edited by M. I. Balzannikov, K. S. Galitskov, E. A. Akhmedova ; Samara State University of Architecture and Civil Engineering]. – Samara : FGBOU VPO «Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet» [Samara State University of Architecture and Civil Engineering], 2016. – P. 54–59.
 21. Cygulev, D. V. Sovremennoe sostoyanie i analiz razvitiya modul'no-blochnogo stroitel'stva [The current state and analysis of the development of modular block construction] / D. V. Tsygulev, R. B. Sabitov // Vestnik SKGU im. M. Kozybaeva

УДК 624.04

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_45

Разработка требований к эксплуатационной информационной модели с учетом применения датчиков радиочастотной идентификации

Development of Requirements for an Operational Information Model Taking into Account the Use of Radio Frequency Identification Sensors

Князева Наталья Викторовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Nknyazeva@mgsu.ru

Knyazeva Natalya Viktorovna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation of Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, Nknyazeva@mgsu.ru

Назойкин Евгений Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Россия, 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11, NazojkinEA@mgupp.ru

Nazoikin Evgeniy Anatolyevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Russia, 125080, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11, NazojkinEA@mgupp.ru

- [Bulletin of the North Kazakhstan State University named after Manash Kozybaev]. – 2020. – № 46 (1). – P. 204–210.
22. Abramyan, S. G. Modul'nye konstruksii i energoeffektivnaya rekonstruktsiya sovremennykh stroitel'nykh sistem [Modular structures and energy-efficient reconstruction of modern building systems] / S. G. Abramyan, R. H. Ishmametov, O. V. Oganessian, I. A. Ulanovsky, A. A. Dikmedjian // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2019. – № 6 (57). – P. 57.
 23. Kievskij, L. V. Metodicheskie voprosy razrabotki tekhnologicheskikh kart v stroitel'stve dlya modul'nogo doma na osnove hronometrazhnykh nablyudenij [Methodological issues of the development of technological maps in the construction of a mobile home based on time-lapse observations] / L. V. Kievsky, S. A. Tikhomirov, E. I. Kuleshova, V. A. Shcheglov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2016. – № 11. – P. 41–49.
 24. Kuzmina, T. K. Osobennosti stroitel'stva zdaniy iz krupnogabaritnykh modulej (Chast' 1) [Features of the construction of buildings from large-sized modules (Part 1)] / T. K. Kuzmina, R. T. Avetisyan, A. T. Mirzakhanova // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of TulSU. Technical sciences]. – 2022. – Iss. 5. – P. 95–101.
 25. Kuzmina, T. K. Faktory, vliyayushchie na vybor organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve zdaniy iz krupnogabaritnykh modulej (Chast' 2) [Features of the construction of buildings from large-sized modules (Part 2)] / T. K. Kuzmina, R. T. Avetisyan, A. T. Mirzakhanova // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of TulSU. Technical sciences]. – 2022. – Iss. 5. – P. 178–185.
 26. Ambartsumyan, S. A. Analiz riskov, vznikayushchikh na etapakh proizvodstva, transportirovki, montazha krupnogabaritnykh modulej v proektnoe polozhenie [Analysis of drawings, installation at the stages of production, transportation, installation of large-sized modules in the design position] / S. A. Ambartsumyan, D. E. Mochalin, R. T. Avetisyan, Yu. A. Srebeva. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-769-1-84-94 // Izvestie vuzov. Stroitel'stvo [News of universities. Construction]. – 2023. – № 1. – P. 84–94.

Герц Владимир Андреевич

Аспирант кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 3931200@mail.ru

Hertz Vladimir Andreevich

Postgraduate Student of the Department of Information Systems, Technologies and Automation of Construction,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow,
Yaroslavl'skoe shosse, 26, 3931200@mail.ru

Медынцев Александр Андреевич

Аспирант кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Zero99A@yandex.ru

Medyntsev Alexander Andreevich

Postgraduate Student of the Department of Information Systems, Technologies and Automation of Construction,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow,
Yaroslavl'skoe shosse, 26, Zero99A@yandex.ru

Орехов Алексей Александрович

Студент магистратуры, кафедра «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами»,
ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»,
Россия, 129337, Москва, Волоколамское шоссе, 11, aleksejjok@mail.com

Orekhov Aleksey Aleksandrovich

Master student, Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes,
Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia, 125080, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11,
aleksejjok@gmail.com

Аннотация. Цель. Цель исследования – определить требования к эксплуатационной информационной модели, которая учитывает применение системы мониторинга с технологией RFID.

Методы. В статье рассмотрен метод автоматизированной загрузки сведений о состоянии конструкций и частей здания после обследования в эксплуатационную информационную модель с помощью применения RFID-датчиков. Совместное использование технологий информационного моделирования и радиочастотной идентификации открывает большие возможности перед управляющими и эксплуатирующими компаниями – например, автоматически вычислять актуальный износ конструкций согласно алгоритмам и нормам, а также следить за сроками проведения технического обслуживания и капитального ремонта элементов здания. Но необходимо еще на стадии проектирования предусмотреть техническую реализацию данной системы, чтобы после окончания строительства и к началу

эксплуатации здания была готова полноценная информационная модель.

Результаты. Вначале был проведен анализ зарубежного и отечественного опыта по заданной тематике. Далее – изучение работы программного модуля, с помощью которого происходит интеграция данных, полученных с RFID-датчиков, в цифровой двойник здания. В работе также представлена демонстрация работы модуля по обновлению сведений и параметров о конструктивном элементе в эксплуатационной модели.

Выводы. Проведенный анализ позволил определить, каким основным требованиям должна удовлетворять и соответствовать модель здания на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: технология информационного моделирования, радиочастотная идентификация, эксплуатация зданий, эксплуатационная информационная модель, автоматизированная система мониторинга, обнаружение повреждений.

model is ready.

Object. At the beginning, an analysis of foreign and domestic experience on a given topic was carried out. Next is the study of the operation of the software module, with the help of which the data received from RFID sensors is integrated into the digital twin of the building. The paper also presents a demonstration of the module's work on updating information and parameters about a structural element in an operational model.

Conclusions. The analysis made it possible to determine which basic requirements the building model should meet and comply with at the operational stage.

Keywords: information modeling technology, radio frequency identification, building maintenance, operational information model, automated monitoring system, damage detection.

обходов, ведения архивов и ручного расчета износа конструкций, уже не удовлетворяет современным требованиям эффективной эксплуатации здания.

На этапе эксплуатации цифровизация процессов не ограничивается электронным архивом. Речь идет о при-

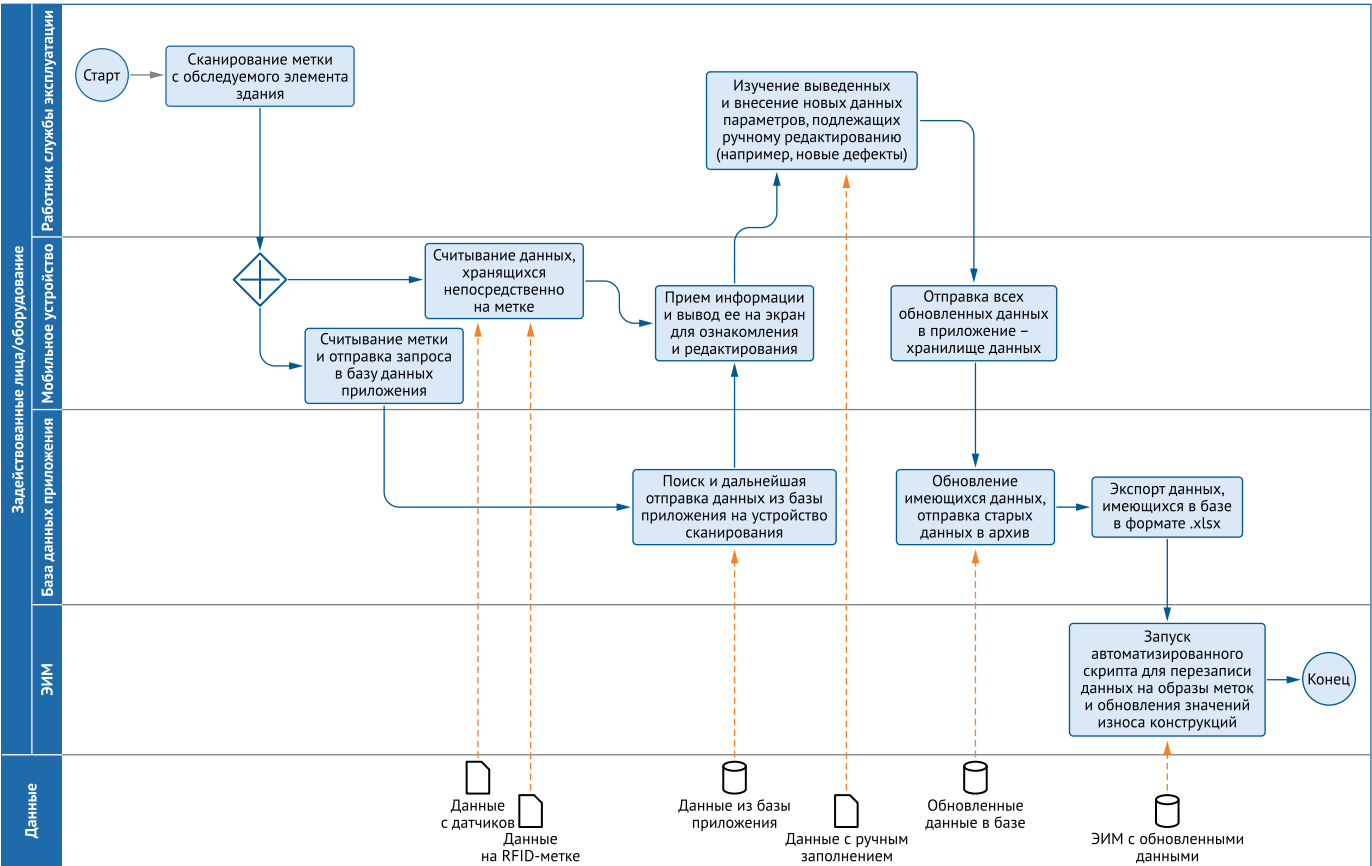


Рис. 1. Карта процесса эксплуатации здания с использованием информационной модели
Fig. 1. A map of the building operation process using an information model

менении новых технологий, а именно технологии информационного моделирования (ТИМ), которая позволяет формировать и работать с динамическими структурами, содержащими большое количество данных. Эксплуатационная информационная модель (ЭИМ)¹ здания является его цифровым двойником и содержит взаимосвязанные графические и атрибутивные данные, обеспечивающие выполнение работ по эксплуатации здания [1].

Сценарии или цели информационного моделирования для процессов эксплуатации могут быть различны и зависят от конкретных потребностей и задач управляющей компании. Одним из основных сценариев применения информационного моделирования является оптимизация процессов планового и внепланового технического обслуживания здания [2]. Дефекты и повреждения строительных конструкций оказывают негативное влияние на надежность и долговечность зданий и сооружений, а также на их несущую способность. Чтобы обеспечить безопасность в процессе эксплуатации зданий, важно поддерживать их техническое состояние в соответствии с нормативами, что можно достичь через регулярные обследования состояния инженерных систем и элементов конструкций [3].

Путем сбора и централизованного хранения данных в едином электронном архиве, а также их загрузки в эксплуатационную информационную модель (ЭИМ) управляющая компания может эффективно контролировать и управлять техническим состоянием здания. Информация из ЭИМ позволяет автоматически вычислять актуальный

износ конструкций согласно алгоритмам и нормам, а также следить за сроками проведения технического обслуживания и капитального ремонта элементов здания. Узким местом при создании ЭИМ является оперативное наполнение их актуальной информацией обо всех изменениях параметров в течение всего эксплуатационного срока.

Одним из популярных способов сбора, обмена и использования данных в различных системах являются датчики радиочастотной идентификации (RFID) [4]. Эти датчики используют радиочастотные сигналы для идентификации, отслеживания и передачи информации о помеченных объектах в режиме реального времени.

Материалы и методы

Изучение интеграции данных, получаемых путем радиочастотной идентификации, с информационными моделями зданий является темой многих исследований. Например, в работе A. Motamedi и A. Hammad «Управление жизненным циклом компонентов объектов с использованием радиочастотной идентификации и информационной модели здания» [5] приводится анализ процесса эксплуатации с использованием RFID-меток и управления данными с помощью BIM-модели. А статья A. Motamedi, M. M. Soltani, S. Setayeshgar и A. Hammad «Формат IFC для включения информации о RFID метках, прикрепленных к строительным элементам» [6] описывает процесс интеграции системы с использованием меток уникальной идентификации в связке с IFC-форматом, что дает нам понимание о возможностях интероперабельности ЭИМ здания с интегрированными в нее данными, полученными

¹ Эксплуатационная информационная модель (ЭИМ) – это цифровая информационная модель, которая содержит взаимосвязанные графические и атрибутивные данные, обеспечивающие выполнение работ по эксплуатации ОКС, а именно: архитектурные, технические и технологические параметры объекта капитального строительства, включающие регламенты и технологические карты технического обслуживания [1].

ми из системы отслеживания состояния конструкций на объекте.

В России использование RFID-датчиков в строительстве не является распространенной технологией. Но несмотря на это существует ряд работ российских научных деятелей, посвященных этой теме. Например, статья В. В. Горяевой «Автоматизация синхронизации в реальном времени данных BIM-модели здания на базе RFID технологии» [7], в которой описано сквозное использование этой технологии по всем стадиям жизненного цикла в связке с информационным моделированием, с кратким указанием, какие работы на каком этапе необходимо осуществить для возможности использования системы на следующем этапе.

Другим исследованием является работа Н. Д. Комаровой и М. С. Козина «Применение RFID меток в строительстве» [8]. В ней приводится описание параметров датчиков радиочастотной идентификации и положительного эффекта от внедрения данной технологии радиочастотной идентификации. Важным моментом этого исследования является то, что метки можно устанавливать внутрь конструкций (например, прикрепить к арматурному стержню и залить бетоном), и это не влияет на качество работы описываемой технологии. Таким образом, можно использовать это как способ хранения паспорта изделия непосредственно на изделии.

На основе изучения зарубежного и отечественного опыта можно сделать вывод, что осуществление автоматизированной интеграции данных в ЭИМ здания открывает большие возможности перед управляющими и эксплуатирующими компаниями. Это позволит улучшить качество аналитики состояния здания за счет аккумуляции всей истории данных в одном месте, а также исключить большинство ошибок, вызванных человеческим фактором при переносе данных о состоянии объекта в информационную модель и подсчете актуального износа конструкций.

Однако одной из основных сложностей при организации интеграции является создание полноценной ЭИМ, ведь необходимо еще на стадии проектирования предусмотреть техническую реализацию данной системы. В связи с этим целью данного исследования является определение требований к эксплуатационной информационной модели, которая учитывает применение системы мониторинга с технологией RFID. Это продиктовано стремлени-

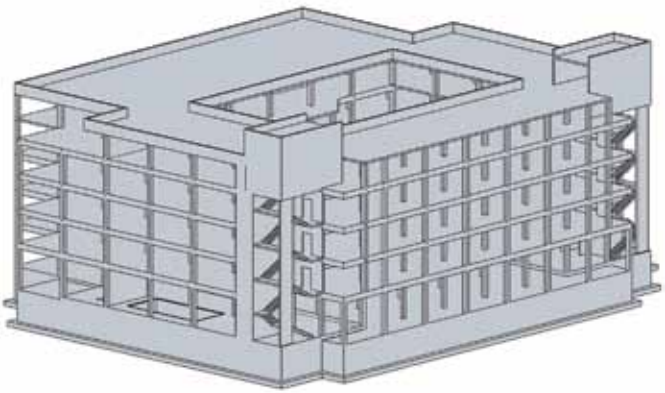


Рис. 2. Общий вид информационной модели
Fig. 2. General view of the information model

ем использовать весь потенциал RFID-датчиков, преобразуя необработанные данные в полезную информацию.

При реализации интеграции данных с датчиков радиочастотной идентификации в информационную модель здания необходимо уже на этапе проектирования определить месторасположение меток². Расположение меток определяется по итогу конструктивного расчета – метки устанавливаются на самые нагруженные конструкции, а также «пограничные».

В процессе строительства устанавливаются дополнительные метки на конструктивные элементы, которые отличаются по характеристикам от заявленных в проектной документации. Это предоставляет возможность отслеживания процесса монтажа конструкций, а также создание паспорта элементов, который непосредственно связан с конструкцией. На следующих этапах жизненного цикла здания дополнительные метки устанавливаются на все конструкции, на которых во время проведения обследований было замечено образование дефектов, для дальнейшего отслеживания технического состояния и степени износа этих конструкций.

Для обеспечения безопасной эксплуатации здания, а также решения задач проведения текущего и капитального ремонтов ЭИМ должна содержать и поддерживать в актуальном состоянии следующую информацию по каждому элементу:

- данные визуальных осмотров и инструментальных обследований конструкций здания;
- даты последнего осмотра/обследования;
- актуальные данные о физическом износе конструкций;
- необходимость в текущем/капитальном ремонте;
- способ ремонта.

Дополнительно можно заложить в информационную модель данные и документы, использование которых необходимо для обеспечения безопасной эксплуатации здания и решения задач проведения ремонтов, например:

- историю ремонтов и обслуживания – записи о всех предыдущих ремонтах и обслуживании каждого элемента, включая даты, виды проведенных работ, использованные материалы и оборудование, а так-

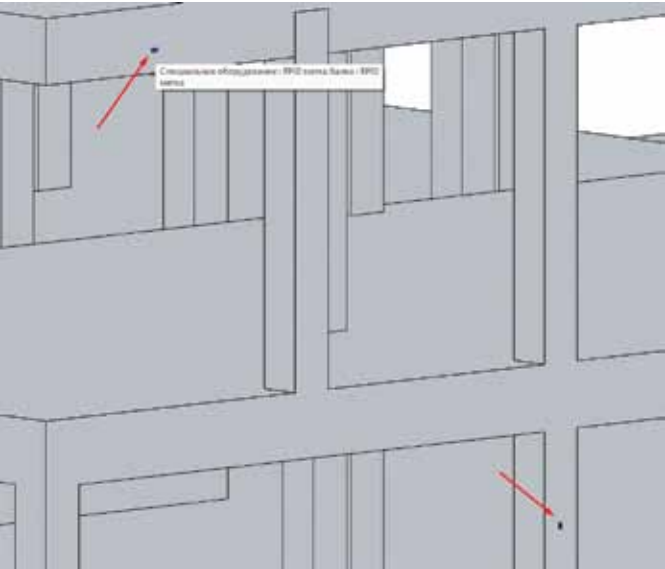


Рис. 3. Смоделированные RFID-метки
Fig. 3. Simulated RFID tags

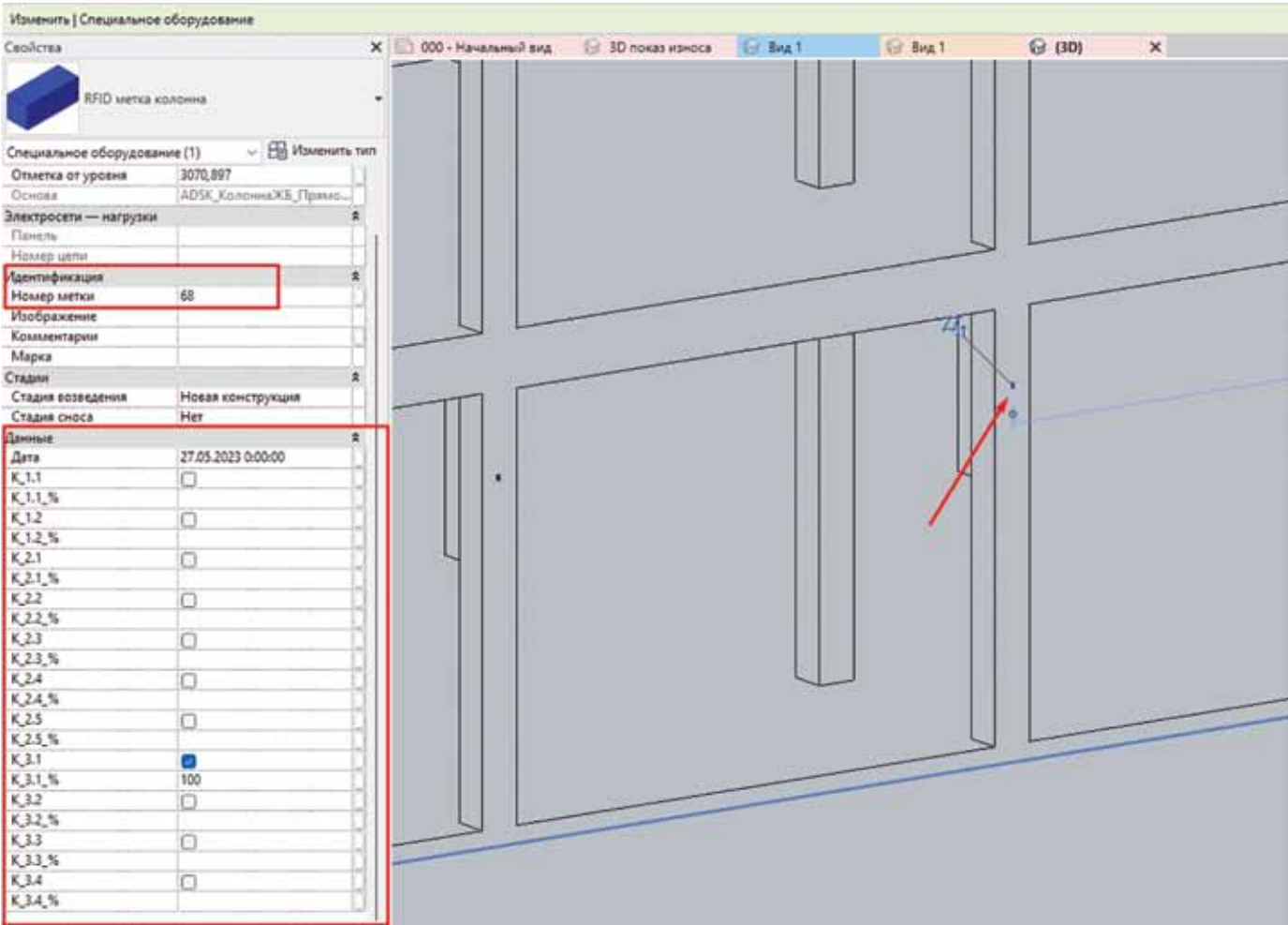


Рис. 4. Определенные параметры для RFID-метки
Fig. 4. Defined parameters for RFID tag

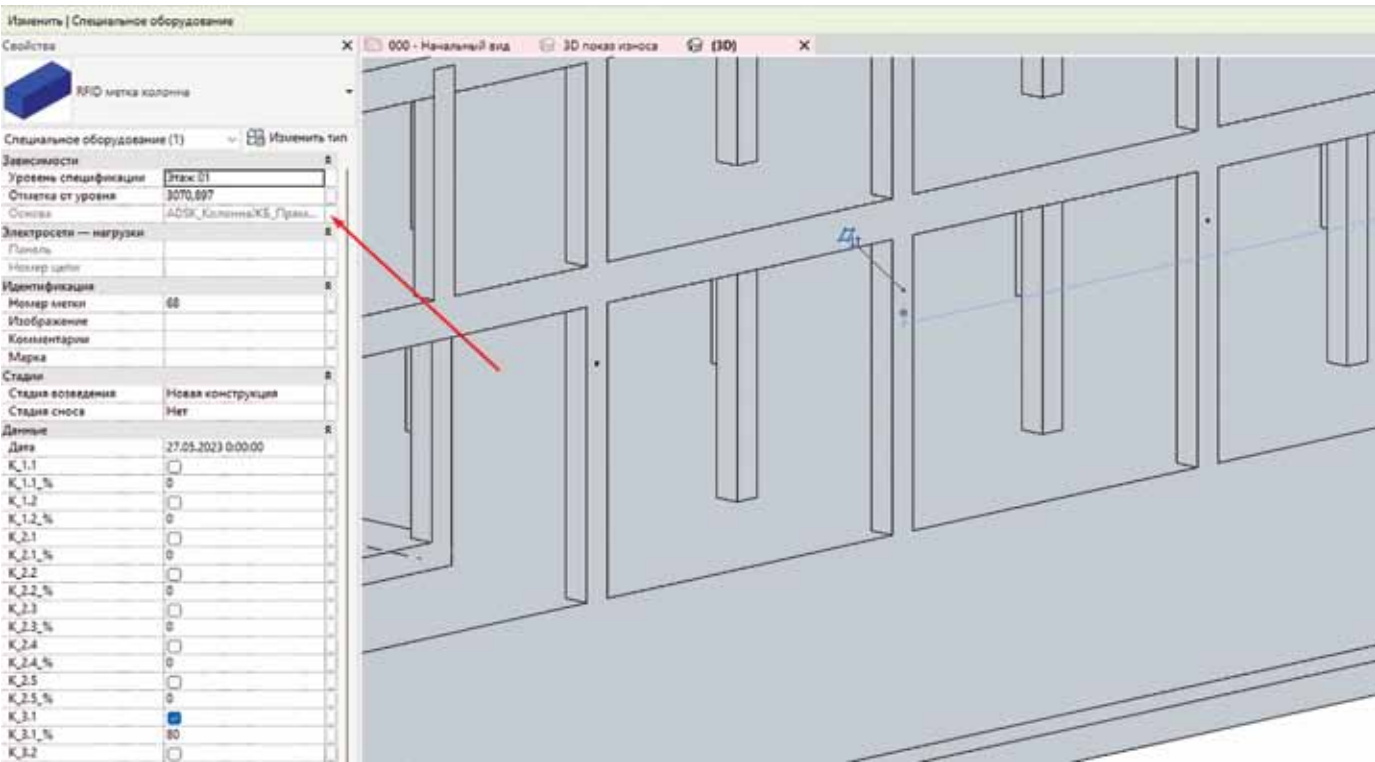


Рис. 5. Взаимосвязь метки с элементом, к которому она прикреплена
Fig. 5. Relationship between a label and the element to which it is attached

же адреса и контакты компаний, осуществляющих ремонт и обслуживание. Эта информация позволяет учитывать предыдущие работы при планиро-

вании текущего и капитального ремонтов, а также устанавливать регламентированную периодичность проведения работ;

² RFID-метка представляет собой электронное устройство для получения, обработки и повторной отправки сигнала.

Параметры, необходимые для оценки физического износа зданий, определены в таблицах ВСН 53-86 (Р). Для каждого конструктивного элемента признаки износа делятся на блоки, а эти блоки, в свою очередь, на отдельные дефекты. При наличии хотя бы одного дефекта из идущего выше по иерархии блока – все дефекты предыдущего блока автоматически считаются обнаруженными, и отсчет добавочного износа от обнаруженного дефекта идет от наименьшего значения диапазона его блока.

Вычисление физического износа конструкции происходит по следующей формуле [9]:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\Phi_i \cdot \frac{P_i}{P_k} \right), \tag{1}$$

где Φ_k – физический износ конструкции, элемента или системы, %;

Φ_i – физический износ участка конструкции, элемента или системы, определенный по соответствующей таблице из ВСН 53-86 (Р), %;

P_i – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, кв. м или м;

P_k – размеры всей конструкции, кв. м или м;

n – число поврежденных участков.

Для обеспечения качественной работы и поддержания согласованности информации необходимо обновлять и синхронизировать данные на RFID-метках. Обновление параметров может производиться ежедневно, еженедельно или после каждого обхода. Рекомендуется моделировать RFID-метки не только как атрибуты идентификатора, но и как объекты или свойства, установленные в информационной модели.

При установке RFID-меток на строительные элементы здания они могут быть либо прикреплены к самим элементам, либо изначально являться их частью. Один и тот же элемент может иметь несколько RFID-меток, установленных в разных точках или на разных сторонах элемента. Это может быть полезно для точной идентификации и

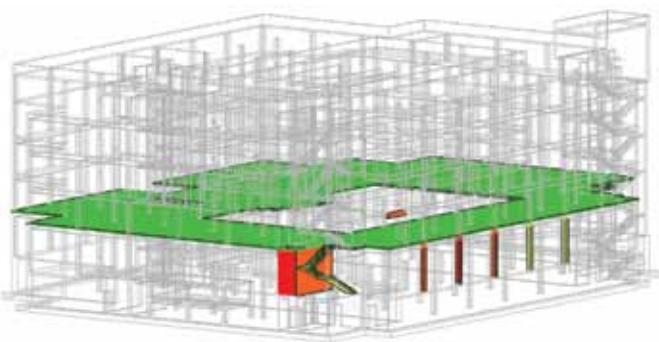


Рис. 8. Отображение конструкций с заполненным износом
Fig. 8. Displaying designs with filled wear

- 4. Программа получает информацию о состоянии элемента здания, связанного с данной меткой (например, описательные данные об элементе, его характеристики, дату последнего обследования и физический износ элемента).
- 5. Если в процессе обследования были обнаружены дефекты или изменились параметры элемента, данные обновляются в базе данных. Это может быть выполнено работником путем внесения соответствующих изменений в программу или автоматически, если данные получены от других датчиков или систем мониторинга.
- 6. При обновлении информации о состоянии элемента предыдущие данные сохраняются в архиве. Это важно для обеспечения истории изменений и возможности проведения дальнейшего анализа.

Карта процессов интеграции данных датчиков радиодентификации с информационной моделью здания показана на рисунке 1.

С помощью данного алгоритма работник получает актуальные данные о состоянии элементов здания, а при наличии изменений эти данные обновляются и сохраняются для последующего использования.

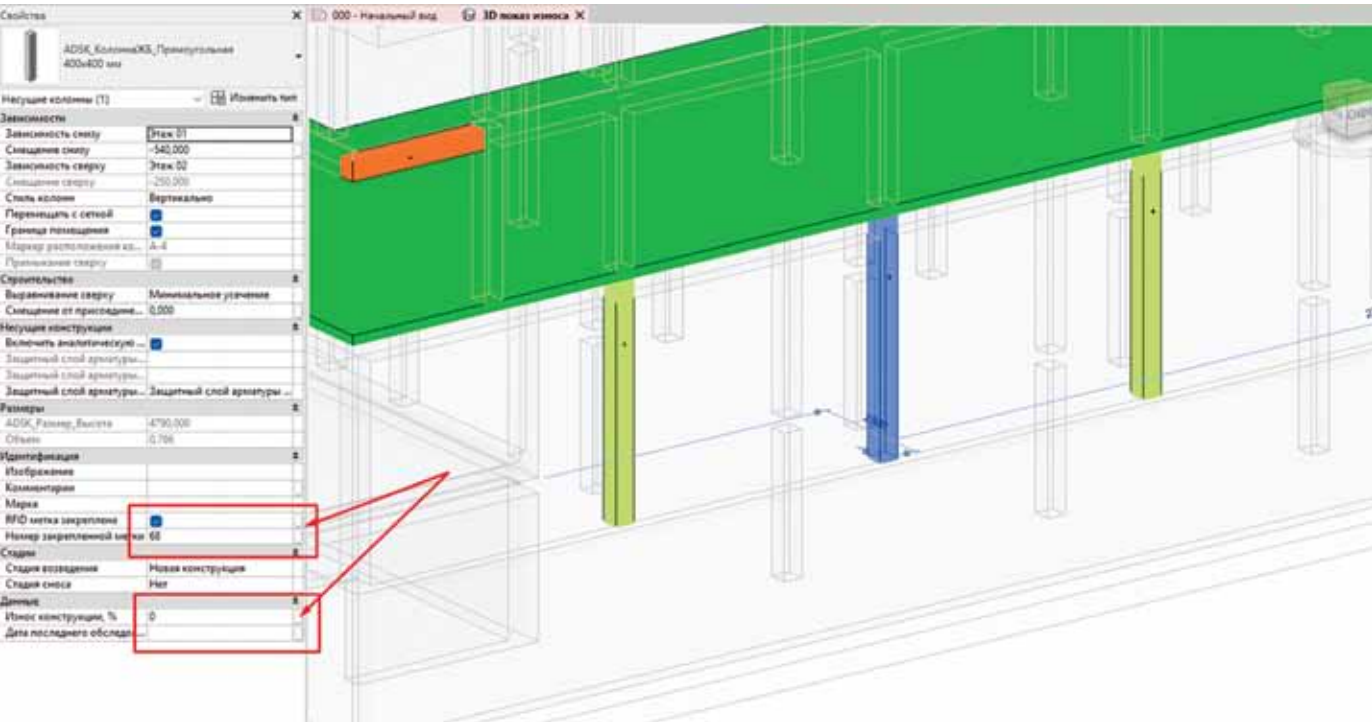


Рис. 9. Параметры, заполненные на колоннах до использования программного модуля
Fig. 9. Parameters filled in on the columns before using the software module

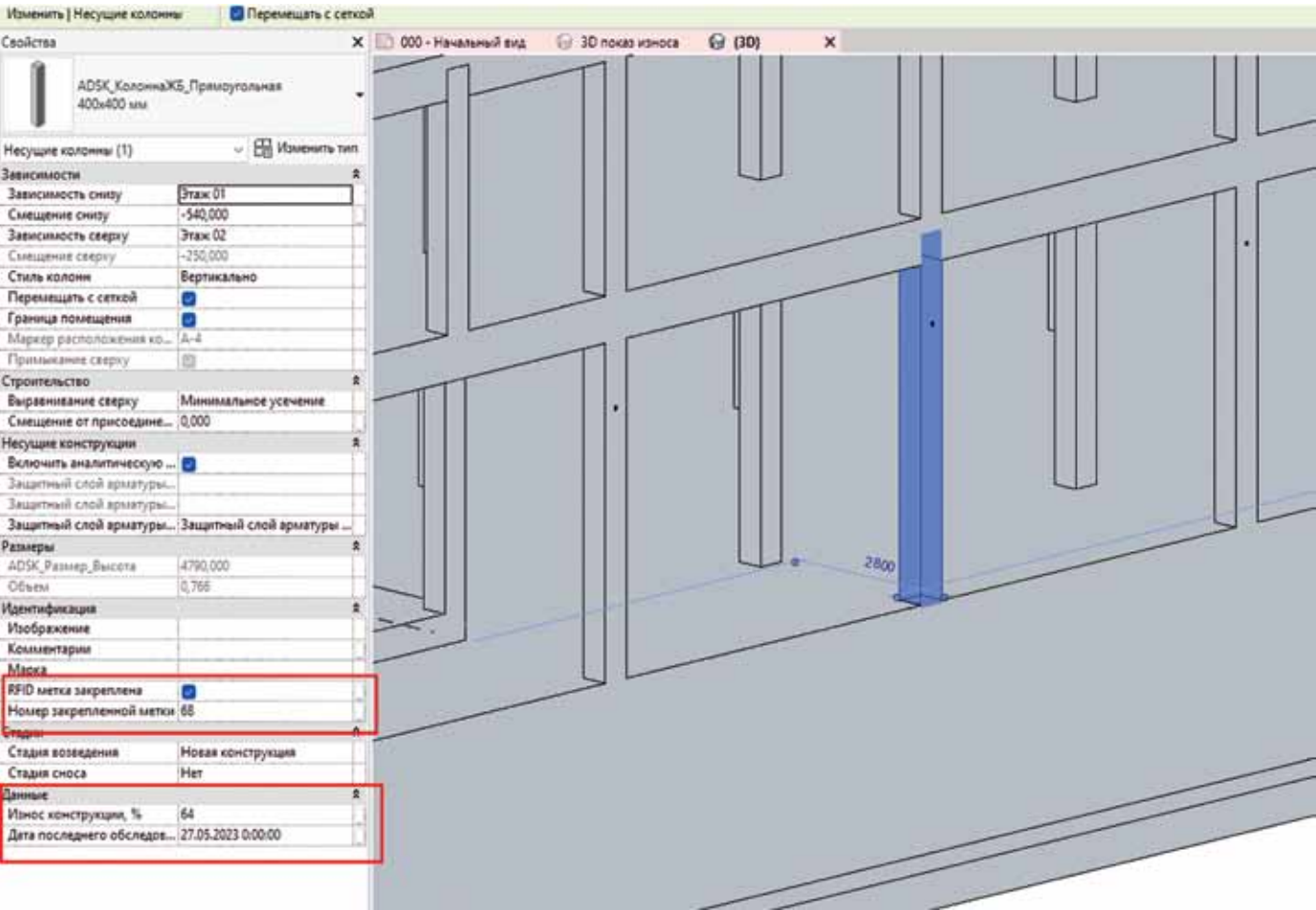


Рис. 6. Набор данных на колонне, к которой прикреплена метка № 68
Fig. 6. A set of data on a column to which label № 68 is attached

- техническую документацию – чертежи, схемы, спецификации, руководства по эксплуатации и т. д. Это позволяет иметь доступ к необходимым техническим данным при проведении ремонтов и обслуживания, а также быстро реагировать на возможные проблемы и неисправности;
- информацию о ресурсах и запасных частях – элементы, требующие регулярной замены или обслуживания, например, насосы, вентиляторы, эскалаторы и т. д. В информационной модели можно указать информацию о ресурсе каждого элемента, прогнозируемое время до необходимости замены и наличие запасных частей. Это помогает проводить плановые замены, учитывать стоимость запасных частей и оптимизировать управление ресурсами;
- сведения о нормативных требованиях и сертификациях – в модель можно внести данные о применимых нормативных требованиях и сертификациях

для отдельных элементов здания или, к примеру, оборудования, расположенного в нем. Это позволяет следить за соответствием нормам и требованиям, и, когда необходимо, провести дополнительные мероприятия.

Алгоритм обновления информации о состоянии элементов здания с использованием RFID-меток и базы данных можно разделить на следующие шаги:

- 1. Работник сканирует RFID-метку, установленную на конкретном элементе здания, с помощью специального считывателя.
- 2. Программа чтения RFID-метки получает идентификатор (ID) метки, который уникально связан с элементом здания, на котором она установлена.
- 3. ID метки передается программе, которая осуществляет запрос в базу данных, указывая этот ID, чтобы получить данные параметров метки.

Имя	Включить фильтр	Видимость	Проекция/Поверхность		
			Линии	Штриховки	Прозрачность
Метки не закреплены	☒	☒		Переопределить...	95%
Износ 41-60	☒	☒			
Износ от 61-80	☒	☒			
Износ 21-40	☒	☒			
Износ 1-20	☒	☒			
Износ 0	☒	☒			

Рис. 7. Фильтры для настройки вида отображения износа конструкции
Fig. 7. Filters for customizing the type of display of structural wear

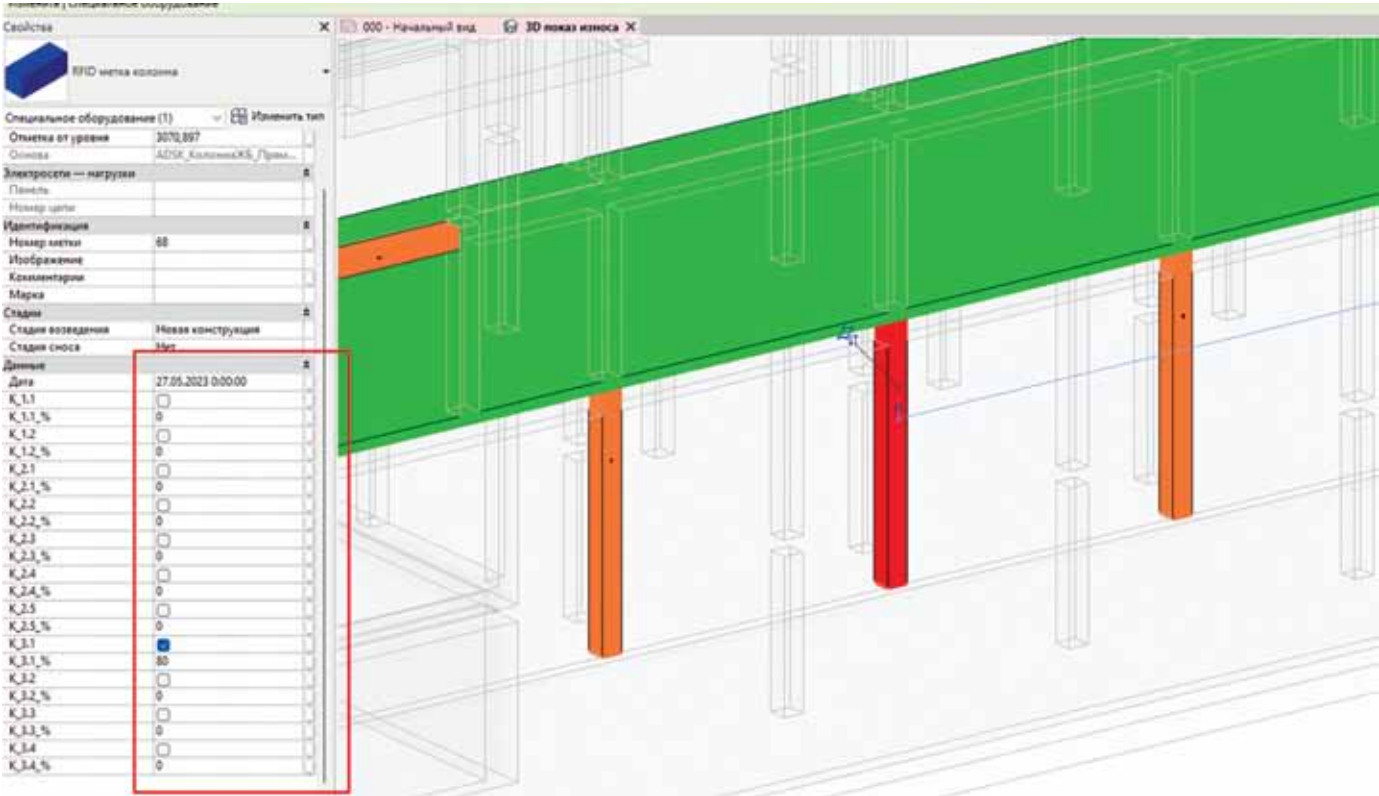


Рис. 10. Параметры, записанные программным модулем на метку
Fig. 10. Parameters written by the software module to the tag

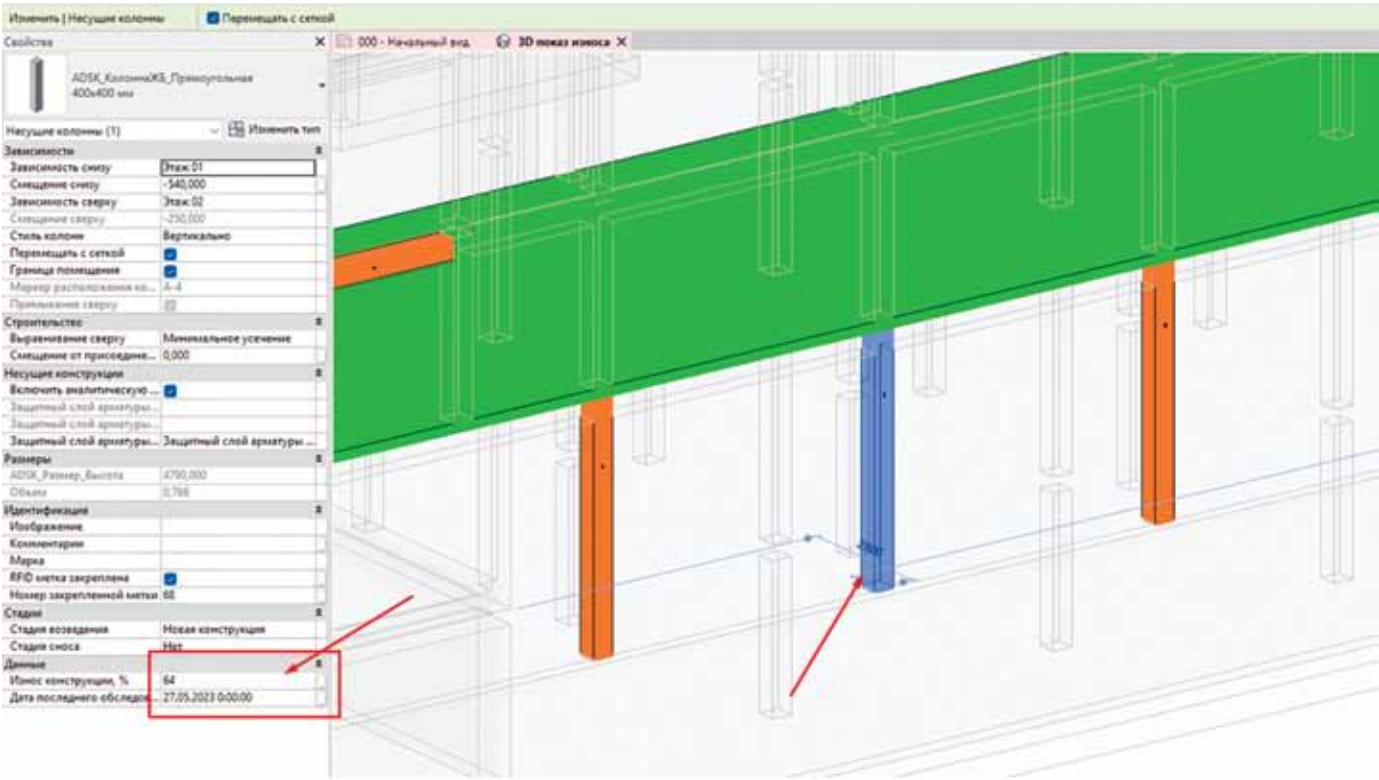


Рис. 11. Параметры, заполненные на конструктивном элементе программным модулем
Fig. 11. Parameters filled in on a structural element by a software module

мониторинга состояния определенных участков или деталей элемента.

Для автоматизированного заполнения данных обследования в ЭИМ в системе Dynamo разработан программный модуль. Для считывания и управления информацией на RFID-метках используется программа GetTag от производителя ISBC. Это российская программа для идентифи-

кации RFID-меток. Ее основным преимуществом является экспорт данных отсканированных меток в формате *.xls, что необходимо как промежуточная связка между считывателем меток и программой в Dynamo, и, что немаловажно, экспорт меток происходит в удобном для чтения и дальнейшей обработки виде.

Перед началом работы необходимо подготовить эксплуатационную информационную модель объекта (рисунк 2), а именно смоделировать метки, добавить все параметры на конструктивные элементы, заполнить связующие (номер метки и статус «метка закреплена»).

Для добавления определений компонентов системы RFID необходимо выполнить следующие действия в среде разработки модели, например, в Autodesk Revit:

1. Идентификация компонентов технологии RFID. Необходимо создать образы меток, которые будут прикреплены к конструкциям, подлежащим мониторингу. Это можно сделать путем размещения специальных меток на элементах модели (например, стене, двери или оборудовании), которые должны быть отслеживаемыми. Метки могут представлять собой виртуальные объекты, которые будут идентифицированы и связаны с соответствующими компонентами системы RFID (рисунок 3).
2. Определение свойств для каждого типа RFID-компонента. Для каждого типа RFID-компонента необхо-

димо определить набор свойств, которые будут использоваться для его идентификации и описания. Например, для меток RFID можно определить свойства, такие как идентификатор, название, описание и т. д. Это можно сделать, создав набор параметров на соответствующих элементах модели, где каждый параметр будет соответствовать определенному свойству компонента (рисунки 4, 5).

3. Определение взаимосвязей с другими элементами. При создании модели можно определить взаимосвязи между компонентами RFID и другими элементами модели. Например, метку RFID можно связать с определенной стеной, чтобы указать, что она прикреплена к этому элементу. Это можно выполнить путем установки соответствующих ссылок или связей между элементами модели, которые определяют взаимосвязи между ними (рисунок 6).

Помимо этого необходимо проверить наличие экспортированного отчета в формате *.xls. Для удобства можно создать и настроить согласно фильтрам на рисунке 7 вид,

№ п/п	Перечень основных требований	Содержание требований
1. Общие требования		
1.1	Основная цель	Разработка проекта с использованием информационных технологий, который позволит добиться высокого качества ИМ на стадии эксплуатации.
1.2	Основные задачи	• Визуализация состояния конструкций здания. • Подготовка к текущим ремонтам и их сопровождение. • Оценка текущего и прогнозируемого технического состояния элементов строительных конструкций.
1.3	Работы по созданию информационной модели	• Обработка исходных данных. • Создание ЭИМ (при условии ее отсутствия). • Выполнение корректировки ИМ со стадии «как построено» до ЭИМ (при условии наличия модели «как построено»). • Внесение изменений в соответствие с вносимыми изменениями в реальный объект эксплуатации.
1.4	Общие требования к исполнителю	• Наличие высококвалифицированных специалистов. • 50 % сотрудников, принимающих участие в проекте, должны иметь соответствующие сертификаты по программным продуктам. • Специалисты должны иметь опыт выполнения проектов BIM. • Наличие опыта в проектировании с использованием BIM-технологий (предоставить сведения по выполненным проектам с использованием BIM-технологий). • Наличие специалиста, который будет нести ответственность за процесс реализации BIM-проекта и коммуникации с заказчиком.
1.5	Требования к программному обеспечению	ИМ должна быть выполнена с использованием следующего лицензионного программного обеспечения: Autodesk Revit; Autodesk Navisworks; Dynamo. Версии программного обеспечения должны соответствовать требованиям компании для обеспечения интероперабельности и возможности работать с ЭИМ всем участникам.
1.6	Требования к совместной работе	Использование облачных хранилищ данных с возможностью ограничения доступа к документам в зависимости от должности сотрудника.
2. Требования к информационной модели		
2.1	Использование внешних ссылок	ЭИМ должна иметь в себе несущие конструкции здания в таком виде, как они выглядят у реального объекта. Использование подгружаемых ссылок возможно в том случае, когда подгружаются ЭИМ других разделов с аналогичной степенью проработки для увязки изменений и проверки на коллизии после проведенных работ.
2.2	Использование компонентов	Использование компонентов возможно либо уже существующих в файле проекта, либо из библиотеки семейств управляющей компании. Использование компонентов из открытых источников запрещено.
2.3	Уровень проработки	Уровень проработки элементов модели отличается для каждого класса элементов и составляет от LOD/LOI300 до LOD/LOI500. Этот вопрос уточняется в ВЕР по разработке или корректировке ЭИМ, а также степень проработки может быть изменена со временем.
2.4	Проверка и оценка технических решений	ЭИМ должна отражать полную копию цифрового актива и отражать все эксплуатационные характеристики на момент ее использования.
2.5	Проверка на коллизии	Проверки на коллизии должны проводиться при сдаче модели для использования в эксплуатации, а также каждый раз после внесения в нее изменений, вызванных текущими ремонтами или обслуживаниями.
2.6	Подсчет объемов работ	ИМ должна позволить извлекать необходимые данные для подсчета объемов работ, используемые для дальнейшей оценки сметной стоимости.

Табл. 1. Требования для разработки эксплуатационной информационной модели
Tab. 1. Requirements for developing an operational information model

на котором будут отображаться цветом категории износа конструкций для быстрого визуального анализа (рисунок 8).

После подготовки файлов и проверки наличия всех исходных данных можно начинать загрузку данных из отчета в информационную модель. В данной статье приводится описание автоматического заполнения данных об элементах колонн (для всех других конструктивных элементов механизм действия будет аналогичным).

На начальной стадии возьмем случай, когда элементы пока еще не имеют никаких записанных данных на метках и на колоннах, поэтому окрашены в светло-салатовый цвет, обозначающий, что уровень износа данных конструкций 0 % (рисунок 9).

После запуска программного модуля и заполнения всех входных данных видим результат – окрашенные конструкции согласно полученным данным износа. На рисунке 10 показаны параметры для метки на отдельно взятой колонне № 68, на рисунке 11 показаны параметры, записанные непосредственно на колонну (в этом случае вместо колонны может быть любой другой конструктивный элемент с закрепленной меткой). На этом запись данных в информационную модель завершена.

Результаты

Таким образом, очевидно, что создание цифрового двойника здания с использованием датчиков радиочастотной интеграции зависит от многих факторов. Первый фактор – этап жизненного цикла объекта, на котором было принято решение о внедрении такой системы. Второй – степень проработки модели здания и вообще ее наличие. Третий, но не менее важный, фактор – наличие квалифицированных кадров, отвечающих за этап эксплуатации здания, которые будут способны эффективно использовать все возможности системы.

На основе проведенного исследования были разработаны требования и критерии к эксплуатационной модели здания с учетом возможности интеграции информации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : СП 333.1325800.2020 : Свод правил : введены в действие 2021-07-01 / НИУ МГСУ, ЧУ ГК «Росатом» «ОЦКС». – Москва, 2021. – 226 с.
2. Князева, Н. В. Использование BIM-сценариев в работе служб эксплуатации / Н. В. Князева, Д. А. Левина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 5. – С. 99–105.
3. Князева, Н. В. Применение искусственного интеллекта для обнаружения дефектов в строительных конструкциях / Н. В. Князева, Е. А. Назойкин, А. А. Орехов // Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 11, № 3 (40). – С. 18.
4. Князева, Н. В. Алгоритм создания системы мониторинга здания на основе интеграции технологий информационного моделирования и радиочастотной идентификации / Н. В. Князева, А. А. Мединцев // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 12 (96). – С. 646–659.
5. Motamedi, A. Lifecycle management of facilities components using radio frequency identification and building information model / A. Motamedi, A. Hammad // Electronic Journal of Information Technology in Construction. – 2009. – № 14. – P. 238–262.
6. Extending IFC to incorporate information of RFID tags attached to building elements / A. Motamedi, M. M. Soltani, S. Setayeshgar, A. Hammad // Advanced Engineering Informatics. – 2016. – Vol. 30, Iss. 1. – P. 39–53.

с RFID-метками [10], а также organisational information requirements (OIR) и asset information requirements (AIR) [11]. В таблице 1 перечислены и описаны общие требования и требования к ЭИМ здания.

Среди дополнительных критериев для проведения мероприятий по интеграции информации с меток в информационную модель можно выделить следующие:

- ЭИМ содержит смоделированные образы меток семействами «специальное оборудование»;
- для всех меток и связанных с ними конструктивных элементов назначены уникальные номера;
- для конструктивных элементов, к которым на реальном объекте прикреплена метка, заполнен параметр «RFID-метка закреплена».

Обсуждение

Стоит отметить, что приведенные требования к ЭИМ могут носить лишь рекомендательный общий характер. Невозможно разработать жесткий перечень требований, применимых ко всем владельцам активов [12]. Организации, занимающиеся эксплуатацией, и владельцы зданий должны понимать свои бизнес-потребности в связи с их бизнес-требованиями, чтобы извлекать выгоду из процессов, основанных на информационном моделировании.

Заключение

В ходе исследования был проведен обзор российского и зарубежного опыта использования датчиков радиочастотной идентификации совместно с технологией информационного моделирования, а также описана работа программного модуля для организации интеграции данных RFID-меток с информационной моделью здания.

Проведенная работа позволила сформулировать ряд общих и специальных требований к эксплуатационной модели здания для автоматизированного заполнения данных о состоянии конструкций и частей здания после обследования.

7. Гаряева, В. В. Автоматизация синхронизации в реальном времени данных BIM-модели здания на базе RFID технологии / В. В. Гаряева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 5. – С. 186–188.
8. Козин, М. С. Применение RFID меток в строительстве / М. С. Козин, Н. Д. Комарова // Университетская наука. – 2021. – № 1. – С. 51–54.
9. Правила оценки физического износа жилых зданий : ВСН 53-86(р) : Ведомственные строительные нормы : дата введения 1987-07-01 : утверждены приказом Гос. комитета по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР от 24 декабря 1986 года № 446 / Госгражданстрой ; Госстрой России. – Москва : ФГУП ЦПП, 2007. – 80 с.
10. Герц, В. А. Анализ нормативно-технической и законодательной базы при реализации этапа эксплуатации зданий непроизводственного назначения с применением технологий информационного моделирования (ТИМ) / В. А. Герц, Н. В. Князева // Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 11, № 3 (40). – С. 9.
11. Ashworth, S. BIM guidance to optimise the operational phase: defining information requirements based on ISO 19650 / S. Ashworth, M. Dillinger, K. Körkemeyer // Facilities. – 2022. – Vol. 41, № 5/6. – P. 337–356.
12. BIM-based operational information requirements for asset owners / M. Munir, A. Kiviniemi, S. W. Jones, S. Finnegan // Architectural Engineering and Design Management. – 2020. – Vol. 16 Iss. 2. – P. 100–114.

REFERENCES

1. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoj modeli ob'ektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla [Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle] : SP 333.1325800.2020 : Svod pravil [Set of rules] : vvedeny v dejstvie 2021-07-01 [put into effect 2021-07-01] / NIU MGSU, CHU GC «Rosatom» «OCCS». – Moscow, 2021. – 226 p.
2. Knyazeva, N. V. Ispol'zovanie BIM-stsenariiev v rabote sluzhb ehkspluatatsii [The use of BIM scenarios in the work of operational services] / N. V. Knyazeva, D. A. Levina // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. – 2019. – № 5. – P. 99–105.
3. Knyazeva, N. V. Primenenie iskusstvennogo intellekta dlya obnaruzheniya defektov v stroitel'nykh konstruksiyakh [The use of artificial intelligence to detect defects in building structures] / N. V. Knyazeva, E. A. Nazoikin, A. A. Orekhov // Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and Architecture]. – 2023. – Vol. 11, № 3 (40). – P. 18.
4. Knyazeva, N. V. Algoritm sozdaniya sistemy monitoringa zdaniya na osnove integratsii tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya i radiochastotnoj identifikatsii [Algorithm for creating a building monitoring system based on the integration of information modeling and radio frequency identification technologies] / N. V. Knyazeva, A. A. Medyntsev // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2022. – № 12 (96). – P. 646–659.
5. Motamedi, A. Lifecycle management of facilities components using radio frequency identification and building information model / A. Motamedi, A. Hammad // Electronic Journal of Information Technology in Construction. – 2009. – № 14. – P. 238–262.
6. Extending IFC to incorporate information of RFID tags attached to building elements / A. Motamedi, M. M. Soltani, S. Setayeshgar, A. Hammad // Advanced Engineering Infor-

matics. – 2016. – Vol. 30, Iss. 1. – P. 39–53.

7. Goryaeva, V. V. Avtomatizatsiya sinkhronizatsii v real'nom vremeni dannykh BIM-modeli zdaniya na baze RFID tekhnologii [Automation of real-time synchronization of BIM-model building data based on RFID technology] / V. V. Goryaeva // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region]. – 2018. – № 5. – P. 186–188.
8. Kozin, M. S. Primenenie RFID metok v stroitel'stve / M. S. Kozin, N. D. Komarova [Application of RFID tags in construction] / M. S. Kozin, N. D. Komarova // Universitetskaya nauka [University science]. – 2021. – № 1. – P. 51–54.
9. Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy [Rules for assessing the physical wear of residential buildings] : VSN 53-86(p) : Vedomstvennye stroitel'nye normy [Departmental building codes] : data vvedeniya 1987-07-01 [date of introduction 1987-07-01] : utverzhdeny prikazom Gos. komiteta po grazhdanskomu stroitel'stvu i arkhitekture pri Gosstroe SSSR ot 24 dekabrya 1986 goda № 446 [approved by Order of the State Committee for Civil Engineering and Architecture under the USSR State Construction Committee № 446 dated December 24, 1986] / Gosgrazhdanstroy ; Gosstroj Rossii [Gosgrazhdanstroy ; Gosstroy of Russia]. – Moscow : FSUE TSPP, 2007. – 80 p.
10. Hertz, V. A. Analysis of the regulatory, technical and legislative framework for the implementation of the stage of operation of non-industrial buildings with the use of information modeling technologies (TIM) / V. A. Hertz, N. V. Knyazeva // Construction and architecture. – 2023. – Vol. 11, № 3 (40). – P. 9.
11. Ashworth, S. BIM guidance to optimise the operational phase: defining information requirements based on ISO 19650 / S. Ashworth, M. Dillinger, K. Körkemeyer // Facilities. – 2022. – Vol. 41, № 5/6. – P. 337–356.
12. BIM-based operational information requirements for asset owners / M. Munir, A. Kiviniemi, S. W. Jones, S. Finnegan // Architectural Engineering and Design Management. – 2020. – Vol. 16 Iss. 2. – P. 100–114.

УДК 621.565.93/94

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_55

Факторы, влияющие на формирование организационно-управленческой системы службы технического заказчика на различных этапах жизненного цикла строительного проекта

Факторы организационной структуры в жизненном цикле строительного проекта

Factors Influencing the Formation of the Organizational and Management System of the Technical Customer Service at Various Stages of the Life Cycle Construction Project
Organizational Structure Factors in the Construction Project Life Cycle

Федосов Сергей Викторович

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, fedosovsv@mgsu.ru

Fedosov Sergey Viktorovich

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, Yaroslavlskoe shosse, 26, fedosovsv@mgsu.ru

Петрухин Александр Борисович

Доктор экономических наук, профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, kanz@ivgpu.ru

Petrukhin Alexander Borisovich

Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetyevsky prospekt, 21, kanz@ivgpu.ru

Федосеев Вадим Николаевич

Доктор технических и экономических наук, профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, 4932421318@mail.ru

Fedoseev Vadim Nikolaevich

Doctor of Technical and Economic Sciences, Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetyevsky prospekt, 21, 4932421318@mail.ru

Овчинников Алексей Николаевич

Соискатель, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, kanz@ivgpu.ru

Ovchinnikov Alexey Nikolaevich

Applicant, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetyevsky prospekt, 21, kanz@ivgpu.ru

Аннотация. Задачи исследования выбора организационно-управленческих решений в процессе реализации инвестиционно-строительных проектов предполагают значительное количество вариантов их решения. Последовательное повышение сложности производственных процессов и требований к ним приводит к необходимости применения не использовавшихся ранее научных методов и инструментов исследования. В частности, такое положение относится к сфере оптимизации деятельности структурных подразделений всех участников реализации этапов жизненных циклов инвестиционно-строительного проекта.

Системный анализ может осуществлять четкий и логичный контроль за многочисленными факторами, влияющими на эффективность осуществляемых организационно-технических решений структурными подразделениями службы заказчика на всех этапах жизненного цикла объекта строительства.

Факторы влияния представляют собой конкретные особен-

Abstract. Research on the choice of organizational and technological solutions for a part of investment and construction projects includes the number of options for its solutions. A consistent increase in the complexity and requirements of derivative processes leads to the need to apply previously unused scientific methods and research tools. In particular, such a proposal relates to the sphere of optimization of the activities of structural divisions of all participants in the implementation of the stages of the life cycles of an investment and construction project.

System analysis can study some kind of logical control over four numerous factors that affect the effectiveness of organizational and technical decisions made by structural units of the customer service at all stages of the life cycle of creating an object.

Existing factors are special features of the property and state

Введение

Практически каждая задача исследований, связанная с разработкой системы принятия организационно-технологических решений инвестиционно-строительного проекта, характеризуется множеством вариантов ее возможных решений. Постоянное усложнение разнообразных факторов влияния в сочетании с повышением требований к обеспечению устойчивости, надежности и эффективности производственных процессов, приводят к необходимости анализа посредством синтеза широко распространенных, а также таких, которые не применялись ранее (в том числе, инновационных, заимствованных из других областей знаний) методов и инструментов исследований [1–5].

Указанное в значительной степени относится к сфере оптимизации деятельности структурных подразделений

ности свойств и состояний искусственной и естественной окружающей среды, с которыми в непрерывном взаимодействии состоит проектируемый объект строительства.

Авторами проведено исследование состава и уровня значимости факторов. Системный анализ факторов влияния может сформировать основную методическую базу обеспечения условий выполнения установленных целей и задач инвестиционно-строительного объекта.

Результаты исследования позволяют установить наиболее значимые внутренние и внешние факторы, влияющие на обеспечение условий эффективного выполнения установленных целей и задач на каждом этапе жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Ключевые слова: жизненный цикл, объект строительства, организационные структуры, математическое моделирование, проект, управление.

of the artificial and natural environment, with the development of continuous construction interaction of a stable designed object.

The authors conducted a study of the composition and level of occurrence of natural phenomena. A systematic analysis of environmental factors can form the main methodological basis that provides the conditions for fulfilling the required goals and objectives of an investment and construction facility.

The results of the study allow us to establish the most significant internal and external environmental factors that affect the provision of conditions for the effective implementation of the goals and objectives at each stage of the investment and construction project cycle.

Keywords: life cycle, construction object, organizational structures, mathematical modeling, project, management.

всех участников реализации этапов жизненных циклов инвестиционно-строительных проектов.

Материалы и методы

Возможности системного подхода позволяют осуществлять одновременную увязку в пространстве и времени условий и регламентов производственных процессов, событий и процедур, предусмотренных организационно-технологическими решениями. Системный анализ, по мнению авторов, позволяет осуществить корректный и адекватный учет многочисленных и разнообразных факторов, оказывающих влияние на эффективность принимаемых организационно-технологических решений структурными подразделениями службы технического заказчика на каждом этапе жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта [6–9].

Под факторами влияния подразумеваются конкретные особенности свойств и состояний искусственной и

естественной окружающей среды, с которыми проектируемый объект строительства находится в непрерывном взаимодействии.

Таким образом, в настоящем исследовании использованы теоретические положения и методы системного анализа, общей теории систем, методы множественного корреляционно-регрессионного анализа, математического моделирования сложных процессов и явлений, метод анализа экспертных суждений.

Результаты

В процессе проведенного авторами исследования состав и уровень значимости факторов влияния на каждом этапе жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта определялись путем экспертного опроса специалистов из числа участников инвестиционно-строительного процесса. Их оценка проводилась с учетом экспертных мнений и расчетом следующих показателей:

1) коэффициента конкордации Кендалла (W), отражающего уровень согласованности экспертных мнений (1):

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

2) критерия согласия Пирсона (χ^2), отражающего значимость экспертного мнения (2):

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}m \cdot n(n+1) + \frac{1}{n-1}m \sum T_i}, \quad (2)$$

где S – квадрат контрольного числа в матрице рангов мнений экспертов;

m – численность экспертной группы;

n – количество параметров экспертной оценки;

T_i – связанность мнения i -го эксперта.

Расчеты указанных показателей раскрыли, что:

- уровень согласованности экспертных мнений соответствует значению 0,77 коэффициента конкордации Кендалла, что свидетельствует о высоком уровне согласования мнений;
- поскольку расчетное значение χ^2 равно 161,24, что $\geq$ табличного (32,284), то $W = 0,77$ – величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Результаты проведенного исследования показали следующее.

К числу «внутренних» факторов влияния можно отнести масштаб строительного объекта; особенности архитектурно-строительных, конструктивных, функционально-технологических, художественно-эстетических решений; субъективные предпочтения и персонализированные интересы участников инвестиционно-строительного проекта.

Состав местных условий (или «внешних» факторов влияния), необходимых для анализа возможных вариантов организационно-технологических решений, характеризуется следующими группами данных:

- градостроительная ситуация и географические особенности;
- производственные возможности местных подрядных организаций;
- производственная база местной строительной индустрии;

- нормативно-правовые особенности организации строительства;
- социальное и экономическое состояние.

Системный анализ факторов влияния (внешних и внутренних по отношению к объектам строительства) может являться базовой методической основой обеспечения условий выполнения установленных целей и задач инвестиционно-строительного проекта.

Таким образом, математическая интерпретация производственных процессов с учетом указанных факторов включает следующее:

- анализ функциональных и функционально-технологических особенностей взаимодействия этапов жизненного цикла проекта;
- состав функциональных (функционально-технологических) процедур, осуществляемых в течение каждого из принятых к рассмотрению этапа жизненного цикла проекта;
- логическую структуру взаимодействия элементарных явлений (событий), определяющих развитие процессов в пространстве и во времени;
- методы определения свойств и состояний производственных процессов (функциональных процедур) проекта в любой момент времени;
- методы определения конечных результатов анализа производственных процессов (функциональных процедур) проекта;
- состав случайных факторов внешней и внутренней среды проекта, способных оказывать влияние на установленный порядок выполнения производственных процессов (функциональных процедур) инвестиционно-строительного проекта.

Обсуждение

Математический аппарат позволяет осуществлять воссоздание производственных процессов инвестиционно-строительного проекта во времени, с сохранением их функциональной и логической структуры и последовательности прохождения во времени, при обязательном учете факторов, которые поддаются выявлению, статистической обработке или вероятностному прогнозу [13–16].

Применительно к специфике решения вопроса формирования организационной системы службы технического заказчика на каждом этапе жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта была обоснована необходимость учета следующего состава факторов:

- объемно-планировочные, конструктивные, функциональные, строительные, эстетические характеристики объекта;
- технологические, организационные, управленческие особенности производства строительных процессов, осуществляемых в конкретных условиях строительной площадки;
- человеческий фактор, включая корпоративные интересы каждой категории участников инвестиционно-строительной деятельности;
- качественный и количественный состав, производительность, надежность строительных машин и средств механизации строительных процессов;
- возможности местной строительной индустрии и транспортной инфраструктуры для обеспечения строительного производства строительными материалами, изделиями, конструкциями;

- доступность ресурсов (воды, энергии, тепла), необходимых для сопровождения и осуществления строительного производства;
- установленные целевые показатели (техничко-экономические показатели) инвестиционно-строительного проекта, включая продолжительность, трудоемкость и стоимость его реализации;
- требования нормативно-технических и нормативно-правовых документов в отношении безопасности строительного производства, а также охраны окружающей среды и экологической нагрузки;
- случайные факторы внешней среды, включая природно-климатические и инженерно-геологические проявления.

В процессе проведенного корреляционного анализа было установлено, что состав факторов, оказывающих влияние на формирование организационно-управленческой системы службы технического заказчика на различных этапах жизненного цикла строительного проекта меняется не существенно, но уровень их значимости отличается значительно.

Изучение множественной корреляционной зависимости было выполнено с анализа матрицы парных коэффициентов корреляции, что позволило произвести отбор

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков, А. Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : дис. ... докт. архитектуры : 18.00.01 / Большаков Андрей Геннадьевич. – Иркутск, 2003. – 458 с.
2. Коклюгина, Л. А. Влияние фактора продолжительности строительства объектов при принятии управленческих решений на момент проведения тендеров / Л. А. Коклюгина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 2. – С. 41–45.
3. Овчинников, А. Н. Моделирование процессов управления информационными потоками под воздействием принятия решений заказчиком (техническом заказчиком) / А. Н. Овчинников, А. А. Липидус. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 266 с.
4. Овчинников, А. Н. Проблемы существующей системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства и факторы, их определяющие / А. Н. Овчинников, А. А. Волков // Наука и бизнес: пути развития. – Москва : ТМБпринт. – 2019. – № 5 (95). – С. 38–42.
5. Особенности организационной структуры на этапах жизненного цикла строительного проекта / С. В. Федосов, А. Б. Петрухин, В. Н. Федосеев, А. Н. Овчинников // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 63–68.
6. Tanne, Y. A. Review of Construction Automation and Robotics Practices in Indonesian Construction State-Owned Enterprises: Position in Project Life Cycle, Gap to Best Practice and Potential Uses / Y. A. Tanne, N. L. A. Indrayani. – DOI 10.1007/s44150-023-00098-5 // Architecture, Structures and Construction. – 2023. – № 3. – P. 373–389.
7. Impacts of COVID-19 on construction project management: a life cycle perspective / Zh. Li, Yu. Jin, W. Li, Q. Meng, X. Hu. – DOI 10.1108/ECAM-10-2021-0873 // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2022. – Vol. 30, № 8. – P. 3357–3389.

факторов, включаемых в модель множественной зависимости. Далее отобранные факторы были включены в модель множественной корреляции.

Расчеты показали, что, коэффициент множественной корреляции не снижался ниже 0,67 (на этапе «Аудит, финансовый учет и отчетность при сопровождении строительного производства» жизненного цикла строительного проекта) и имеет максимальное значение 0,81 (на этапе «Строительное производство (строительный контроль функционального качества строительной продукции)»), что свидетельствует о существенном их влиянии на результативный признак.

Заключение

Таким образом, по результатам выполненного исследования можно сформулировать следующий элемент научной новизны: установлены наиболее значимые внутренние и внешние факторы, влияющие на учет особенностей настоящего времени при выполнении установленных целей и задач инвестиционно-строительного проекта, которые позволяют техническому заказчику рационально распределить организационно-управленческие функции между участниками реализации строительного проекта на каждом этапе его жизненного цикла.

8. Building Information Modeling-Empowering Construction Projects with End-to-End Life Cycle Management / A. Waqar, I. Othman, S. Hayat, D. Radu, M. Khan, T. Galatanu, H. Almujiabah, M. Hadzima-Nyarko, O. Benjeddou. – DOI 10.3390/buildings13082041 // Buildings. – 2023. – Vol. 13, Iss. 8. – P. 2041.
9. Victar, H. C. Construction and demolition waste management issues in building project life cycle stages: a case of Sri Lanka / H. C. Victar, K. G. A. S. Waidyasekara. – DOI 10.31705/WCS.2023.33 // Proceedings of the 11th World Construction Symposium, 21-22 July 2023, Sri Lanka. – 2023. – P. 392–406.
10. Maisham, M. Identification of the Challenges of Life Cycle Costing in Green Construction Projects in Malaysia / M. Maisham, H. Adnan, N. A. A. Ismail. – DOI 10.30880/ijscet.2021.12.05.012 // International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 116–124.
11. Amid, S. A. Identifying Factors Affecting Waste Production throughout the Construction Project Life Cycle and Proposing BIM-based Solutions / S. A. Amid, E. Noorzai, M. Golabchi. – DOI 10.1108/TQM-09-2021-0272// The TQM Journal. – 2022. – Vol. 35, № 6. – P. 1449–1470.
12. Whole Life/Life Cycle Costing During the Design Stage of a Construction Project: A Qualitative Review / D. C. Hagan, M. Curran, J. Spillane, M.-C. Greene. – DOI 10.4018/IJDIBE.2020070103 // International Journal of Digital Innovation in the Built Environment. – 2020. – Vol. 9, Iss. 2. – P. 66–87.
13. Ivanov, N. The importance of automating the «Construction» phase of the construction project life cycle / N. Ivanov, D. Ivanov. – DOI 10.1051/e3sconf/202338906032 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2023), 31 May 2023. – 2023. – Vol. 389, № 06032.
14. Новосёлова, И. В. Применение BIM-технологий на всех ста-

диях жизненного цикла строительного проекта / И. В. Новосёлова, И. А. Чернявский. – DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-4-15 // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1, № 3. – С. 4–15.

15. Lakousha, M. Con-LCCA V1.0: A Computerized Tool for Analyzing the Life Cycle Cost of Construction Projects / M. Lakousha. – DOI 10.21608/svusrc.2022.165183.1080 // SVU-International

REFERENCES

1. Bolshakov, A. G. Gradostroitel'naya organizatsiya landshafta kak faktor ustojchivogo razvitiya territorii : dis. ... dokt. arkhitektury : 18.00.01 [Urban planning organization of the landscape as a factor in the sustainable development of the territory : dissertation ... Doctor of Architecture : 18.00.01] / Bolshakov Andrey Gennadievich. – Irkutsk, 2003. – 458 p.
2. Koklyugina, L. A. Vliyanie faktora prodolzhitel'nosti stroitel'stva ob'ektov pri prinyatii upravlencheskikh reshenij na moment provedeniya tenderov [Influence of the factor of duration of construction of facilities in making management decisions at the time of tenders] / L. A. Koklyugina // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2015. – № 2. – P. 41–45.
3. Ovchinnikov, A. N. Modelirovanie protsessov upravleniya informatsionnymi potokami pod vozdeystviem prinyatiya reshenij zakazchikom (tekhnicheskome zakazchikom) [Modeling of information flow management processes under the influence of decision-making by the customer (technical customer)] / A. N. Ovchinnikov, A. A. Lapidus. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2021. – 266 p.
4. Ovchinnikov, A. N. Problemy sushhestvuyushhej sistemy upravleniya zhiznennym tsiklom ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva i faktory, ikh opredelyayushhie [Problems of the existing life cycle management system for capital construction projects and their determining factors] / A. N. Ovchinnikov, A. A. Volkov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – Moscow : TMBprint. – 2019. – № 5 (95). – P. 38–42.
5. Osobennosti organizatsionnoj struktury na ehtapakh zhiznennogo tsikla stroitel'nogo proekta [Features of the organizational structure at the stages of the life cycle of a construction project] / S. V. Fedosov, A. B. Petrukhin, V. N. Fedoseev, A. N. Ovchinnikov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 3. – P. 63–68.
6. Tanne, Y. A. Review of Construction Automation and Robotics Practices in Indonesian Construction State-Owned Enterprises: Position in Project Life Cycle, Gap to Best Practice and Potential Uses / Y. A. Tanne, N. L. A. Indrayani. – DOI 10.1007/s44150-023-00098-5 // Architecture, Structures and Construction. – 2023. – № 3. – P. 373–389.
7. Impacts of COVID-19 on construction project management: a life cycle perspective / Zh. Li, Yu. Jin, W. Li, Q. Meng, X. Hu. – DOI 10.1108/ECAM-10-2021-0873 // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2022. – Vol. 30, № 8. – P. 3357–3389.
8. Building Information Modeling-Empowering Construction Projects with End-to-End Life Cycle Management / A. Waqar, I. Othman, S. Hayat, D. Radu, M. Khan, T. Galatanu, H. Almujiabah,

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО № 4 (48)'2023

Journal of Veterinary Sciences. – 2023. – Vol. 4, Iss. 1. – P. 62–78.

16. Tran, C. N. N. Correlation for Project Decision Making Process Between Green Building Proposal Evaluation and Life Cycle Costing Applications / C. N. N. Tran, N. T. T. Nguyen, V. Tam. – DOI 10.1007/978-981-99-3626-7_38 // Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. – 2023. – P. 475–483.

- M. Hadzima-Nyarko, O. Benjeddou. – DOI 10.3390/buildings13082041 // Buildings. – 2023. – Vol. 13, Iss. 8. – P. 2041.
9. Victar, H. C. Construction and demolition waste management issues in building project life cycle stages: a case of Sri Lanka / H. C. Victar, K. G. A. S. Waidyasekara. – DOI 10.31705/WCS.2023.33 // Proceedings of the 11th World Construction Symposium, 21-22 July 2023, Sri Lanka. – 2023. – P. 392–406.
10. Maisham, M. Identification of the Challenges of Life Cycle Costing in Green Construction Projects in Malaysia / M. Maisham, H. Adnan, N. A. A. Ismail. – DOI 10.30880/ijscet.2021.12.05.012 // International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 116–124.
11. Amid, S. A. Identifying Factors Affecting Waste Production throughout the Construction Project Life Cycle and Proposing BIM-based Solutions / S. A. Amid, E. Noorzai, M. Golabchi. – DOI 10.1108/TQM-09-2021-0272// The TQM Journal. – 2022. – Vol. 35, № 6. – P. 1449–1470.
12. Whole Life/Life Cycle Costing During the Design Stage of a Construction Project: A Qualitative Review / D. C. Hagan, M. Curran, J. Spillane, M.-C. Greene. – DOI 10.4018/IJDIBE.2020070103 // International Journal of Digital Innovation in the Built Environment. – 2020. – Vol. 9, Iss. 2. – P. 66–87.
13. Ivanov, N. The importance of automating the «Construction» phase of the construction project life cycle / N. Ivanov, D. Ivanov. – DOI 10.1051/e3sconf/202338906032 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2023), 31 May 2023. – 2023. – Vol. 389, № 06032.
14. Novoselova, I. V. Primenenie BIM-tekhnologij na vsekhi stadiyakh zhiznennogo tsikla stroitel'nogo proekta [Application of BIM Technologies at All Stages of a Construction Project Life Cycle] / I. V. Novoselova, I. A. Chernyavsky. – DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-4-15 // Sovremennye tendentsii v stroitel'stve, gradostroitel'stve i planirovke territorij [Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning]. – 2022. – Vol. 1, № 3. – P. 4–15.
15. Lakousha, M. Con-LCCA V1.0: A Computerized Tool for Analyzing the Life Cycle Cost of Construction Projects / M. Lakousha. – DOI 10.21608/svusrc.2022.165183.1080 // SVU-International Journal of Veterinary Sciences. – 2023. – Vol. 4, Iss. 1. – P. 62–78.
16. Tran, C. N. N. Correlation for Project Decision Making Process Between Green Building Proposal Evaluation and Life Cycle Costing Applications / C. N. N. Tran, N. T. T. Nguyen, V. Tam. – DOI 10.1007/978-981-99-3626-7_38 // Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. – 2023. – P. 475–483.

Оптимизация организационно-технологических решений при реконструкции зданий с устройством дополнительного подземного пространства

Optimization of Organizational and Technological Solutions for the Reconstruction of Buildings with the Development of Additional Underground Space

Ибрагимов Руслан Абдирашитович

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технологии строительного производства», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КГАСУ), Россия, 420043, Казань, улица Зеленая, 1, rusmag007@yandex.ru

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich

Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Building Production Technologies, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUAE), Russia, 420043, Kazan, ulitsa Zelenaya, 1, rusmag007@yandex.ru

Шагиахметова Эльвира Илшатовна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и предпринимательство в строительстве», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КГАСУ), Россия, 420043, Казань, улица Зеленая, 1, elvirale@mail.ru

Shagiakhmetova Elvira Ilshatovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship in Development, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUAE), Russia, 420043, Kazan, ulitsa Zelenaya, 1, elvirale@mail.ru

Галиев Ильяс Халимович

Старший преподаватель кафедры «Технологии строительного производства», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КГАСУ), Россия, 420043, Казань, улица Зеленая, 1, galiev-ih@kgasu.ru

Galiev Ilyas Khalimovich

Senior Lecturer of the Department of Building Production Technologies, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUAE), Russia, 420043, Kazan, ulitsa Zelenaya, 1, galiev-ih@kgasu.ru

Зигангирова Лейсан Идрисовна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КГАСУ), Россия, 420043, Казань, улица Зеленая, 1, zigangirova.98@mail.ru

Zigangirova Leisan Idrisovna

Postgraduate student, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUAE), Russia, 420043, Kazan, ulitsa Zelenaya, 1, zigangirova.98@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы организационно-технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями. В настоящее время комплексное освоение подземного пространства позволяет решить задачи высокого роста показателей урбанизации. Сложившаяся стесненная застройка города требует определения новых технологических решений для развития подземного пространства, в том числе и под сложившейся застройкой, для более эффективного использования городских территорий. Организационно-технологические решения требуют учета как конструктивных решений, так и эффективного распределения ресурсов строительной площадки при производстве работ с учетом этапов мониторинга. Целью работы является определение критериев, мероприятий, которые способствуют развитию организационно-технологических решений при реконструкции зданий с целью увеличения подземного пространства. В работе проанализированы и определены основные критерии, влияю-

щие на эффективность производства строительно-монтажных работ в стесненных городских условиях. Использованы методы анализа иерархий, экспертных оценок и определены наиболее оптимальные конструктивные параметры и необходимость использования малогабаритной техники, также выявлены результативные мероприятия на этапах проектирования и мониторинга. Результатом исследования разработана методика применения рациональных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями с учетом оптимизации организационно-технологических решений.

Ключевые слова: реконструкция; переопиание зданий на новые фундаменты; оптимизация организационно-технологических решений при реконструкции; устройство новых помещений под существующими зданиями; подземное пространство; экономический эффект.

new technological solutions for the development of underground space, including under the existing buildings for more efficient use of urban areas. Organizational and technological solutions require taking into account both design solutions and the effective distribution of construction site resources during the execution of work, taking into account the stages of monitoring. The purpose

of the work is to determine criteria and activities that contribute to the development of organizational and technological solutions during the reconstruction of buildings in order to increase underground space. The work analyzes and defines the main criteria affecting the efficiency of construction and installation work in cramped urban conditions. Methods of analyzing hierarchies and expert assessments were used and the most optimal design parameters and the need to use small-sized equipment were determined, and effective measures were identified at the design and

Введение

В условиях сложившейся исторической застройки крупных городов очевидной является необходимость расширения полезных площадей для размещения объектов инфраструктуры за счет увеличения подземных пространств существующих зданий. Однако стесненность строительства, принадлежность реконструируемых зданий к объектам культурного наследия требуют более тщательной проработки проектных и организационно-технологических мероприятий [1]. Формирование организационно-технологического решения – это сложный процесс, с большим количеством вовлеченных участников и заинтересованных сторон. Немаловажными факторами являются контроль качества работ, соответствие технологических операций требованиям проекта и нормативным регламентам и мониторинг технического состояния конструкций на всех этапах проведения СМР, а также в начальный период эксплуатации объекта, в том числе с применением высокоточных приборов наземного лазерного сканирования [2].

В связи с этим поиск организационно-технологических решений, направленных на разработку и освоение

monitoring stages. As a result of the study, a methodology was developed for applying rational organizational and technological solutions when constructing underground facilities under existing buildings, taking into account the optimization of organizational and technological solutions.

Keywords: reconstruction; transfer of buildings to new foundations; optimization of organizational and technological solutions during reconstruction; arrangement of new premises under existing buildings; underground space; economic effect.

подземных пространств существующих зданий, становится все более актуальным.

Материалы и методы

Научно-методические основы построения моделей при разработке проекта в классическом представлении базируются на оптимизации работ с учетом групп факторов, таких как технология производства строительно-монтажных работ (далее – СМР), ресурсы лица, осуществляющего строительство, внешние факторы, продолжительность работ, привязка к климатическим условиям, необходимость перемещения строительного городка, стесненность условий и др. [2–5]. При этом выделяется также и ряд экономических факторов, связанных с финансированием и продолжительностью реализации проекта [5; 6].

Ранжирование выделенных критериев и мероприятий выполнялось методом экспертных оценок [7]. Уровень согласованности мнений экспертов по всем критериям и факторам в соответствии с методикой [7] классифицируется коэффициентом конкордации Кендалла на стадиях проектирования (W_p) и мониторинга (W_m).

Далее в соответствии с методикой [8] выполняется математический анализ полученных данных. В целях

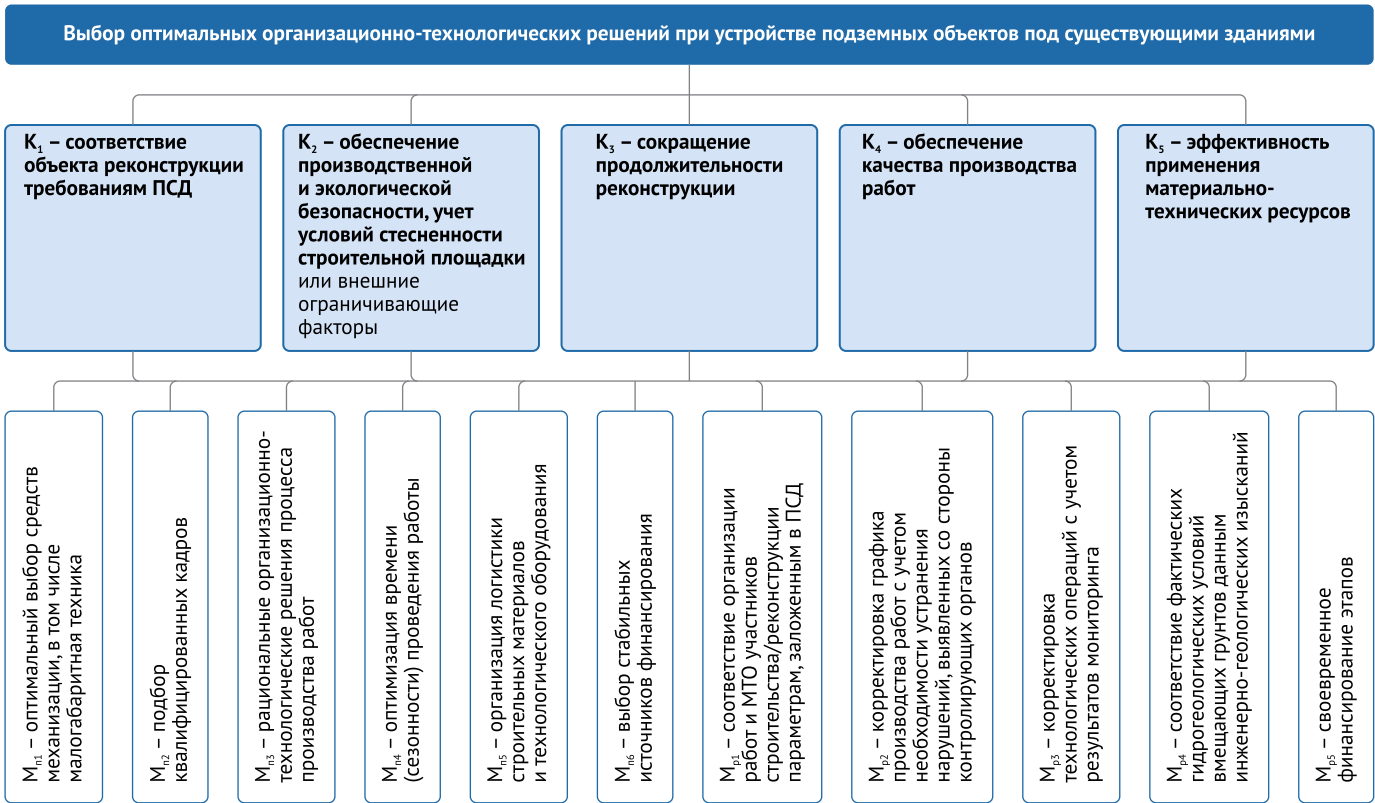


Рис. 1. Формирование выбора оптимальных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями (Источник: разработано авторами)
Fig. 1. Formation of the choice of optimal organizational and technological solutions for the construction of underground facilities under existing buildings (Source: performed configured by the authors)

Abstract. The article deals with the issues of organizational and technological solutions in the arrangement of underground space under existing buildings. Nowadays, the comprehensive development of underground space makes it possible to solve the problems of high growth in urbanization rates. The current cramped development of the city requires the identification of

Мероприятие	M_{n1}	M_{n2}	M_{n3}	M_{n4}	M_{n5}	M_{n6}	$N_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
M_{n1}	1	0,5	0,167	0,333	0,25	0,2	0,334	0,0313
M_{n2}	2	1	0,333	0,667	0,50	0,4	0,668	0,0625
M_{n3}	6	3	1	2	1,50	1,2	2	0,1875
M_{n4}	3	1,5	0,5	1	0,75	0,6	1	0,0938
M_{n5}	4	2	0,667	1,333	1	0,8	1,336	0,125
M_{n6}	5	2,5	0,833	1,667	1,25	1	5,344	0,5
Сумма	21	10,5	3,5	7	5,25	4,2	10,689	1

Табл. 1. Оценка важности мероприятий на этапе проектирования (Источник: выполнено авторами)
Tab. 1. Assessment of the importance of measures at the design stage (Source: performed by the authors)

Мероприятие	M_{n1}	M_{n2}	M_{n3}	M_{n4}	M_{n5}	$N_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
M_{n1}	1	0,333	0,2	0,25	0,5	0,3839	0,0667
M_{n2}	3	1	0,6	0,75	1,5	1,1516	0,2
M_{n3}	5	1,667	1	1,25	2,5	1,919	0,33333
M_{n4}	4	1,333	0,8	1	2	1,5354	0,26667
M_{n5}	2	0,667	0,4	0,5	1	0,7677	0,13333
Сумма	15	5	3	3,75	7,5	5,7578	1

Табл. 2. Оценка важности мероприятий на стадии мониторинга (Источник: выполнено авторами)
Tab. 2. Assessment of the importance of activities at the monitoring stage (Source: performed by the authors)

определения важности критериев и оценок результатов использованы матрицы парных сравнений.

Результаты

Основные мероприятия и критерии для построения модели отобраны на основании аналитического обзора работ, выполненных известными авторами, опытного и экспертного анализа технологического процесса устройства подземных этажей под существующими зданиями [9]. На основании экспертного опроса были выделены

пять критериев, шесть мероприятий на стадии проектирования и пять мероприятий на стадии мониторинга, а также выполнено их ранжирование.

Графическое представление взаимоувязанных комбинаций критериев и мероприятий по выбору эффективных решений по проведению работ при реконструкции приведено на рисунке 1.

Представленная схема представляет собой трехуровневую иерархическую структуру экспертно-квали-

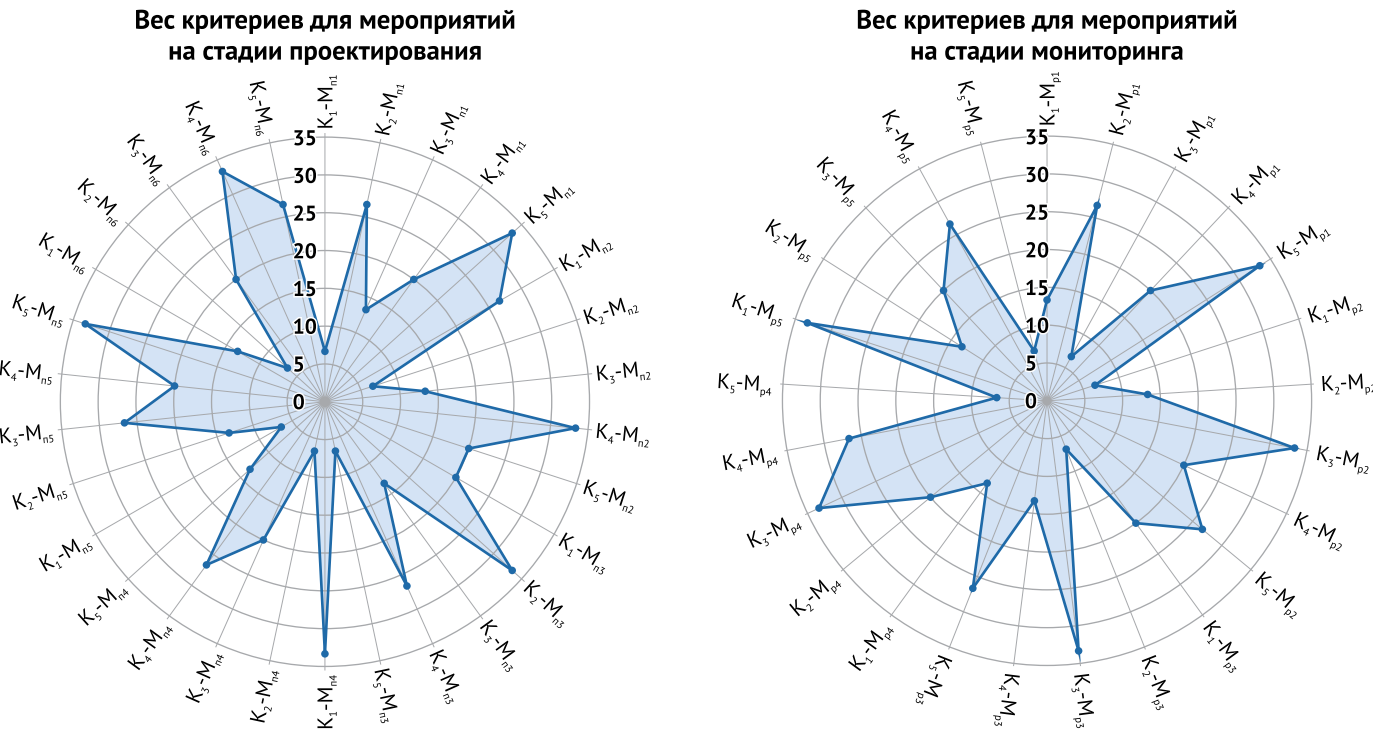


Рис. 2. Графическая оценка значимости критериев для мероприятий на стадиях проектирования (а) и мониторинга (б) (Источник: выполнено авторами)
Fig. 2. Graphical assessment of the significance of criteria for activities at the design (a) and monitoring (b) stages (Source: done by the authors)

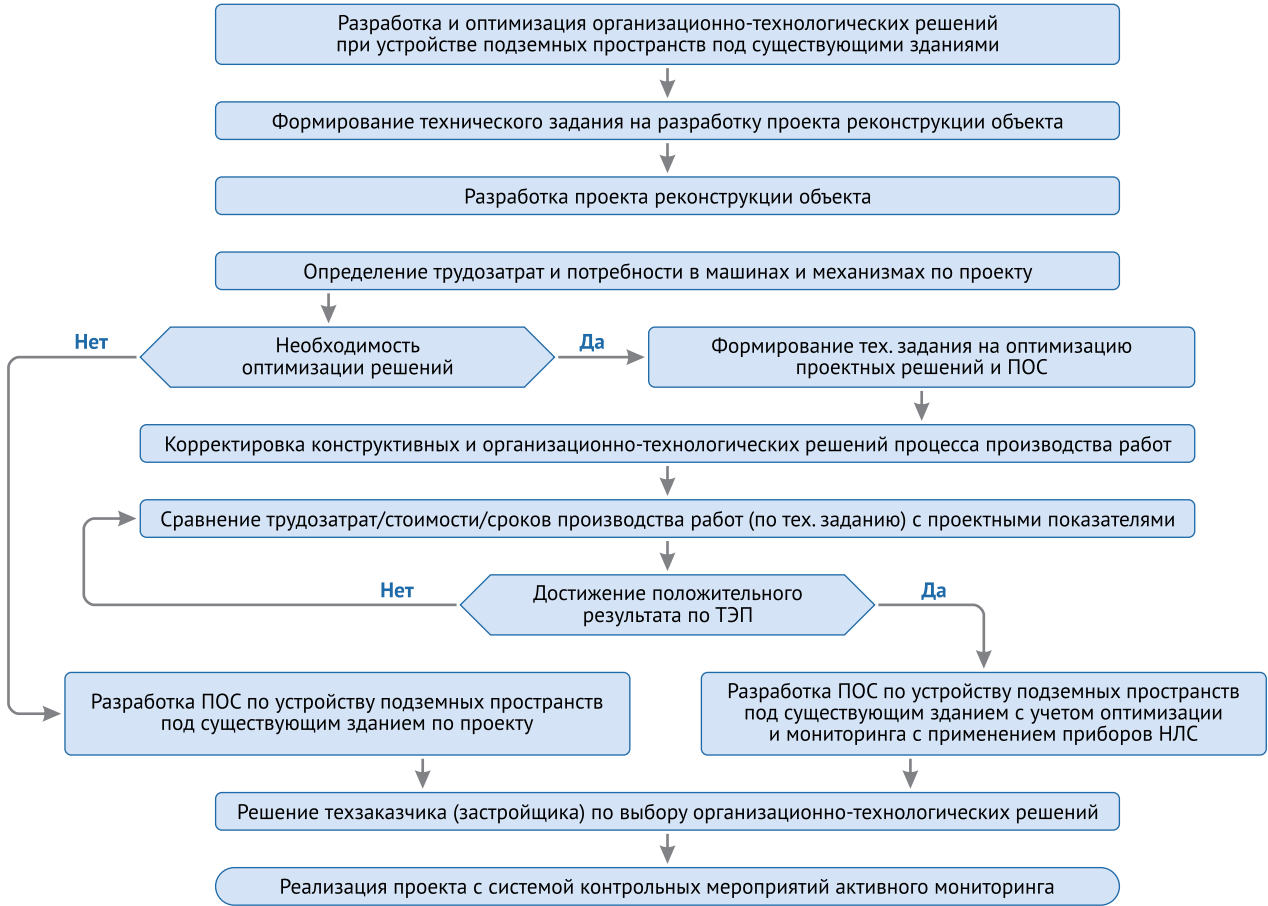


Рис. 3. Методика формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями с учетом оптимизации организационно-технологических решений (Источник: выполнено авторами)
Fig. 3. The method of formation of PIC elements in the construction of underground facilities under existing buildings, taking into account the optimization of organizational and technological solutions (Source: done by the authors)

метрического метода [8]. На верхнем уровне иерархии располагается цель, являющаяся выбором наилучшей альтернативы. Второй уровень состоит из основных критериев оценки эффективности ($K_1, K_2, \dots, K_5$). На третьем (последнем) уровне схемы представлены шесть мероприятий на стадии разработки проекта ($M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}, \dots, M_{n6}$) и пять мероприятий на стадии мониторинга при реконструкции зданий ($M_{p1}, M_{p2}, M_{p3}, \dots, M_{p5}$).

На основе многокритериального анализа эффективности мероприятий на стадии разработки проекта и мониторинга по шкале приоритетов значимости мероприятий формировалась вероятная комбинация мероприятий, ранг которых задан в соответствии с мнением экспертов. Затем выполнялось построение матриц парных сравнений и вычисление локальных векторов приоритетов.

Полученные матрицы запишем в виде таблиц 1 и 2. Результаты статистического анализа значимости критериев для мероприятий на стадиях проектирования и мониторинга представлены на рисунке 2.

Наиболее важным критерием для мероприятия M_{n1} является K_5-M_{n1} , для мероприятия M_{n2} является K_4-M_{n2} , для мероприятия M_{n3} является K_2-M_{n3} , для мероприятия M_{n4} является K_1-M_{n4} , для мероприятия M_{n5} является K_5-M_{n5} , для мероприятия M_{n6} является K_4-M_{n6} .

Наиболее важным критерием для мероприятия M_{p1} является K_5-M_{p1} , для мероприятия M_{p2} является K_3-M_{p2} , для

мероприятия M_{p3} является K_3-M_{p3} , для мероприятия M_{p4} является K_3-M_{p4} , для мероприятия M_{p5} является K_1-M_{p5} .

По результатам исследований методом экспертных оценок выполнена оптимизация трудозатрат наиболее значимых мероприятий при производстве работ по устройству подземного пространства под существующим зданием: определены оптимальные конструктивные параметры, предложены механизация ручного труда с применением малогабаритной строительной техники и оптимизация логистики строительных материалов.

Оптимизация организационно-технологических решений интегрируется в состав ПОС, таким образом совершенствуется ПОС и повышается эффективность выполнения работ при устройстве подземных сооружений под существующими зданиями. Разработанная методика представлена в виде алгоритма формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями (рисунок 3).

Заключение

1. С целью оптимизации организационно-технологических решений при устройстве подземных этажей под существующими зданиями проведен экспертный опрос среди семи экспертов для оценки важности основных мероприятий при проведении реконструкции с устройством новых подземных этажей под существующим зданием на этапе разработки

проекта и мониторинга производства работ, доказана согласованность мнений экспертов.

- Учет выделенных мероприятий способствует оптимизации организационно-технологических решений на стадиях проектирования и непосредственного проведения строительных работ при сопровождении в виде мониторинга, что приведет к

повышению качества строительных работ по реконструкции объектов с устройством дополнительных подземных пространств.

- На основе полученных результатов исследования разработана методика оптимизации элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Oleynik, P. Method of complex organizational and technological designing underground structures and services / P. Oleynik. – DOI 10.1088/1757-899X/698/6/066054 // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 6. – P. 066054.
- Оптимизация технологических решений при устройстве подземного пространства существующих зданий / Л. И. Зигангирова, И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов, Ф. Р. Шакирзянов. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.11.1528-1536 // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 11. – С. 1528–1536.
- Гайдо, А. Н. Методология выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности : дис. ... докт. тех. наук : 05.23.08 / Гайдо Антон Николаевич, 2021. – 338 с.
- Технологические и организационные аспекты реконструкции зданий / М. Н. Ершов, А. В. Ишин, П. П. Олейник, А. А. Лapidus, В. И. Теличенко, Д. К. Туманов, О. А. Фельдман // Технология и организация строительного производства. – 2014. – № 3. – С. 10–17.
- Шагиахметова, Э. И. Управление строительным проектом на основе формирования многофакторной модели эффек-

REFERENCES

- Oleynik, P. Method of complex organizational and technological designing underground structures and services / P. Oleynik. – DOI 10.1088/1757-899X/698/6/066054 // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 6. – P. 066054.
- Optimizatsiya tekhnologicheskikh reshenij pri ustrojstve podzemnogo prostranstva sushhestvuyushhikh zdaniy [Optimization of technological solutions in the construction of the underground space of existing buildings] / L. I. Zigan-girova, I. H. Galiev, R. A. Ibragimov, F. R. Shakirzyanov. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.11.1528-1536 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – Vol. 17, № 11. – P. 1528–1536.
- Gaido, A. N. Metodologiya vybora ehffektivnykh sposobov proizvodstva special'nykh rabot v gruntakh po kriteriyu tekhnologichnosti [Methodology for choosing effective methods of producing special works in soils according to the criterion of manufacturability] : dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [dissertation ... Doctor of Technical Sciences] : 05.23.08 / Gajdo Anton Nikolaevich, 2021. – 338 p.
- Tekhnologicheskie i organizatsionnye aspekty rekonstruksii zdaniy [Technological and organizational aspects of reconstruction of buildings] / M. N. Ershov, A. V. Ishin, P. P. Oleynik, A. A. Lapidus, V. I. Telichenko, D. K. Tumanov, O. A. Feldman // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva [Technology and organization of construction production]. – 2014. – № 3. – P. 10–17.
- Shagiakhmetova, E. I. Upravlenie stroitel'nyim proektom na osnove formirovaniya mnogofaktornoy modeli ehffektivnosti [Construction project management based on the formation of a multifactorial efficiency model] / E. I. Shagiakhmetova,

- O. N. Borovskikh, A. Sh. Nizamova // Vestnik ehkonomiki, prava i sotsiologii [Bulletin of Economics, Law and Sociology]. – 2020. – № 3. – P. 51–55.
- Oleynik, P. P. Metody opredeleniya prodolzhitel'nosti stroitel'stva ob'ektov [Methods for determining the duration of construction of objects] / P. P. Oleynik, V. I. Brodsky // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2012. – № 12. – P. 30–32.
- 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 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 3. – P. 21–34.
- Tikhvinsky, V. O. Ehkspertno-kvalimetricheskij podkhod k obosnovaniyu vybora innovatsij i postavshnikov oborudovaniya v sfere infokommunikatsij [Expert-qualimetric approach to substantiating the choice of innovations and equipment suppliers in the field of infocommunications] / V. O. Tikhvinsky // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences]. – 2009. – № 3. – P. 58–64.
- Mukhametzyanov, Z. R. Usloviya dostizheniya ustojchivosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve ob'ektov [Conditions for achieving sustainability of organizational and technological solutions in the construction of facilities] / Z. R. Mukhametzyanov, P. P. Oleynik. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.10.95-100 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2020. – № 10. – P. 95–100.

УДК 69

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_65

К вопросу расчета состава проектных команд в проектировании промышленных объектов

On the Issue of Calculating the Composition of Project Teams in the Design of Industrial Facilities

Лapidus 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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, lapidus58@mail.ru

Козлова Анастасия Юрьевна

Старший преподаватель кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, KozlovaAY@mgsu.ru

Kozlova Anastasia Yurievna

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, KozlovaAY@mgsu.ru

Аннотация. В данной статье раскрывается тема формирования проектных команд в проектировании промышленных объектов. Выбор темы связан с теоретическими и практическими исследованиями в области формирования организационных структур с целью повышения эффективности проектирования и проектных организаций. Проектирование является сложным и при этом творческим процессом, требующим высокого профессионализма от исполнителей. Проектная команда, осуществляющая проектирование, является структурным элементом организации и состоит из специалистов различного профиля и уровня, цель проектной команды согласуется с общими целями проектной организации и заключается в решении задач проектирования. Результаты работы проектной команды, в свою очередь, зависят от множества факторов, в том

Abstract. This article reveals the topic of the formation of project teams in the design of industrial facilities. The choice of the topic is related to theoretical and practical research in the field of formation of organizational structures in order to improve the efficiency of design and design organizations. Designing is a complex and at the same time a creative process that requires high professionalism from the performers. The project team carrying out the design is a structural element of the organization and consists of specialists of various profiles and levels, the goal of the project team is consistent with the overall goals of the project organization and consists in solving design problems. The results of the work of the project team, in turn, depend on many

Введение

В настоящее время строительство промышленных объектов имеет особую актуальность, связанную с ростом технического прогресса и необходимостью расширения ассортимента производственных площадей [1]. Проектирование таких объектов – сложный и ответственный процесс, который требует как умения и опыта в области проектирования, так и глубоких знаний в различных областях промышленности и производства.

Проектная организация, реализующая большой спектр задач, несет ответственность за результаты проектирования. Для решения поставленных перед организацией задач она должна иметь устойчивую и стабильную

числе от количественного и качественного состава проектной команды. Специфические условия формирования проектных команд продиктованы итерационным характером проектирования, необходимостью объединения специалистов отделов организации, имеющих разный уровень подготовки и разную специализацию. Существующие подходы частично решают задачи построения проектных команд и не являются универсальными. Предложенный автором подход основывается на учете характеристик реализуемых проектов, исходя из которых может быть принято решение о количественном и качественном составе проектных команд.

Ключевые слова: промышленное строительство, проектирование, проектная команда, организационная структура.

factors, including the quantitative and qualitative composition of the project team. The specific conditions for the formation of project teams are dictated by the iterative nature of the design, the need to unite specialists from departments of the organization with different levels of training and specialization. The existing approaches partially solve the problems of building project teams and are not universal. The approach proposed by the author is based on taking into account the characteristics of the projects being implemented, based on which a decision can be made on the quantitative and qualitative composition of project teams.

Keywords: industrial construction, design, project team, organizational structure.

внутреннюю систему, обладать определенной гибкостью, иметь кадровый состав и сохранять свои конкурентноспособные черты. При этом часто в управлении проектной организацией наблюдается ряд проблем, влияющих на результат проектирования, основные из которых представлены на рисунке 1.

Для решения данных проблем, повышения качества выполняемых работ с одновременным сокращением сроков проектирования необходимо применять комплексный подход к управлению проектной организацией [2].

Материалы и методы

Проектирование промышленного объекта представляет собой творческий, сложный и трудоемкий процесс

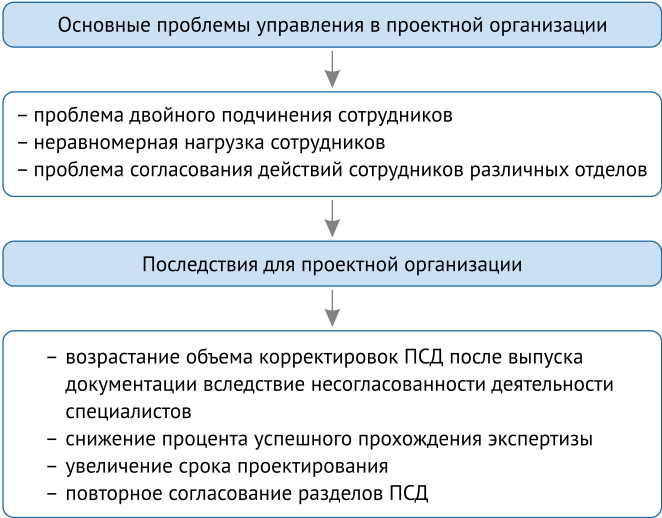


Рис. 1. Основные проблемы управления в проектной организации
Fig. 1. The main problems of management in the project organization

поиска оптимальных инженерно-технических решений в условиях неполной информации, требующий от проектировщика наличия значительного инженерного опыта и знания предметной области. Растущая важность команд формирует новые аспекты в управлении проектами: работа в проектных командах требует взаимодействия членов проектной команды. Задача проектной команды будет заключаться в синхронизации их деятельности для достижения лучшего результата [3; 4].

Проведя анализ проектных организаций, можно выделить перечень структурных единиц, представленных в большинстве организаций в том или ином виде и входящих в состав проектных команд:

- административный аппарат – директор, заведующий, заместители руководителя;
- главный инженер (1-й замдиректора);
- начальник проектного отдела (старший ГИП);
- ГИПы, главные специалисты проектов;
- руководители проектных групп;
- инженеры различных уровней.

Так как промышленное проектирование обладает рядом специфических особенностей, связанных с технологическими процессами для обеспечения производственной мощности промышленного объекта, проектная команда специалистов разных отделов формируется вокруг технологического отдела (рисунок 2). Главный технолог проекта выбирает и обосновывает технологические решения, на основании которых разрабатываются задания смежным проектным подразделениям (ГОСТ Р 56639-2015 «Технологическое проектирование промышленных предприятий»).

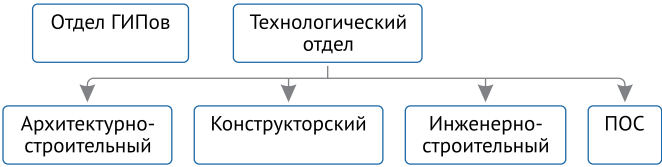


Рис. 2. Схематичное отображение структуры проектной организации
Fig. 2. Schematic representation of the structure of the project organization

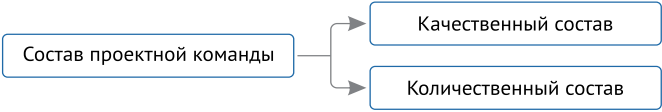


Рис. 3. Состав проектной команды
Fig. 3. The composition of the project team

Несмотря на развитие экономики и цикличность технологии проектирования, задача формирования оптимального штата сотрудников и команд для выполнения проектов не имеет однозначного решения [5]. Если рассматривать состав команд, можно выделить два основных параметра – это ее качественный и количественный составы (рисунок 3).

Расчет численности специалистов, необходимых для проектирования объекта, строится как на общепризнанных методиках, так и на практическом опыте проектных организаций. Численность и квалификация исполнителей могут быть определены на основании [6]:

- положений документов по стандартизации согласно статье 14 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2015, № 27, ст. 3953; 2021, № 1, ст. 62);
- стандартов процесса подготовки проектной документации согласно пункту 10 части 8 статьи 55.20 Градостроительного кодекса Российской Федерации (Собрание законодательства Российской Федерации, 2005, № 1, ст. 16; 2018, № 32, ст. 5133);
- норм проектирования, данных о трудоемкости объектов-аналогов;
- результатов опроса, проведенного среди не менее трех проектных организаций, специализирующихся на выполнении проектных работ, на которые подготавливается смета;
- таблиц технологического процесса выполнения проектных работ по объекту;
- продолжительности выполняемых работ, указанных в календарном плане к договору на выполнение проектных работ;
- данных о времени и количестве исполнителей определенной квалификации, принимающих участие в выполнении проектных работ.

В части определения качественного состава команды применяются данные о квалификации, опыте, образовании и др. Квалификационные требования к специалистам проектной организации устанавливаются следующими документами:

- Постановление Правительства Российской Федерации от 11 мая 2017 года № 559 «Об утверждении минимальных требований к членам саморегулируемой организации, выполняющим инженерные изыскания, осуществляющим подготовку проектной документации, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт особо опасных, технически сложных и уникальных объектов»;
- Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (утв. Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37) (ред. от 27.03.2018);
- Квалификационный справочник должностей служащих «Должности работников, занятых в научно-

исследовательских учреждениях, конструкторских, технологических, проектных, изыскательских организациях и вычислительных центрах», часть III;

- Профессиональный стандарт «Специалист по организации архитектурно-строительного проектирования»;
- Квалификационные требования к специалистам по организации строительства – статья 55.5-1 (п/п. 4-6) Градостроительного кодекса РФ и др.

В случае поиска оптимального количества участников проектирования существуют разные подходы и методики, каждая из которых имеет свои плюсы и минусы. Рассмотрим часть из них:

1. Бест-практика – методика основана на принятии чужого опыта в аналогичных организациях. Принятые правила распределения проектов среди исполнителей, количество реализуемых проектов, распределение ответственности и сроки исполнения могут быть взяты за пример и адаптированы для конкретной организации и проектной команды.

2. Факторный анализ предполагает нахождение показателя, который коррелирует с показателем численности персонала. Например, таким показателем может выступать количество свидетельств о допуске к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов [7]. В случае получения одним заявителем свидетельств на 2 и более вида работ общая численность специалистов рассчитывается по следующей формуле (1):

$$N = n + k(xn), \quad (1)$$

где N – общая численность специалистов, необходимая для получения свидетельств на 2 и более вида работ; n – минимально необходимая численность специалистов, предусмотренная требованиями к кадровому составу, установленными пунктом 1 настоящего документа; k – не менее 0,3; x – количество видов работ [5].

3. Пооперационное нормирование труда – в данном случае каждое рабочее место описано с точки зрения функций, а каждая функция – с точки зрения времени ее выполнения.

4. Расчет численности участников проектной команды происходит на основании соотношения взаимосвязанных работ (этапов, задач) и количества n соискателей (претендентов, исполнителей, партнеров) с учетом вознаграждения c_{ij} (стоимость выполнения работы) [8].

5. Согласно рекомендациям по расчету норматива трудоемкости проектирования для расчета количества специалистов как всей команды, так и специализированных

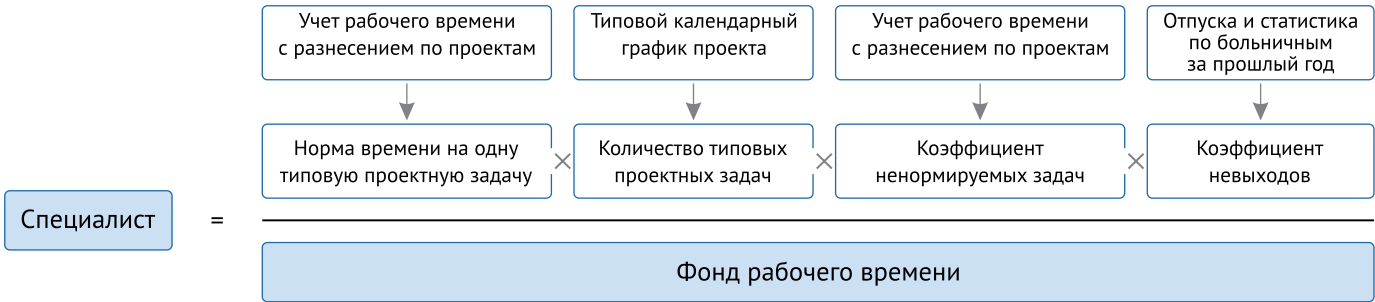


Рис. 4. Пооперационное нормирование труда
Fig. 4. Postoperative labor rationing

специалистов предлагается воспользоваться формулами 2 и 3.

Расчет общей численности проектировщиков:

$$N = \frac{T}{T_H} = \frac{C}{B \times T_H}, \quad (2)$$

где T_H – нормативная продолжительность проектирования, лет;

T – приведенная трудоемкость, человеко-год;
 C – общая стоимость проектных работ, тыс. руб.;
 B – выработка одного проектировщика в год, тыс. руб./чел.

Количество проектировщиков по специализированной части проекта:

$$N_c = \frac{T_c}{T_{nc}} = \frac{C \times P}{100 \times B_c \times T_{nc}}, \quad (3)$$

где T_{nc} – нормативная продолжительность части проекта, лет.

Таким образом, в практике проектирования строительства могут быть использованы различные варианты расчета участников проектирования, основанные на нормах, стоимости, объемах, сроках и других параметрах проекта. И хотя стоимость работ по-прежнему остается доминирующим фактором, в практике все чаще используются критерии, относящиеся к конкретному проекту, и другие критерии, относящиеся к техническим возможностям [9; 10].

Результаты

Для совершенствования процесса организации работы специалистов в проектной организации автором предложен подход к формированию проектных команд, основанный на двух основных элементах: объекте и субъекте проектирования, где объектом выступает конкретный промышленный объект, а субъектом – исполнители работ по данному конкретному промышленному объекту.

Промышленный объект имеет множество характеристик: этажность, количество пролетов, класс опасности, систему компоновки технологического оборудования, место строительства и др. Также существуют основные организационные характеристики, такие как срок и стоимость проектирования. Систематизация промышленных объектов по совокупности параметров позволит определить комплексный показатель объекта и отнести его к той или иной категории сложности (рисунок 5).

Исходя из данного подхода возникает два основных вопроса: определение комплексного показателя промышленного объекта и методика соотнесения полученного показателя объекта с уровнем проектной команды. Для определения комплексного показателя промышленного объекта предложено воспользоваться шкалой оцен-

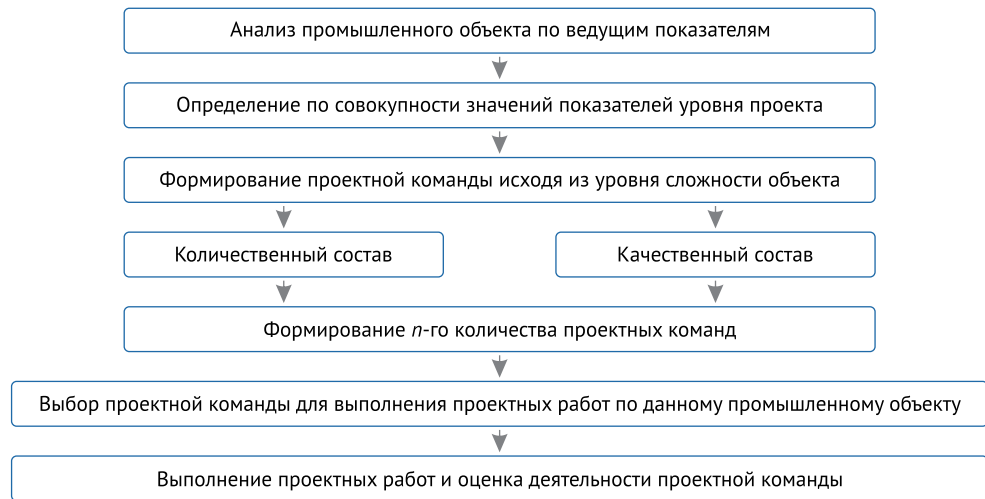


Рис. 5. Подход к формированию проектных команд в проектировании промышленных объектов
Fig. 5. Approach to the formation of project teams in the design of industrial facilities

ки параметров промышленного объекта и присвоения им уровня значимости. Следующий этап – выявление зависимостей между показателем объекта и уровнем проектной команды. Эти задачи и дальнейшая оценка эффективности проектных команд являются направлением для дальнейших исследований.

Обсуждение

Основная сложность расчета количественного и качественного состава проектных команд в проектировании объектов промышленного строительства заключается в отсутствии единой методики расчета, что связано как с характером проектирования, так и с особенностью проектных работ. Существующие ограничения, такие как уровень загруженности сотрудников, изменение системы управления организацией, длительность проектирова-

ния, влияние административных решений, не позволяют использовать один выбранный вариант расчета. Предложенный алгоритм предлагает учитывать технологические и иные характеристики промышленного объекта и формировать проектную команду для определенного объекта.

Заключение

Рассмотрение процесса проектирования промышленного объекта должно осуществляться с учетом всех параметров как объекта, так и субъекта проектирования. Отнесение объекта к тому или иному уровню позволит определить критерии проектной команды и в дальнейшем сформировать оптимальный ее состав. При этом в рамках решения локальных задач могут быть использованы рассмотренные подходы и приведенные требования к проектной команде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidus, A. A. Stroitel'stvo promyshlennykh ob'ektov v usloviyakh tekhnicheskikh i ekonomicheskikh riskov, vyzvannykh organizatsionno-tekhnologicheskimi faktorami / A. A. Lapidus, V. S. Ratomskaya, O. D. Chapidze // Stroitel'noe proizvodstvo. – 2020. – № 4. – С. 3–7.
2. Асаул, А. Н. Управление организационной эффективностью строительной компании / А. Н. Асаул, Г. И. Шишлов ; под ред. засл. строителя РФ, д-ра экон. наук, проф. А. Н. Асаула. – Санкт-Петербург : ГАСУ. – 2008. – 152 с.
3. Novel approach to multi-functional project team formation / B. Tseng, C.-C. Huang, H. W. Chu, R. R. Gung // International Journal of Project Management. – 2004. – Vol. 22, Iss. 2. – P. 147–159.
4. Пахомова, Л. А. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения / Л. А. Пахомова, А. С. Мещеряков // Системные технологии. – 2022. – № 1 (42). – С. 15–21.
5. Власова, Г. А. Методы определения численности персонала в сфере проектных услуг / Г. А. Власова, Н. В. Яковлева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2012. – № 9 (268), вып. 21. – С. 161–162.

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Stroitel'stvo promyshlennykh ob'ektov v usloviyakh tekhnicheskikh i ekonomicheskikh riskov, vyzvannykh organizatsionno-tekhnologicheskimi faktorami [Construction of industrial facilities under conditions of technical and economic risks caused by organizational and technological factors] / A. A. Lapidus, V. S. Ratomskaya, O. D. Chapidze // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. –

6. Об утверждении Методики определения стоимости работ по подготовке проектной документации (с изменениями на 8 июня 2023 года) : утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 01.10.2021 № 707/пр / Минстрой : Москва, 2023.
7. О минимально необходимых требованиях к выдаче саморегулируемыми организациями свидетельств о допуске к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, оказывающим влияние на безопасность указанных объектов : Постановление Правительства РФ от 3 февраля 2010 г. № 48 / Интернет-система Гарант, 2011.
8. Катаев, А. В. Формирование и оптимизация проектных команд: математические модели и алгоритмы / А. В. Катаев, А. В. Тычинский // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2021. – № 1 (33). – С. 57–60.
9. Kumaraswamy, M. M. Selecting sustainable teams for PPP projects / M. M. Kumaraswamy, A. M. Anvuur // Building and Environment. – 2008. – Vol. 43, Iss. 6. – P. 999–1009.
10. Zhou, Y. A dimensional model for describing and differentiating project teams / Y. Zhou, C. M. Cheung, S.-C. Hsu // International Journal of Project Management. – 2017. – Vol. 35, Iss. 6. – P. 1052–1065.

№ 4. – P. 3–7.

2. Asaul, A. N. Upravlenie organizatsionnoy effektivnost'yu stroitel'noy kompanii [Managing the organizational effectiveness of a construction company] / A. N. Asaul, G. I. Shishlov ; edited by A. N. Asaul. – St. Petersburg : GASU. – 2008. – 152 p.
3. Novel approach to multi-functional project team formation / B. Tseng, C.-C. Huang, H. W. Chu, R. R. Gung // International Journal of Project Management. – 2004. – Vol. 22, Iss. 2. –

P. 147–159.
4. Pahomova, L. A. Aspekty organizatsii projektirovaniya dlya krupnomodul'nogo domostroeniya [Aspects of the organization of design for large-module housing construction] / L. A. Pahomova, A. S. Meshcheryakov // Sistemnye tekhnologii [System technologies]. – 2022. – № 1 (42). – P. 15–21.
5. Vlasova, G. A. Metody opredeleniya chislennosti personala v sfere proektnykh uslug [Methods of determining the number of personnel in the field of project services] / G. A. Vlasova, N. V. Yakovleva // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekhnomyka i menedzhment [Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management]. – 2012. – № 9 (268), Iss. 21. – P. 161–162.
6. Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya stoimosti rabot po podgotovke proektnoy dokumentatsii (s izmeneniyami na 8 iyunya 2023 goda) [On approval of the Methodology for determining the cost of work on the preparation of project documentation (as amended on June 8, 2023)] : utv. Priказом Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 01.10.2021 № 707/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 01.10.2021 No. 707/pr] / Minstroy : Moscow, 2023.
7. O minimal'no neobkhodimyykh trebovaniyakh k vydache samoreguliruemymi organizatsiyami svidetel'stv o dopuske

УДК 69.009, 69.003

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_69

Цифровые технологии при выборе подрядчика: перспективы и вызовы

Digital Tech in Selecting Residential Contractors: Prospects and Challenges

Фахратов Мухаммет Аллазович

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, Fahratrov@mail.ru

Fakhratov Mukhammet Allazovich

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, Fahratrov@mail.ru

Аманов Расим Рамизович

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 89114415003@mail.ru

Amanov Rasim Ramizovich

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, 89114415003@mail.ru

Аннотация. Интеграция цифровых технологий в процесс выбора генерального подрядчика в жилищном строительстве становится актуальной проблемой, требующей новых подходов и решений. Настоящее исследование призвано исследовать и оценить роль современных информационных технологий, таких как Big Data, Data Analytics, искусственный интеллект и методы машинного обучения, в улучшении процесса выбора подрядчика.

Методология исследования основана на анализе традиционных методов выбора генподрядчика, выявлении их ограничений и рассмотрении потенциала цифровых инструментов для повышения эффективности принятия решений. В результате исследования выявлены ключевые аспекты, подчеркивающие значимость применения инновационных технологий для улучшения точности и объективности выбора подрядчика в строительной отрасли.

k robotam na osobo opasnykh, tekhnicheskikh slozhnykh i unikal'nykh ob'ektakh kapital'nogo stroitel'stva, okazyvayushhim vliyaniye na bezopasnost' ukazannykh ob'ektov [On the minimum necessary requirements for the issuance by self-regulating organizations of certificates of admission to work on especially dangerous, technically complex and unique capital construction facilities that affect the safety of these facilities] : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 3 fevralya 2010 g. № 48 [Decree of the Government of the Russian Federation dated February 3, 2010 No. 48] / Internet-sistema Garant [Internet system Garant], 2011.

8. Kataev, A. V. Formirovanie i optimizatsiya proektnykh komand: matematicheskie modeli i algoritmy [Formation and optimization of project teams: mathematical models and algorithms] / A. V. Kataev, A. V. Tychinsky // Vestnik Taganrogskogo instituta upravleniya i ekhnomyki [Bulletin of the Taganrog Institute of Management and Economics]. – 2021. – № 1 (33). – P. 57–60.
9. Kumaraswamy, M. M. Selecting sustainable teams for PPP projects / M. M. Kumaraswamy, A. M. Anvuur // Building and Environment. – 2008. – Vol. 43, Iss. 6. – P. 999–1009.
10. Zhou, Y. A dimensional model for describing and differentiating project teams / Y. Zhou, C. M. Cheung, S.-C. Hsu // International Journal of Project Management. – 2017. – Vol. 35, Iss. 6. – P. 1052–1065.

Основное внимание уделено проблемам, таким как необходимость обучения персонала, обеспечение безопасности данных и гарантирование доступности технологий для всех участников отрасли. Изучение успешных кейсов интеграции цифровых технологий в процесс выбора генерального подрядчика позволяет выделить ключевые уроки, которые становятся отправной точкой для разработки стратегий, направленных на оптимизацию процесса выбора подрядчика и повышение эффективности жилищного строительства.

Отсутствие реальных примеров успешной интеграции цифровых технологий в данном контексте является одним из ключевых выводов исследования. Это подчеркивает актуальность и важность дальнейших исследований и разработок в области использования информационных технологий для оптимизации процесса выбора подрядчика в жилищном строительстве.

Ключевые слова: интеграция цифровых технологий, выбор

В России и за рубежом традиционные методы выбора генерального подрядчика имеют свои сходства и различия.

Традиционные методы в России

- **Закрытые конкурсы и тендеры.** Обычно в России при выборе генерального подрядчика используется система закрытых конкурсов или тендеров, где заказчик самостоятельно определяет список подрядчиков, получающих доступ к участию в конкурсе. Это может быть связано с предварительной оценкой рейтинга подрядчиков или с учетом собственных контактов заказчика.
- **Оценка по стоимости.** Одним из основных критериев выбора генподрядчика в России является цена предложения. Часто заказчики ориентируются на наименьшую стоимость, что может приводить к предпочтению более дешевых, но не всегда наилучших вариантов.
- **Опыт и портфолио.** Заказчики также учитывают опыт и портфолио выполненных проектов при выборе подрядчика. Однако этот критерий может быть менее объективным из-за ограниченного доступа к информации или из-за предпочтения отдельных компаний [3; 4].

Традиционные методы за рубежом

- **Открытые конкурсы и RFP (Request for Proposal).** Во многих странах за рубежом практикуется использование более открытых и прозрачных систем выбора генерального подрядчика. Это включает в себя более широкий доступ к участию в конкурсе и принятие предложений от различных подрядчиков, основанное не только на стоимости, но и на других критериях, таких как опыт, техническая компетенция, репутация и предложенные инновации.
- **Оценка по критериям качества.** За рубежом больше внимания уделяется не только цене, но и качеству предложения. Заказчики оценивают не только стоимость, но и техническую компетенцию, план работ, предложенные инновации, сроки выполнения, квалификацию персонала и прочие критерии.
- **Использование технологий.** За рубежом также чаще используются цифровые платформы и инструменты для проведения тендеров и анализа предложений, что позволяет более объективно оценивать предложения подрядчиков.

Однако стоит отметить, что подходы могут различаться не только между странами, но и в зависимости от конкретных заказчиков и специфики отдельных проектов [5].

Традиционные методы выбора генерального подрядчика могут иметь определенные ограничения и проблемы, которые с цифровыми технологиями могут быть решены:

- **Ограниченный доступ к информации.** Традиционные методы могут ограничиваться доступом к полной информации о прошлых работах и рейтинге подрядчиков. Цифровые платформы позволяют собирать и анализировать большие объемы данных о прошлых проектах, репутации компаний и их результативности.

На основе собранной информации и анализа существующих цифровых инструментов были проведены подробный анализ и оценка потенциала этих технологий в процессе выбора генерального подрядчика для жилищного строительства. Это включало в себя оценку возможностей цифровых решений для оптимизации процесса, повышения прозрачности и эффективности выбора.

4. Методы анализа и обработки данных.

Для анализа собранных данных и оценки эффективности цифровых технологий были использованы методы статистического анализа, а также качественного и количественного сравнения результатов.

Результаты

Роль и важность выбора генерального подрядчика в жилищном строительстве

Выбор генерального подрядчика является ключевым этапом в жилищном строительстве, определяющим успех проекта во многих аспектах. Важность этого решения простирается на все этапы процесса и имеет множество аспектов:

- **Качество выполнения работ.** Выбор генерального подрядчика напрямую влияет на качество реализации проекта. От опыта и компетенций подрядчика зависит, насколько профессионально и качественно будут выполнены строительные работы, а также соответствие результатов ожиданиям и требованиям заказчика.
- **Соблюдение сроков и бюджета.** Компетентный генеральный подрядчик обладает не только опытом, но и умением эффективно планировать и управлять ресурсами. Это важно для соблюдения установленных сроков и бюджета проекта, что в конечном итоге влияет на удовлетворенность заказчика и успешное завершение строительства.
- **Репутация и надежность.** Выбор подрядчика с безупречной репутацией и надежностью в исполнении обязательств минимизирует риски непредвиденных ситуаций и неполадок в процессе строительства. Это также способствует укреплению доверия со стороны инвесторов и клиентов.
- **Управление рисками.** Профессиональный подрядчик обладает навыками управления рисками, что позволяет минимизировать вероятность возникновения проблемных ситуаций и устранять их эффективно, не допуская значительных перебоев в работе.
- **Инновации и технологический прогресс.** Выбор генерального подрядчика, который внедряет современные технологии и инновации, способствует улучшению качества и эффективности строительства, что ведет к оптимизации процессов и улучшению конечного результата [1].

Традиционные методы выбора генподрядчика и их ограничения

Традиционные методы выбора генерального подрядчика включают в себя проведение тендеров, аукционов, предложений от компаний и оценку их предыдущих проектов. Однако эти методы часто имеют ограничения, такие как ограниченная способность учитывать множество критериев одновременно, субъективные оценки и человеческие ошибки в процессе принятия решений [2].

генерального подрядчика, организация строительства, Big Data, Data Analytics, искусственный интеллект, машинное обучение,

Abstract. The integration of digital technologies into the process of selecting a general contractor in housing construction has become a pressing issue, requiring new approaches and solutions. This study aims to investigate and assess the role of modern information technologies, such as Big Data, Data Analytics, artificial intelligence, and machine learning, in improving the contractor selection process.

The research methodology is based on an analysis of traditional methods for selecting contractors, identifying their limitations, and examining the potential of digital tools to enhance decision-making efficiency. The study reveals key aspects emphasizing the importance of applying innovative technologies to enhance the accuracy and objectivity of contractor selection in the construction industry.

Attention is primarily given to issues such as the need for staff training, ensuring data security, and guaranteeing technology ac-

Введение

Цифровые технологии стали важным аспектом современного строительства. В последние десятилетия они проникают в различные сферы отрасли, значительно изменяя способы работы и управления проектами. Одной из ключевых областей применения цифровых инструментов стал процесс выбора генерального подрядчика для жилищного строительства.

Актуальность интеграции цифровых технологий в строительную отрасль

В современной строительной отрасли процесс выбора генерального подрядчика представляет собой сложную задачу, учитывающую множество различных критериев. Эти критерии включают в себя не только цену предложения, но и опыт компании, репутацию, качество предыдущих проектов, сроки выполнения работ, доступность ресурсов и другие параметры. Учет всех этих факторов и их взаимосвязь делают процесс выбора генподрядчика трудоемким и сложным для ручного анализа.

В традиционных методах выбора генерального подрядчика приходится сталкиваться с ограничениями в учете всех критериев одновременно. Ручные расчеты и оценки, как правило, не позволяют эффективно учесть все аспекты при выборе подрядчика, что может привести к принятию решений, основанных на ограниченной информации или субъективных оценках.

Именно здесь цифровые технологии играют решающую роль. Их применение позволяет объединить и анализировать огромные объемы данных, связанных с качеством, прошлыми проектами, рейтингами и репутацией компаний-подрядчиков. Автоматизация процесса позволяет учесть множество критериев одновременно, а алгоритмы машинного обучения и анализа данных помогают выявить паттерны и зависимости между различными факторами, что обеспечивает более точные и обоснованные решения при выборе генерального подрядчика.

Таким образом, интеграция цифровых технологий становится крайне актуальной, поскольку позволяет преодолеть ограничения традиционных методов, предоставляя заказчикам более полную и объективную картину при принятии решений о выборе генерального подрядчика в строительной отрасли.

автоматизация организации строительства.

cessibility for all industry participants. Examining successful case studies of integrating digital technologies into the contractor selection process helps extract key lessons, serving as a starting point for developing strategies aimed at optimizing the contractor selection process and enhancing the efficiency of housing construction.

The absence of real examples of successful integration of digital technologies in this context is one of the study's key findings. This underscores the relevance and importance of further research and development in utilizing information technologies to optimize the contractor selection process in housing construction.

Keywords: digital technology integration, general contractor selection, construction organization, Big Data, Data Analytics, artificial intelligence, machine learning, construction organization automation.

Цель и задачи исследования

Цель настоящей статьи заключается в анализе перспектив интеграции цифровых технологий в процесс выбора генерального подрядчика для жилищного строительства. Для достижения этой цели ставятся следующие задачи:

- проанализировать существующие методы выбора генерального подрядчика и их ограничения;
- изучить потенциал цифровых технологий для оптимизации процесса выбора;
- выявить преимущества и вызовы интеграции цифровых инструментов в данной сфере;
- предложить рекомендации для эффективной практической реализации цифровых технологий при выборе генерального подрядчика в жилищном строительстве.

Цифровые технологии становятся неотъемлемой частью строительной отрасли, и этот исследовательский проект нацелен на понимание того, как их интеграция может существенно улучшить процесс выбора генерального подрядчика, а также на выявление факторов, влияющих на успешную реализацию этого подхода.

Материалы и методы исследования

1. Обзор литературы и анализ существующих методов выбора генподрядчика.

Для начала исследования был проведен обзор академических и практических источников, касающихся выбора генерального подрядчика в строительной отрасли. Этот этап включал в себя изучение научных статей, журналов и книг, а также анализ существующих методик и подходов, используемых при выборе подрядчика для жилищного строительства.

2. Сбор данных и case study.

Для получения практической информации о применении цифровых технологий в выборе генерального подрядчика были проведены интервью с представителями строительных компаний и заказчиками жилищных проектов. Это позволило собрать данные о текущих практиках, вызовах и перспективах использования цифровых инструментов в данной сфере.

3. Анализ цифровых технологий и их потенциала в выборе генподрядчика.

- Субъективность в оценке. Решения, принимаемые в процессе выбора генерального подрядчика по традиционным методам, могут быть субъективными и зависеть от личного опыта или предпочтений заказчика. Цифровые технологии, такие как алгоритмы машинного обучения и системы прогнозирования, могут предоставлять более объективную оценку и рекомендации на основе большого объема данных и критериев.
- Ограниченная эффективность анализа. При традиционных методах анализ данных, особенно при учете большого количества факторов и критериев, может быть затруднительным. Цифровые инструменты позволяют проводить более точный и систематический анализ множества параметров и факторов, что способствует более основательному и обоснованному выбору подрядчика.
- Ограниченная прозрачность. Традиционные методы могут не обеспечивать достаточной прозрачности в процессе принятия решений при выборе подрядчика. Использование цифровых платформ и аналитики предоставляет более прозрачный и понятный процесс выбора, что способствует улучшению доверия и уменьшению вероятности коррупции или необоснованных предпочтений [6; 7; 8].

Использование цифровых технологий в процессе выбора генерального подрядчика может значительно улучшить эффективность, объективность и прозрачность этого процесса, предоставляя более точные и обоснованные рекомендации и решения заказчикам.

Обзор цифровых технологий и их потенциала для улучшения процесса выбора

Цифровые технологии представляют собой перспективное решение для улучшения процесса выбора генерального подрядчика в жилищном строительстве. Автоматизация, анализ больших данных, использование алгоритмов машинного обучения и системы прогнозирования способствуют более объективной оценке кандидатов с учетом множества параметров, что снижает вероятность ошибок и обеспечивает более точный выбор подрядчика [9].

Big Data и искусственный интеллект (ИИ) с машинным обучением (МО) – это ключевые технологии, которые можно использовать для сбора и анализа данных о прошлых проектах подрядчиков и создания системы оценки их работы. Давайте рассмотрим их более подробно.

Big Data и Data Analytics

Процесс автоматизации оценки подрядчиков с использованием Big Data и Data Analytics начинается со сбора данных [10]. Информация может быть получена из различных источников, включая:

- *Специализированные порталы и платформы для строительных компаний:* например, такие ресурсы, как «Stroyka.Ru», «Rusprofile», «RBC.Ru» и другие, предоставляют информацию о строительных компаниях, их рейтингах, финансовом положении, актуальных проектах и отзывах клиентов.
- *Государственные реестры и базы данных:* российские государственные реестры предоставляют ин-

формацию о зарегистрированных компаниях, включая данные о статусе, финансах и лицензиях.

- *Обратная связь и отзывы:* некоторые ресурсы, включая ранее упомянутые порталы, также предоставляют возможность для клиентов оставлять отзывы и комментарии о работе подрядчиков.
- *Профессиональные сообщества и ассоциации:* они могут предоставлять информацию и рейтинги о строительных компаниях на основе их активности в профессиональных сообществах и качестве выполненных работ.
- *Бизнес-аналитика и рейтинговые агентства:* некоторые компании специализируются на сборе данных о бизнесе, включая строительную отрасль, и предоставляют аналитику и рейтинги по различным критериям эффективности и надежности подрядчиков.

Когда данные собраны, следующий шаг – анализ и обработка информации. Data Analytics помогает анализировать эти данные, выявлять паттерны, тренды и важные метрики, которые могут быть использованы для оценки эффективности подрядчиков. Этапы включают в себя:

- Очистка и подготовка данных: данные проходят через этап очистки, где удаляются ошибочные записи, заполняются пропущенные значения и исправляются неточности.
- Выбор критериев оценки: задаются критерии, по которым будет производиться оценка подрядчиков, такие как качество работ, соблюдение сроков, репутация и другие факторы [11].

После этого используются алгоритмы Machine Learning для создания модели оценки, которая проводит расчеты критериев для каждого подрядчика на основе собранных данных. Эта модель может учитывать вес каждого критерия и делать оценку эффективности подрядчика [12].

Расчет критериев:

- Программы используют предварительно определенные критерии для расчета эффективности подрядчика.
- Каждый критерий может быть взвешен с использованием математических моделей или статистических методов для оценки значимости каждого параметра.
- Данные подрядчиков анализируются и сравниваются по заданным критериям.
- По результатам анализа формируется рейтинг или оценка каждого подрядчика, что помогает заказчику принять решение о выборе наилучшего подрядчика для своего проекта.

Таким образом, процесс автоматизированной оценки подрядчиков с использованием Big Data и Data Analytics включает в себя сбор, обработку и анализ данных для создания объективной системы оценки и выбора наилучшего подрядчика.

Применение искусственного интеллекта и методов машинного обучения

Основной упор делается на создание и обучение моделей (МО и ИИ), которые способны извлекать знания из данных, принимать решения и делать прогнозы.

Принцип действия ориентирован на создание алгоритмов и моделей, которые могут «учиться» на данных и применять полученные знания для решения задач без явного программирования. Здесь используются методы обучения с учителем и без учителя, нейронные сети и другие алгоритмы для создания моделей, способных делать прогнозы, классифицировать данные или выполнять другие задачи [13].

Таким образом, Big Data и Data Analytics сконцентрированы на обработке данных для извлечения полезной информации, в то время как ИИ и МО фокусируются на создании моделей, способных учиться на этих данных и делать прогнозы без явного программирования.

Применение искусственного интеллекта и методов машинного обучения в выборе генерального подрядчика в жилищном строительстве означает создание и обучение моделей, которые могут использовать данные о прошлой деятельности подрядчиков для прогнозирования и оценки их эффективности, а именно:

1. Методы обучения:

- Обучение с учителем (Supervised Learning). Модели обучаются на помеченных данных, используя информацию о прошлой эффективности подрядчиков (входные данные) и соответствующие им результаты (целевые переменные). Это позволяет создавать модели для прогнозирования, классификации или ранжирования подрядчиков.
- Обучение без учителя (Unsupervised Learning). Модели анализируют немеченные данные для выявления структуры или паттернов в информации, что может помочь в кластеризации подрядчиков по сходству или выделении ключевых характеристик.
- Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning). Этот метод связан с анализом действий подрядчика и их воздействием на результаты. Модели учатся, принимая во внимание положительные или отрицательные реакции на действия, что помогает подрядчику улучшать свою эффективность [14; 15].

2. Алгоритмы и модели:

- Нейронные сети – это модели, которые имитируют функционирование человеческого мозга и состоят из нейронов, объединенных в сложные сети. Они обучаются на данных, находя закономерности и паттерны, что позволяет делать прогнозы на основе этого обучения. Нейронные сети могут быть эффективны для анализа больших объемов данных о прошлой деятельности подрядчиков, выявления сложных взаимосвязей и прогнозирования эффективности на основе изученных паттернов [16].
- Деревья решений – это модели, представляющие собой структуру в виде дерева с решающими узлами и листьями. Они разбивают данные на более мелкие группы на основе определенных признаков. Деревья решений могут быть полезны для принятия решений о выборе подрядчика на основе конкретных характеристик и критериев, таких

как качество работ, сроки выполнения и финансовые показатели [17].

- Метод опорных векторов (SVM) ищет оптимальную разделяющую гиперплоскость между различными классами данных. Он ищет наилучшую линию или поверхность, которая разделяет данные на основе их характеристик. SVM может быть полезен для классификации подрядчиков на основе их прошлой деятельности, разделяя их по критериям эффективности и качества работы.

Искусственный интеллект и методы машинного обучения могут рассматриваться как инструменты в рамках общего подхода к обработке больших объемов данных и их анализу. Они дополняют друг друга:

- Big Data и Data Analytics: основной фокус на обработке, хранении и анализе больших объемов данных для выявления закономерностей и понимания данных.
- ИИ и МО: позволяют создавать модели, которые учатся на этих данных и делают прогнозы или принимают решения на основе обучения.

Вместе они образуют мощный инструмент для анализа данных. Методы МО и ИИ используются для работы с данными, включая Big Data, для построения моделей, способных делать прогнозы и выявлять паттерны в данных.

Обсуждение

Вызовы интеграции цифровых технологий

1. Обучение персонала и преодоление технологических барьеров.

Интеграция цифровых технологий в выбор генерального подрядчика встречает вызовы, связанные с необходимостью обучения персонала.

Проблемы заключаются в следующем.

1) Необходимость переориентации навыков.

Интеграция цифровых технологий в процесс выбора генерального подрядчика требует от сотрудников новых навыков и компетенций. Многие работники в строительной отрасли могут иметь ограниченные или устаревшие навыки в области работы с цифровыми инструментами и программным обеспечением. Это создает проблему адаптации к новым рабочим процессам и препятствует эффективному использованию современных технологий в процессе выбора подрядчика.

2) Недостаток образовательных программ.

Отсутствие соответствующих образовательных программ и тренингов для персонала в сфере цифровых технологий в строительстве является серьезным препятствием. Разработка и внедрение обучающих курсов, охватывающих широкий спектр навыков – от основ использования программного обеспечения до аналитических методов работы с данными, является сложной задачей.

3) Сопротивление изменениям.

Часто сотрудники могут испытывать сопротивление по отношению к новым технологиям из-за страха перед изменениями или недостаточной уверенности в своих способностях освоить новые навыки. Это может привести к увеличению времени,

необходимого для внедрения цифровых инструментов, а также замедлению процесса обучения и адаптации персонала.

4) Финансовые ограничения.

Обучение персонала и внедрение новых технологий часто сопряжено с дополнительными затратами на образовательные программы и закупку необходимых программных и аппаратных средств. Это может стать препятствием для компаний, особенно для малых и средних предприятий с ограниченными бюджетами [18].

2. Безопасность данных и управление киберрисками.

С интеграцией цифровых технологий в процесс выбора подрядчика возникает необходимость в обеспечении безопасности данных. Управление киберрисками становится актуальным аспектом, поскольку цифровые инструменты оперируют чувствительной информацией о проектах, подрядчиках и финансах. Вирусы, вредоносное ПО, утечка данных, атаки на серверы, взломы, фишинг, социальная инженерия и несанкционированный доступ – это лишь несколько примеров киберугроз, с которыми может столкнуться процесс выбора подрядчика при интеграции цифровых технологий. Необходимы строгая политика безопасности данных, шифрование информации, регулярные аудиты безопасности, а также обучение персонала по защите данных от киберугроз.

3. Доступность технологий для всех участников отрасли.

Одним из ключевых вызовов является обеспечение доступности цифровых технологий для всех участников строительной отрасли. Неравномерность доступа к современным технологиям и высокие издержки на внедрение могут стать препятствием для широкого использования цифровых инструментов при выборе подрядчика. Необходимо разработать стратегии, направленные на снижение барьеров доступности и обеспечение равных возможностей для всех участников отрасли в использовании новейших технологий [19].

Примеры успешной интеграции цифровых технологий в строительстве

- Skanska USA (Skanska): Skanska, одна из крупнейших компаний в строительной индустрии, использует Big Data и Data Analytics для повышения эффективности и улучшения процессов управления проектами. Они собирают и анализируют данные о производственной деятельности, расходах, сроках выполнения работ и других аспектах проекта для принятия более информированных решений [20].
- Mortenson Construction: компания Mortenson Construction использует Big Data для оптимизации процесса строительства. Они собирают данные с множества источников, включая датчики на строительной площадке, информацию о производственных процессах и ресурсах, чтобы улучшить управление ресурсами и сократить время выполнения проектов [21].
- Bentley Systems: Bentley Systems предоставляет решения для строительной отрасли, которые включают в себя аналитику данных. Их программные продукты позволяют проводить анализ данных в реальном

времени, оптимизировать процессы проектирования и управления строительством, а также улучшать принятие решений на основе данных [22].

- Predictive Maintenance (предиктивное обслуживание): крупные строительные компании используют алгоритмы машинного обучения для предварительного прогнозирования технического обслуживания оборудования. Анализируя данные о работе оборудования, такие системы могут предсказать возможные сбои или поломки, что помогает в планировании регулярного обслуживания и в предотвращении непредвиденных простоев.
- Управление проектами: некоторые компании используют ИИ для улучшения управления проектами. Алгоритмы анализируют данные о выполнении задач, временных рамках, бюджете и ресурсах, предоставляя рекомендации для оптимизации расписания работ и выделения ресурсов для улучшения эффективности.
- Контроль качества: системы машинного обучения применяются для контроля качества на стройплощадках. Алгоритмы анализируют данные, полученные от датчиков или фотографий, чтобы автоматически выявлять дефекты или несоответствия в работе и качестве строительных материалов.
- Проектирование и оптимизация: ИИ используется для создания оптимизированных дизайнов и планирования проектов. Алгоритмы обрабатывают данные и предоставляют рекомендации по оптимизации дизайна или процесса строительства для повышения эффективности.

Примеры успешной интеграции цифровых технологий в выбор генподрядчика

Отсутствие реальных примеров успешной интеграции цифровых технологий в выбор генподрядчика является одним из ключевых выводов исследования. Этот факт подчеркивает не только актуальность темы, но и поднимает вопрос о необходимости дальнейших исследований и разработок в данной области. Отсутствие убедительных практических примеров успешного использования цифровых инструментов при выборе генподрядчика указывает на необходимость более глубокого изучения и разработки эффективных стратегий интеграции цифровых технологий для повышения эффективности этого процесса в строительной отрасли. Это также может послужить стимулом для будущих исследований с целью выявления и анализа конкретных случаев успешного внедрения таких технологий, что приведет к разработке более проработанных и практически применимых моделей интеграции в выборе генподрядчика.

Цифровые технологии стремительно изменяют ландшафт строительной индустрии, предоставляя новые возможности для оптимизации процессов и улучшения принятия решений. Роль генерального подрядчика в жилищном строительстве является критической, и точность его выбора влияет на успех проекта. Несмотря на традиционные методы выбора, они часто ограничены субъективностью и недостаточной точностью. В связи с этим исследование в области интеграции цифровых технологий становится все более актуальным и перспективным для

повышения эффективности и объективности процесса выбора генерального подрядчика.

Заключение

Проанализировав результаты исследования, можно выделить несколько ключевых аспектов, которые подчеркивают важность интеграции цифровых технологий в данную отрасль. Подробнее рассмотрим основные выводы, касающиеся традиционных методов, преимуществ цифровых технологий, вызовов и перспектив развития этой области.

- Актуальность и перспективы: развитие цифровых инструментов приводит к изменениям в строительной индустрии. Интеграция этих технологий в выбор генерального подрядчика предоставляет новые возможности для улучшения точности, эффективности и объективности данного процесса.
- Традиционные методы и их ограничения: существующие методы выбора генподрядчика склонны к субъективным оценкам, ограничены в точности и могут игнорировать важные факторы при принятии решений. Это подчеркивает необходимость внедрения цифровых технологий для более объективного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Галкина Е. В. Анализ надежности претендентов и их курсных предложений для тендеров на выполнение строительных работ / Е. В. Галкина // Строительство: наука и образование. – 2016. – № 2. – С. 26–31.
- Решетова, А. Ю. Законодательные и научные аспекты выбора генеральных подрядных организаций для выполнения строительных работ по объектам капитального строительства / А. Ю. Решетова. – DOI <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.1.3> // Строительство: наука и образование. – 2022. – № 12 (1). – С. 38–48.
- Кузнецов, В. П. Повышение эффективности отбора подрядных организаций как фактор снижения стоимости строительства / В. П. Кузнецов, Я. С. Поташник // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. – 2012. – № 28. – С. 411–414.
- Шаринов, М. И. Критерии выбора генерального подрядчика на строительство объекта / М. И. Шаринов // Молодой ученый. – 2020. – № 49 (339). – С. 75–77. – URL: <https://moluch.ru/archive/339/76044/> (дата обращения: 15.11.2023).
- Contractor Selection for Construction Projects Using Consensus Tools and Big Data / O. Taylan, M. R. Kabli, C. Porcel, E. Herrera-Viedma. – DOI 10.1007/s40815-017-0312-3 // International Journal of Fuzzy Systems. – 2018. – Vol. 20 (21). – P. 1267–1281.
- Ekambaram, P. Contractor Selection for Design Build Projects / P. Ekambaram, M. M. Kumaraswamy. – DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:5(331) // Journal of Construction Engineering and Management. – 2000. – Vol. 126, № 5.
- A fuzzy framework for contractor selection on IPD projects / Z. Malaeb, M. ElMenshawy, A. Badreddine, O. Azakir, F. Hamzeh. – DOI doi.org/10.24928/2023/0107 // Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31). – 2023. – P. 276–284.
- Achieving optimal contractor selection: an AI-driven particle swarm optimization method / M. N. Sholeh, M. W. Khosiin, A. Nurdiana, S. Fauziah. – DOI 10.14710/potensi.2023.19629 // Jurnal Proyek Teknik Sipil. – 2023. – Vol. 6, № 2. – P. 36–42.
- Kaufmann, U. H. Data Analytics for Organizational Development / U. H. Kaufmann, A. B. C. Tan // Statistics

- Преимущества цифровых технологий: применение Big Data, Data Analytics, ИИ и МО в процессе выбора подрядчика позволяет использовать большие объемы данных для точных прогнозов, управления рисками и повышения эффективности.

- Использование данных и принятие решений: анализ больших объемов данных позволяет принимать обоснованные и информированные решения, что способствует оптимизации процесса выбора подрядчика и минимизации рисков.

- Вызовы и проблемы: несмотря на потенциал цифровых технологий, их внедрение сталкивается с проблемами, такими как обучение персонала, обеспечение безопасности данных и доступность технологий для всех участников отрасли.

Эти результаты указывают на важность дальнейших исследований и разработок в области цифровизации процесса выбора генерального подрядчика в строительстве, что открывает новые горизонты для повышения эффективности и точности принятия решений в этой области.

- Reference Online. – New York : Wiley, 2023. – P. 1–8.
- Franks, B. Taming The Big Data Tidal Wave: Finding Opportunities in Huge Data Streams with Advanced Analytics / B. Franks. – USA : John Wiley and Sons Business Series, 2012. – 336 p.
- Фрэнкс, Б. Революция в аналитике. Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики / Б. Фрэнкс. – Москва : Альпина Паблишер, 2016. – 320 с.
- Горохов, А. В. Искусственный интеллект / А. В. Горохов, В. А. Мартынов, В. А. Гаврин // Скиф. – 2022. – № 4 (68). – С. 159–167. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-2> (дата обращения: 22.11.2023).
- Методы обучения в системах искусственного интеллекта / О. А. Мелихова, А. С. Григораш, С. В. Джамбинов, В. С. Чумичев, А. Б. Гайдуков // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 11 (47). – С. 19–29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-obucheniya-v-sistemah-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 22.11.2023).
- Machine Learning: An Introduction to Reinforcement Learning / S. A. Fayaz, S. Sidiq, M. Zaman, M. A. Butt. – DOI 10.1002/9781119776499.ch1 // Machine Learning and Data Science. – Editors: P. Agrawal, C. Gupta, A. Sharma, V. Madaan, N. Joshi. – New York : Wiley, 2022. – P. 1–22.
- Тимохин, М. Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции / М. Ю. Тимохин, В. Ю. Шаранин // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 10 (106). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-teoriya-prinyatiya-resheniy-sovremennye-tendentsii> (дата обращения: 22.11.2023).
- Протас, Р. В. Метод активного обучения «дерево решений» / Р. В. Протас // Инновационная наука. – 2022. – № 4-1. – С. 51–52. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-aktivnogo-obucheniya-derevo-resheniy> (дата обращения: 22.11.2023).
- Ходжаева, Д. Ф. Проблемы, с которыми можно столкнуться при внедрении искусственного интеллекта / Д. Ф. Ходжаева, А. А. Омонов, Ф. У. Туғизбоев // Наука, техника и образование. – 2021. – № 5 (80). – С. 23–26. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problems-s-kotorymi-mozhno-stolknutsya-pri-vnedrenii-iskusstvennogo-intellekta> (дата

обращения: 22.11.2023).

18. Колесникова, Г. И. Искусственный интеллект: проблемы и перспективы / Г. И. Колесникова // Видеонаука. – 2018. – № 2 (10). – С. 34–39. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 22.11.2023).

19. Skanska USA. Инновации в Сканска USA : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.skanska.com/about-skanska/>

REFERENCES

1. Galkina E.V. Analiz nadezhnosti pretendentov i ikh konkursnykh predlozhenij dlya tenderov na vypolnenie stroitel'nykh rabot [Analysis of the reliability of applicants and their bids for tenders for construction work] / E. V. Galkina // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2016. – № 2. – P. 26–31.

2. Reshetova, A. Yu. Zakonodatel'nye i nauchnye aspekty vybora general'nykh podryadnykh organizatsij dlya vypolneniya stroitel'nykh rabot po ob'ektam kapital'nogo stroitel'stva [Legislative and scientific aspects of the choice of general contracting organizations to perform construction work on capital construction projects] / A. Yu. Reshetova. – DOI <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.1.3> // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2022. – № 12 (1). – P. 38–48.

3. Kuznetsov, V. P. Povyshenie ehffektivnosti otbora podryadnykh organizatsij kak faktor snizheniya stoimosti stroitel'stva [Improving the efficiency of selection of contractors as a factor in reducing the cost of construction] / V. P. Kuznetsov, Ya. S. Potashnik // Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. G. Belinskogo [Proceedings of the Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. – 2012. – № 28. – P. 411–414.

4. Sharipov, M. I. Kriterii vybora general'nogo podryadchika na stroitel'stvo ob'ekta [Criteria for Selecting a General Contractor for Construction Projects] / M. I. Sharipov // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2020. – № 49 (339). – P. 75–77. – URL: <https://moluch.ru/archive/339/76044/> (date of application: 15.11.2023).

5. Contractor Selection for Construction Projects Using Consensus Tools and Big Data / O. Taylan, M. R. Kabli, C. Porcel, E. Herrera-Viedma. – DOI 10.1007/s40815-017-0312-3 // International Journal of Fuzzy Systems. – 2018. – Vol. 20 (21). – P. 1267–1281.

6. Ekambaram, P. Contractor Selection for Design Build Projects / P. Ekambaram, M. M. Kumaraswamy. – DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:5(331) // Journal of Construction Engineering and Management. – 2000. – Vol. 126, № 5.

7. A fuzzy framework for contractor selection on IPD projects / Z. Malaeb, M. ElMenshawy, A. Badreddine, O. Azakir, F. Hamzeh. – DOI doi.org/10.24928/2023/0107 // Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31). – 2023. – P. 276–284.

8. Achieving optimal contractor selection: an AI-driven particle swarm optimization method / M. N. Sholeh, M. W. Khosin, A. Nurdiana, S. Fauziyah. – DOI 10.14710/potensi.2023.19629 // Jurnal Proyek Teknik Sipil. – 2023. – Vol. 6, № 2. – P. 36–42.

9. Kaufmann, U. H. Data Analytics for Organizational Development / U. H. Kaufmann, A. B. C. Tan // Statistics Reference Online. – New York : Wiley, 2023. – P. 1–8.

10. Franks, B. Taming The Big Data Tidal Wave: Finding Opportunities in Huge Data Streams with Advanced Analytics / B. Franks. – USA : John Wiley and Sons Business Series, 2012. – 336 p.

11. Franks, B. Revolyutsiya v analitike. Kak v ehpokhu Big Data uluchshit' vash biznes s pomoshh'yu operatsionnoj analitiki

innovations (дата обращения: 14.11.2023).

20. Mortenson Construction. Технологии Mortenson Construction : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.mortenson.com/technologies> (дата обращения: 14.11.2023).

21. Bentley Systems. Решения Bentley Systems : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.bentley.com/en/solutions> (дата обращения: 14.11.2023).

[A revolution in analytics. How to improve your business with the help of operational analytics in the era of Big Data] / B. Franks. – Moscow : Alpina Publisher, 2016. – 320 p.

12. Gorohov, A. V. Iskusstvennyj intellekt [Artificial intelligence] / A. V. Gorokhov, V. A. Martynov, V. A. Gavrin // Skif. – 2022. – № 4 (68). – P. 159–167. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-2> (date of application: 22.11.2023).

13. Metody obucheniya v sistemakh iskusstvennogo intellekta [Teaching methods in artificial intelligence systems] / O. A. Melikhova, A. S. Grigorash, S. V. Dzhambinov, V. S. Chumichev, A. B. Gaidukov // Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike [Technical sciences – from theory to practice]. – 2015. – № 11 (47). – P. 19–29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-obucheniya-v-sistemah-iskusstvennogo-intellekta> (date of application: 22.11.2023).

14. Machine Learning: An Introduction to Reinforcement Learning / S. A. Fayaz, S. Sidiq, M. Zaman, M. A. Butt. – DOI 10.1002/9781119776499.ch1 // Machine Learning and Data Science. – Editors: P. Agrawal, C. Gupta, A. Sharma, V. Madaan, N. Joshi. – New York : Wiley, 2022. – P. 1–22.

15. Timohin, M. Yu. Iskusstvennyj intellekt i teoriya prinyatiya reshenij: sovremennye tendentsii [Artificial intelligence and the theory of decision-making: modern trends] / M. Yu. Timokhin, V. Yu. Sharanin // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – № 10 (106). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-teoriya-prinyatiya-resheniy-sovremennye-tendentsii> (date of application: 22.11.2023).

16. Protas, R. V. Metod aktivnogo obucheniya «derevo reshenij» [Method of active learning «decision tree»] / R. V. Protas // Innovatsionnaya nauka [Innovative science]. – 2022. – № 4-1. – P. 51–52. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-aktivnogo-obucheniya-derevo-resheniy> (date of application: 22.11.2023).

17. Khodjaeva, D. F. Problemy, s kotorymi mozjno stolknut'sya pri vnedrenii iskusstvennogo intellekta [Problems that can be encountered when implementing artificial intelligence] / D. F. Khodjaeva, A. A. Omonov, F. U. Tugizboev // Nauka, tekhnika i obrazovanie [Science, technology and education]. – 2021. – № 5 (80). – P. 23–26. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-s-kotorymi-mozhno-stolknutsya-pri-vnedrenii-iskusstvennogo-intellekta> (date of application: 22.11.2023).

18. Kolesnikova, G. I. Iskusstvennyj intellekt: problemy i perspektivy [Artificial intelligence: problems and prospects] / G. I. Kolesnikova // Videonauka [Videoscience]. – 2018. – № 2 (10). – P. 34–39. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-problemy-i-perspektivy> (date of application: 22.11.2023).

19. Skanska USA. Innovations in the USA : [electronic resource]. – URL: <https://www.skanska.com/about-skanska/innovations> (accessed: 11/14/2023).

20. Mortenson Construction. Mortenson Construction technologies : [electronic resource]. – URL: <https://www.mortenson.com/technologies> (date of application: 14.11.2023).

21. Bentley Systems. Bentley Systems solutions : [electronic resource]. – URL: <https://www.bentley.com/en/solutions> (date of application: 14.11.2023).

УДК 697.2:621.577

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_77

Организация технологии комфортного жизнеобеспечения в строениях с высоким классом энергоэффективности

Современные цифровые решения организации технологии комфортного жизнеобеспечения в строениях с высоким классом энергоэффективности

Organization of Comfortable Life Support Technology in Buildings with a High Energy Efficiency Class
Modern Digital Solutions for the Organization of Comfortable Life Support Technologies in Buildings with a High Energy Efficiency Class

Федосов Сергей Викторович

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, fedosov-academic53@mail.ru

Fedosov Sergey Viktorovich

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, fedosov-academic53@mail.ru

Федосеев Вадим Николаевич

Доктор технических и экономических наук, профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, 4932421318@mail.ru

Fedoseev Vadim Nikolaevich

Doctor of Technical and Economic Sciences, Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, 4932421318@mail.ru

Зайцева Ирина Александровна

Кандидат экономических наук, доцент, магистрант кафедры «Строительство и инженерные системы», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, 75zss@rambler.ru

Zaytseva Irina Aleksandrovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Master's student of the Department of Construction and Engineering Systems, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, 75zss@rambler.ru

Воронов Владимир Андреевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, amenamiiii@gmail.com

Voronov Vladimir Andreevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, amenamiiii@gmail.com

Аннотация. Организацию комфорта внутренней среды проживания человека в современных жилых зданиях, с учетом инженерных, экологических и экономических требований, можно достичь с помощью оптимальных решений, используя совместные усилия ученых, инженеров и проектировщиков. Совершенствование критериев оценки комфортности условий проживания может помочь созданию принципиально новых, обладающих повышенными условиями комфортности, типов жилья. На данный момент встроенные в помещение технологии комфорта в строениях с высоким классом энергоэффективности становятся всё более распространенным типом жилья. Основной принцип проектирования (конструирования) энергоэффективного дома – поддержание комфортной внутренней среды. Чтобы обеспечить комфортные условия проживания, необходимо позаботиться об эффективной системе отопления и теплообмена.

Энергоэффективным строение считается, если коэффициент сезонного использования тепловой энергии находится в пределах 70 кВт·ч/м²/год ÷ 90 кВт·ч/м²/год. Применение технологий

и оборудования с низким энергопотреблением и использование теплообменных систем на основе тепловых насосов позволяет анализировать и оптимизировать расход энергии в системах, с помощью которых можно достичь энергоэффективности класса А. Современные теплообменные приборы, системно интегрированные внутри помещения с функционально-технологичными решениями для обогрева при температурах окружающей среды до –25 ÷ –30 °С, эффективно работают длительное время. В таких системах заложены максимальные возможности экономии энергии.

Главным преимуществом предлагаемой комбинированной системы является возможность создавать рациональный теплообмен и распределять его внутри помещения за счет системно-аппаратного решения с автоматизированным управлением программно-модульным контроллером. За счет такого управления осуществляется взаимодействие между различными установками согласованной работы датчиков, исполнительных органов и программного обеспечения.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплообменные ап-

© Федосов С. В., Федосеев В. Н., Зайцева И. А., Воронов В. А., 2023, Строительное производство № 4 2023

параты, теплообеспечение, воздухообмен, контроллер, датчик,

Abstract. The organization of the comfort of the internal environment of human habitation in modern residential buildings, taking into account engineering, environmental and economic requirements, can be achieved with the help of optimal solutions, using the joint efforts of scientists, engineers and designers. Improving the criteria for assessing the comfort of living conditions can help create fundamentally new types of housing with increased comfort conditions. At the moment, comfort technologies built into the premises in buildings with a high energy efficiency class are becoming an increasingly common type of housing. The basic principle of designing (constructing) an energy-efficient house is to maintain a comfortable internal environment. In order to ensure comfortable living conditions, it is necessary to take care of an effective heating system and heat and air exchange.

An energy-efficient structure is considered if the coefficient of seasonal use of thermal energy is in the range of 70 kWh/m²/year ÷ 90 kWh/m²/year. The use of technologies and

цифровой модуль.

equipment with low energy consumption and the use of heat exchange systems based on heat pumps makes it possible to analyze and optimize energy consumption in systems with which it is possible to achieve energy efficiency of class A. Modern heat exchange devices, systemically integrated indoors with functional and technological solutions for heating at ambient temperatures up to 25–30 °C, work effectively for a long time. In such systems the maximum possibilities of energy saving are laid down.

The main advantage of the proposed combined system is the ability to create a rational heat exchange and distribute it indoors due to a system-hardware solution with automated control by a software-modular controller. Due to this control, interaction is carried out between various installations of coordinated operation of sensors, executive bodies and software.

Keywords: energy efficiency, heat exchangers, heat supply, air exchange, controller, sensor, digital module.

Введение

Современные цифровые решения процесса энергоэффективного тепловоздухообмена в условиях строительного производства реализуются через программируемые модульные контроллеры, применяемые для автоматизации инженерных систем зданий. Использование встроенного программно-искусственного интеллекта в контроллер возможно не только в борьбе с нерациональным использованием энергоресурсов и загрязнением окружающей среды – оно позволит запускать технологическую систему терморегулирования температурно-влажностного состояния окружающего воздуха в помещении строения без пусконаладочных работ.

Исследования показали, что на протяжении жизненного цикла эксплуатация здания с автоматизацией обходится дешевле. Снижение эксплуатационных расходов происходит благодаря тому, что автоматизация способствует уменьшению вероятности возникновения аварийных ситуаций и созданию облегченного режима работы инженерного оборудования в результате автоматического поддержания оптимальных режимов работы, что уменьшает износ и сокращает затраты на эксплуатацию и ремонт.

В современных условиях важной задачей становится внедрение систем гибкого реагирования в управление про-

цессом подачи тепла на отопление и воздухообменом здания с целью повышения эффективности существующих способов управления. Использование инновационных методов энергосбережения, достигаемых специальными программными функциями в улучшении комфортных условий, также позволяет повысить долю энергоэффективности за счет использования возобновляемых источников энергии¹ в энергетическом балансе здания.

Материалы и методы

При современном проектировании и эксплуатации строений требуется комплексный подход к обозначению задач энергоэффективности, производительности, расхода и притоку систем энерготеплообеспечения помещений.

Сопоставление рекомендуемых и получаемых энергосберегающих результатов при эксплуатации строения становится отправной точкой для определения маркировки класса энергоэффективности согласно постановлению правительства от 27.09.2021 г. № 1628. В соответствии с п. 2 Правил № 1628 требования энергоэффективности зданий включают оценку расхода энергоресурсов, основными показателями которых являются расход электро- и тепловой энергии на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию. Пункт 7 статьи 13 закона 261-ФЗ «Обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» с изменениями от 14.07.2022 вступает в силу с 01.01.2023 г. [1].

Встроенные в помещение технологии комфорта в строениях с высоким классом энергоэффективности становятся всё более распространенным типом жилья. Чтобы обеспечить комфортные условия проживания, необходимо позаботиться об эффективной системе отопления и тепловоздухообмена, так как в системах большинства регионов России теплый сезон длиться недолго – не более 3÷4 месяцев [2–4].

Результаты

Одним из популярных решений, которые активно набирают обороты на этапе организации строительного производства, являются теплообменные системы на основе тепловых насосов – это современное экологоэнергоэффективное оборудование, предназначенное для создания комфортной среды на больших и малых площадях помещений [5–8].

Авторы данной работы, пользуясь экспериментальной-научной лабораторией, исследовали и применили

современные энергосберегающие технологии и запатентованные устройства – встроенную камеру смешения с бифилярным нагревателем (рисунок 1).

Данная технология давно используется в странах Европы, где стоимость электроэнергии гораздо выше, чем в России, но в последнее время она также становится популярной у нас в России и в настоящее время получает всё большее признание [9; 10].

Современные теплообменные приборы, системно интегрированные внутри помещения с функционально-технологичными решениями для обогрева при температурах окружающей среды до –25 ÷ –30 °C, эффективно работают длительное время. В летнее время их используют как инверторные сплит-системы, что соответствует классу энергоэффективности от A++ до A+++ [11–13].



Рис. 1. Фото камеры смешения, совмещенной с БТН [14], установленной в малоэтажном жилом здании в Ивановской области

Fig. 1. Photo of a mixing chamber combined with AHP [14] installed in a low-rise residential building in the Ivanovo region

¹ Солнечные фотопанели, компактные ветроустановки.

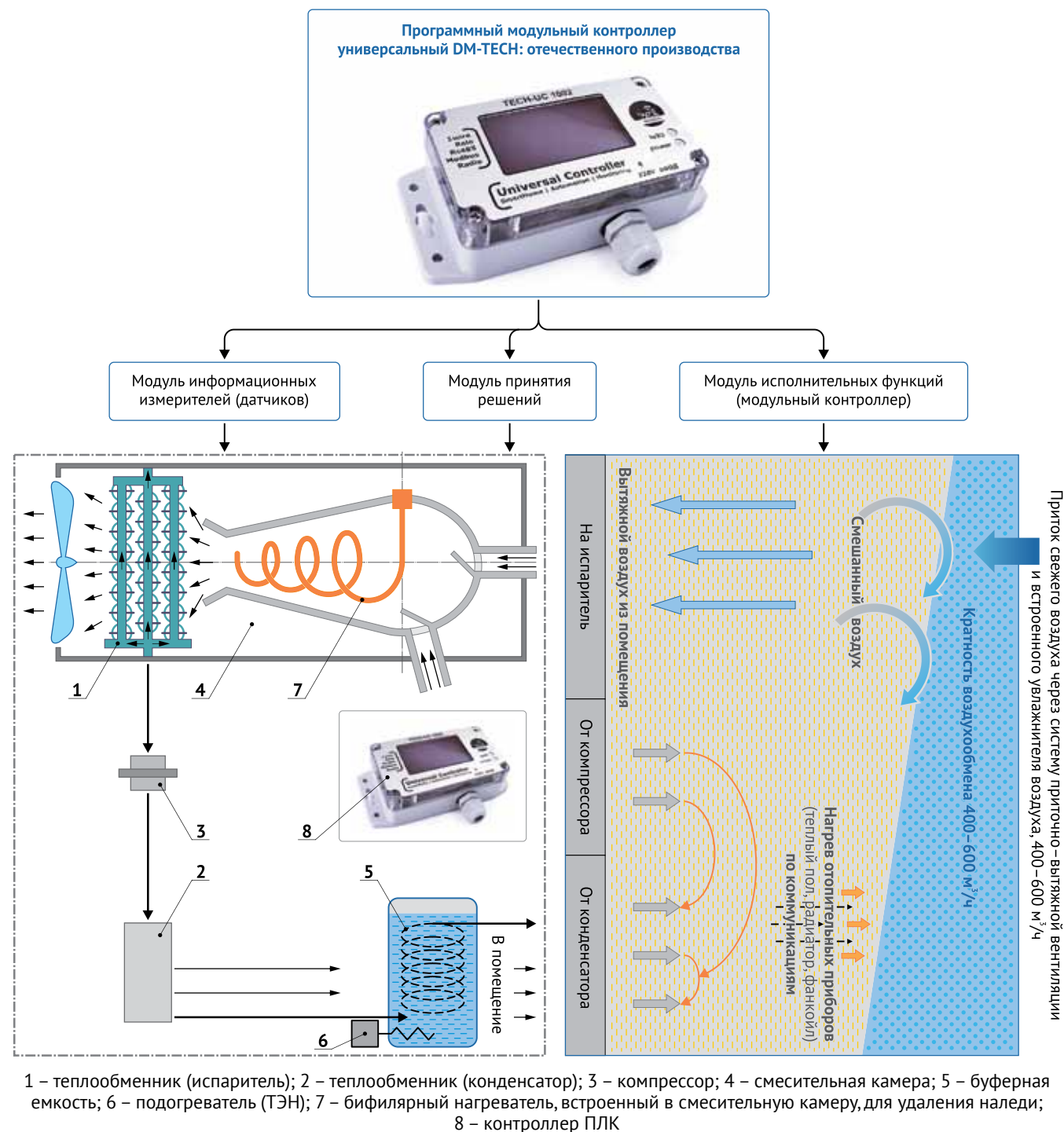


Рис. 2. Комбинированная система тепловоздухообмена, обеспечивающая комфортное состояние помещения
Fig. 2. A combined heat and air exchange system that ensures a comfortable condition of the room

Датчик	Назначение
Датчик 1 – D/t ₁	Установлен в буферной емкости. Сигнал поступает в модуль управления ТОС ¹ (МУТОС) при изменении граничных значений установленной температуры и выходной тепловой мощности ТОС. ТОС включается или выключается
Датчик 2 – D/t ₂	Установлен на испарителе (теплообменнике). Сигнал поступает в МУТОС при изменении установленных значений параметров. Вентилятор, обдувающий испаритель, согласно параметрам, изменяет скорость вращения и включает бифилярный нагреватель удаления наледи, тем самым обеспечивая разморозку испарителя
P ₁ , P ₂ , P ₃	Датчики защиты компрессора. В нормальном рабочем состоянии контакты замкнуты. При превышении или понижении заданных параметров контакты датчиков размыкаются, что приводит к остановке компрессора
Датчик 2 – D/t ₃	Дает сигнал о состоянии температуры в буферной емкости на модуль ШИМ – регулятора электротэна. Модуль ШИМ, регулятор, имеет свою программу – настройку управления электродотом для поддержания установленной температуры в буферной емкости
Датчик 2 – D/t ₄	Установлен в объемной смесительной камере и дает сигнал на модуль управления работой смесительной камеры (бифилярного нагревателя). Программная настройка, которая защита на 10° С путем реакции на изменение температуры внутри смесительной камеры. Назначение механизма заслонок – реакция на изменение процентного соотношения поступающего воздуха с улицы и из помещения, обеспечивающая получение нужной температуры на испаритель

Табл. 1 Алгоритм цифровой технологической модели управления тепловоздухообменом на основе цифрово-модульной ПЛК
Tab. 1 Algorithm of digital technological model of heat and air exchange control based on digital-modular PLC

распределяя его через отопительные приборы, которые обеспечивают температуру, влажность, воздухообмен в помещении, приобретая новые теплофизические параметры свежего воздуха [17–19].

Таким образом, достигается высокий показатель класса энергоэффективности A+++, а теплообменная система тратит электроэнергию в несколько раз меньше применяемых электрических (различного рода) обогревательных устройств. На 1 кВт потребленной электроэнергии система выдает от 3 до 5 кВт тепла.

Главным преимуществом предлагаемой комбинированной системы является возможность рационально создавать теплообмен и распределять его внутри помещения, что достигается за счет системно-аппаратного решения и автоматизированного управления программно-модульным контроллером (рисунок 2).

Современные цифровые решения для процесса энергоэффективного тепловоздухообмена в условиях строительного производства, достижение комфортных условий, реализуются через программируемые модульные ВАСnet-контроллеры, применяемые для автоматизации инженерных систем зданий (строений) [20; 21].

Модуль программируемого логического контроллера (ПЛК)² считывает данные со всех датчиков системы «Климат-Комфорт» помещения и, анализируя их, реализует для исполнительных решений.

Свободно программируемые модульные контроллеры, используемые для автоматизировано-программных инженерных систем строений (зданий) со встроенными входами/выходами, модулями расширения, портами Ethernet и RS-485, функционально имеют поддержку через протоколы ВАСnet³ и Modbus.

Появляется возможность использовать в таких условиях специализированный программный инструмент, подстраивая нужный алгоритм конкретной технологической схемы, необходимой для подключения периферийных устройств, таких как датчик температуры, влажности, давления, скорости, термостаты и т. д. Тем самым всё это обеспечивает поэтапное управление состоянием жизненного цикла строения с использованием в режиме эксплу-

атации энергосберегающие приборы с эффективной детализацией схемных решений [22–24].

Также имеется возможность использовать встроенный программно-искусственный интеллект в контроллер, который позволит запускать технологическую климат-систему без пусконаладочных работ, то есть контроллер сам проведет тест и оптимизирует все настройки системы жизнеобеспечения (температуру, давление, влажность и т. д.) [25; 26].

Предлагается алгоритм цифровой технологической модели управления тепловоздухообменом на основе цифрово-модульной ПЛК (рисунок 2.). Поясним следующей таблицей 1 и рисунком 3.

Силовые модули (+ механизм исполнения) обеспечивают необходимую электрическую мощность нагрузок. К нагрузкам относятся:

- компрессор ТН;
- вентилятор испарителя;
- бифилярный элемент для оттайки;
- циркуляционный насос;
- ТЭНы электродотла (трубчатые электронагреватели);
- механизм привода заслонок.

Силовой модуль питания (МП) обеспечивает работу всей схемы.

Обсуждение

При использовании предлагаемых технических информационно-цифровых решений открываются широкие функциональные возможности рационального технологического контроля и управления температурно-влажностным состоянием окружающего воздуха в помещении строения совместно с коллекторным модулем датчиков Dt₁ – Dt₄. Цифровой модуль распознавания параметров данного технологического процесса позволяет обеспечить регулирование попеременного расхода теплового и холодного воздуха, реализовывая этот процесс через программное обеспечение контроллера на исполнительные механизмы системы. Такая цифровизация позволяет снизить излишнюю тепловую и электрическую нагрузку, а также минимизировать объем, площадь котельной и коммуникации тепловоздухообмена [27]. В результате принятых

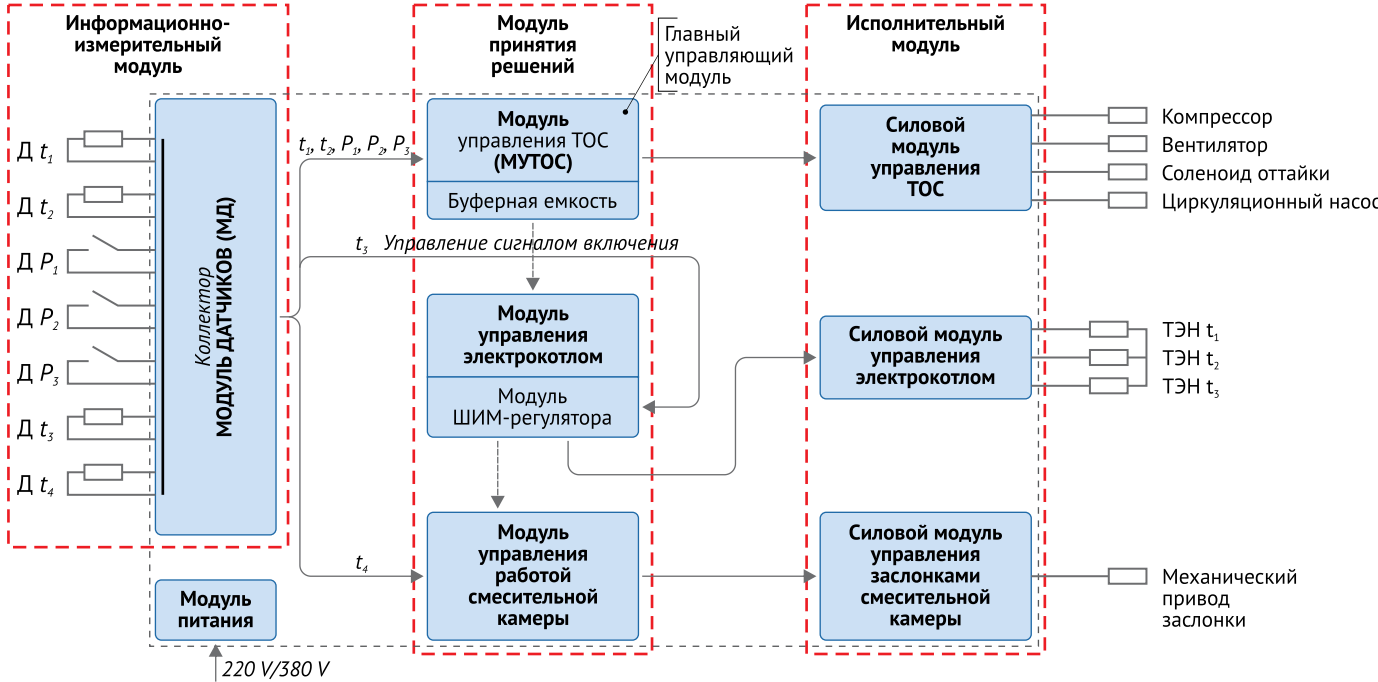


Рис. 3. Комбинированная структурная конфигурация цифрово-модульного ПЛК
Fig. 3. Combined structural configuration of digital-modular PLC

решений достигается высокий уровень класса энергоэффективности A+++, снижается стоимость и габариты помещения [28].

Заключение

Предлагая комбинированную цифровую модульно-функционально-структурную схему теплогенерации в условиях окружающей среды, опираясь на энергоэффек-

тивность схемно-аппаратного решения с электротэном, буферной емкостью и запатентованной смесительной камерой [10; 13; 14], мы добиваемся рационально-управляемого состояния тепловоздухообмена через модульный ПЛК – контроллер, адаптированный для автоматизации инженерных сетей зданий (строений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов : утв. Постановлением Правительства РФ от 27 сентября 2021 г. № 1628 : вступ. в силу с 1 марта 2022 г. и действ. до 1 марта 2028 г. / Официальное опубликование правовых актов. – 2021. – № 0001202109300041. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109300041?index=2>.

2. Федосов, С. В. Эффективное энергосбережение малоэтажных строений воздушным тепловым насосом / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, А. Б. Петрухин // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 2 (1026). – С. 50–53.

3. Качество воздухообмена в помещении с эффектом очищения окружающей среды / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, С. А. Логинова, В. А. Воронов, В. А. Емелин. – DOI 10.6060/snt.20227204.00010 // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2022. – № 4 (72). – С. 69–74.

4. Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. С. Зайцев, И. А. Зайцева // Умные композиты в строительстве. – 2023. – Т. 4, вып. 2. – С. 18–31.

5. Высокотехнологическая система воздушного теплового насоса «три в одном» для малоэтажных и коттеджных строений / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева, В. А. Емелин // Приборы. – 2020. – № 2 (236). – С. 49–53.

6. Lin, Y. Building Energy-Saving Technology / Y. Lin, W. Yang. – DOI 10.3390/buildings13092161 // Buildings – 2023. – Vol. 13, Iss. 9. – P. 2161.

7. AlZahrani, A. Computational Optimization of 3D Printed Concrete Walls for Improved Building Thermal Performance /

A. AlZahrani, A. Alghamdi, A. Basalah. – DOI 10.3390/buildings12122267 // Buildings – 2022. – Vol. 12, Iss. 12. – P. 2267.

8. A Review on the Research and Development of Solar-Assisted Heat Pump for Buildings in China / Y. Lin, Z. Bu, W. Yang, H. Zhang, V. Francis, C. Li // Buildings – 2022. – Vol. 12, Iss. 9. – P. 1435.

9. Рей, Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Маймакл. – Пер. с англ. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 224 с.

10. Алоян, Р. М., Федосеев, В. Н., Емелин, В. А., Воронов, В. А., Острякова, Ю. Е., Свиридов, И. А. Тепловой насос / Патент на полезную модель RU 174083 U1, 29.09.2017 ; Заявка № 2017100433 от 09.01.2017. – Москва : Роспатент, 2017.

11. Ramos Ruiz, G. Climate Change Performance of ZEB Buildings / G. Ramos Ruiz, A. Olloqui del Olmo. – DOI 10.3390/buildings12101755 // Buildings – 2022. – Vol. 12, Iss. 10. – P. 1755.

12. Хайнрих, Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер. – Пер. с нем. – Москва : Стройиздат, 1985. – 351 с.

13. Федосов, С. В., Федосеев, В. Н., Воронов, В. А., Емелин, В. А., Логинова, С. А. Увлажнитель воздуха / Патент на полезную модель 208767 U1, 12.01.2022 ; Заявка № 2021117699 от 18.06.2022. – Москва : Роспатент, 2022.

14. Федосеев, В. Н., Петрухин, А. Б., Емелин, В. А., Воронов, В. А., Свиридов, И. А. Средство для смешения газовых потоков / Патент на полезную модель RU 185689 U1, 13.12.2018 ; Заявка № 2018127287 от 24.07.2018. – Москва : Роспатент, 2018.

15. A Design and Comparative Analysis of a Home Energy Disaggregation System Based on a Multi-Target Learning Framework / B. Buddhahai, S. Korkua, P. Rakkwamsuk, S. Makonin // Buildings. – 2023. – Vol. 13, Iss. 4. – P. 911.

16. Acar, U. Multi-objective optimization of building envelope

² ПЛК – программируемый логический контроллер (с англ. programmable logic controller) – это контроллер с программируемой логикой, цифровая электронная система, предназначенная для применения в производственно-строительной среде для автоматизации технологических процессов.

³ ВАСnet (англ. Building Automation and Control network) – это сетевой протокол, применяемый в системах автоматизации зданий.

⁴ ТОС – теплообменная система. МУТОС – модуль управления теплообменной системой.

components at the preliminary design stage for residential buildings in Turkey / U. Acar, O. Kaska, N. Tokgoz. – DOI 10.1016/j.jobte.2021.102499 // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 42, Iss. 2. – P. 102499.

17. Analysis and optimization of external venetian blind shading for nearly zero-energy buildings in different climate regions of China / H. Huo, W. Xu, A. Li, Y. Lv, C. Liu // Solar Energy. – 2021. – Vol. 223, Iss. 18. – P. 54–71. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.046>.

18. Net zero energy consumption building in india: an overview and initiative toward sustainable future / L. Saini, C. S. Meena, B. P. Raj, N. Agarwal, A. Kumar. – DOI 10.1080/15435075.2021.1948417 // International Journal of Green Energy. – 2021. – Vol. 19, Iss. 5. – P. 544–561.

19. Application and characterization of metamodels based on artificial neural networks for building performance simulation: a systematic review / N. D. Roman, F. Bre, V. D. Fachinotti, R. Lamberts. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.109972 // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 217. – P. 109972.

20. An optimal surrogate-model-based approach to support comfortable and nearly zero energy buildings design / B. Chegari, M. Tabaa, E. Simeu, F. Moutaouakkil, H. Medromi. – DOI 10.1016/j.energy.2022.123584 // Energy. – (2022). – Vol. 248, Iss. 1. – P. 123584.

21. Grinevičiūtė, M. Renewable and Non-Renewable Primary Energy Factors for Lithuanian A++ Buildings' Heating / M. Grinevičiūtė, K. Valancius. – DOI 10.3846/enviro.2023.892 // 12th International Scientific Conference «Environmental Engineering», April 27–28, 2023, Vilnius, Lithuania. – Vilnius, 2023.

22. D'Agostino, D. Assessment of the progress towards the

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Pravil ustanovleniya trebovanij ehnergeticheskoy ehffektivnosti dlya zdaniy, stroenij, sooruzhenij i trebovanij k pravilam opredeleniya klassa ehnergeticheskoy ehffektivnosti mnogokvartirnykh domov [On approval of the Rules for Establishing Energy Efficiency Requirements for Buildings, Structures, Structures and Requirements for the Rules for Determining the energy efficiency class of apartment buildings] : utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 27 sentyabrya 2021 g. № 1628 [approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated September 27, 2021 No. 1628] : vstup. v silu s 1 marta 2022 g. i dejstv. do 1 marta 2028 g. [introduction effective from March 1, 2022 and valid. until March 1, 2028] / Ofitsial'noe opublikovanie pravovykh aktov [Official publication of legal acts]. – 2021. – No. 0001202109300041. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109300041?index=2>.

2. Fedosov, S. V. Ehffektivnoe ehnergoberezhenie malohtazhnykh stroenij vozdushnym teplovym nasosom [Effective energy saving of low-rise buildings by an air heat pump] / S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, A. B. Petrukhin // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki [BST: Bulletin of construction machinery]. – 2020. – № 2 (1026). – P. 50–53.

3. Kachestvo vozdukhoobmena v pomeshhenii s ehffektom ochishheniya okruzhayushhej sredy [The quality of air exchange in a room with the effect of environmental purification] / S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, S. A. Loginova, V. A. Voronov, V. A. Emelin. – DOI 10.6060/snt.20227204.00010 // Sovremennye naukoymkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie [Modern high-tech technologies. Regional application]. – 2022. – № 4 (72). – P. 69–74.

4. Osobennosti ispol'zovaniya otechestvennogo i zarubezhnogo instrumentariya imitatsionnogo modelirovaniya stroitel'nykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij [Features of the use of domestic and foreign tools for simulation modeling of building structures of buildings and structures] / S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, I. S. Zaitsev, I. A. Zaitseva // Umnye kompozity

establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States / D. D'Agostino. – DOI 10.1016/j.jobte.2015.01.002 // Journal of Building Engineering. – 2015. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 20–32.

23. Табунщиков, А. Ю. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / А. Ю. Табунщиков, М. М. Бродач. – Москва : АВОК- ПРЕСС, 2002. – 194 с.

24. Васильев, Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 / Г. П. Васильев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2002. – № 4. – С. 10–18.

25. Multi-criteria assessment approach for a residential building retrofit in Norway / X. Chen, K. Qu, J. Calautit, A. Ekambaram, W. Lu, C. Fox, G. Gan, S. Riffat // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 215. – P. 109668.

26. Lausset, C. LCA and scenario analysis of a Norwegian net-zero GHG emission neighbourhood: The importance of mobility and surplus energy from PV technologies / C. Lausset, K. M. Lund, H. Brattebø. – DOI 10.1016/j.buildenv.2020.107528 // Building and Environment, – 2021. – Vol. 189, Iss. 10. – P. 107528.

27. Thermo-economic and environmental analysis of integrating renewable energy sources in a district heating and cooling network / M. Asim, S. Saleem, M. Imran, M. K. H. Leung, S. A. Hussain, L. S. Miró, I. Rodríguez. – DOI 10.1007/s12053-019-09832-9 // Energy Efficiency. – 2020. – Vol. 13, Iss. 4. – P. 1–22.

28. Лобикова, О. М. Повышение энергоэффективности жилых зданий: проблемы, опыт решения / О. М. Лобикова, Н. В. Лобикова // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2018. – Т. 13-2. – С. 351–353.

v stroitel'stve [Smart composites in construction]. – 2023. – Vol. 4, Iss. 2. – P. 18–31.

5. Vysokotekhnologicheskaya sistema vozdushnogo teplovogo nasosa «tri v odnom» dlya malohtazhnykh i kottedzhnykh stroenij [High-tech air heat pump system «three in one» for low-rise and cottage buildings] / S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, I. A. Zaitseva, V. A. Emelin // Pribory [Devices]. – 2020. – № 2 (236). – P. 49–53.

6. Lin, Y. Building Energy-Saving Technology / Y. Lin, W. Yang. – DOI 10.3390/buildings13092161 // Buildings – 2023. – Vol. 13, Iss. 9. – P. 2161.

7. AlZahrani, A. Computational Optimization of 3D Printed Concrete Walls for Improved Building Thermal Performance / A. AlZahrani, A. Alghamdi, A. Basalah. – DOI 10.3390/buildings12122267 // Builings – 2022. – Vol. 12, Iss. 12. – P. 2267.

8. A Review on the Research and Development of Solar-Assisted Heat Pump for Buildings in China / Y. Lin, Z. Bu, W. Yang, H. Zhang, V. Francis, C. Li // Buildings – 2022. – Vol. 12, Iss. 9. – P. 1435.

9. Ray, D. Teplovye nasosy [Heat pumps] / D. Ray, D. McMichael. – Translated from English. – Moscow : Energoizdat, 1982. – 224 p.

10. Aloyan, R. M., Fedoseev, V. N., Emelin, V. A., Voronov, V. A., Ostryakova, Yu. E., Sviridov, I. A. Teplovoj nasos [Heat pump] / Patent na poleznuyu model' RU 174083 U1, 29.09.2017 ; Zayavka № 2017100433 ot 09.01.2017 [Utility model patent RU 174083 U1, 09/29/2017; Application No. 2017100433 dated 01/9/2017]. – Moscow : Rospatent, 2017.

11. Ramos Ruiz, G. Climate Change Performance of nZEB Buildings / G. Ramos Ruiz, A. Olloqui del Olmo. – DOI 10.3390/buildings12101755// Buildings – 2022. – Vol. 12, Iss. 10. – P. 1755.

12. Heinrich, G. Teplonasosnye ustanovki dlya otopeniya i goryachego vodosnabzheniya [Heat pump installations for heating and hot water supply] / G. Heinrich, H. Nyork, V. Nestler. – Translated from German. – Moscow : Sroyizdat, 1985. – 351 p. (in Russian).

13. Fedosov, S. V., Fedoseev, V. N., Voronov, V. A., Emelin, V. A., Loginova, S. A. Uvlazhnitel' vozdukha [Air humidifier] / Patent na poleznuyu model' 208767 U1, 12.01.2022 ; Zayavka № 2021117699 ot 18.06.2022 [Patent for useful model 208767 U1, 12.01.2022 ; Application No. 2021117699 dated 18.06.2022]. – Moscow : Rospatent, 2022.

14. Fedoseev, V. N., Petrukhin, A. B., Emelin, V. A., Voronov, V. A., Sviridov, I. A. Sredstvo dlya smesheniya gazovykh potokov [Means for mixing gas flows] / Patent na poleznuyu model' RU 185689 U1, 13.12.2018 ; Zayavka № 2018127287 ot 24.07.2018 [Patent for a useful model RU 185689 U1, 13.12.2018 ; Application No. 2018127287 dated 24.07.2018]. – Moscow : Rospatent, 2018.

15. A Design and Comparative Analysis of a Home Energy Disaggregation System Based on a Multi-Target Learning Framework / B. Buddhahai, S. Korkua, P. Rakkwamsuk, S. Makonin // Buildings. – 2023. – Vol. 13, Iss. 4. – P. 911.

16. Acar, U. Multi-objective optimization of building envelope components at the preliminary design stage for residential buildings in Turkey / U. Acar, O. Kaska, N. Tokgoz. – DOI 10.1016/j.jobte.2021.102499 // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 42, Iss. 2. – P. 102499.

17. Analysis and optimization of external venetian blind shading for nearly zero-energy buildings in different climate regions of China / H. Huo, W. Xu, A. Li, Y. Lv, C. Liu // Solar Energy. – 2021. – Vol. 223, Iss. 18. – P. 54–71. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.046>.

18. Net zero energy consumption building in india: an overview and initiative toward sustainable future / L. Saini, C. S. Meena, B. P. Raj, N. Agarwal, A. Kumar. – DOI 10.1080/15435075.2021.1948417 // International Journal of Green Energy. – 2021. – Vol. 19, Iss. 5. – P. 544–561.

19. Application and characterization of metamodels based on artificial neural networks for building performance simulation: a systematic review / N. D. Roman, F. Bre, V. D. Fachinotti, R. Lamberts. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.109972 // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 217. – P. 109972.

20. An optimal surrogate-model-based approach to support comfortable and nearly zero energy buildings design / B. Chegari, M. Tabaa, E. Simeu, F. Moutaouakkil, H. Medromi. – DOI 10.1016/j.energy.2022.123584 // Energy. – (2022). – Vol. 248, Iss. 1. – P. 123584.

21. Grinevičiūtė, M. Renewable and Non-Renewable Primary Energy Factors for Lithuanian A++ Buildings' Heating /

УДК 69.05

Основные факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений при капитальном ремонте жилых домов

The Main Factors Influencing the Choice of Organizational and Technological Solutions for the Overhaul of Residential Buildings

Экба Сергей Игоревич

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

Ekba Sergey Igorevich

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, ekba.s.ig@gmail.com

Билонда Трегубова Елен

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, lena.tregubova.99@inbox.ru

M. Grinevičiūtė, K. Valancius. – DOI 10.3846/enviro.2023.892 // 12th International Scientific Conference «Environmental Engineering», April 27–28, 2023, Vilnius, Lithuania. – Vilnius, 2023.

22. D'Agostino, D. Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States / D. D'Agostino. – DOI 10.1016/j.jobte.2015.01.002 // Journal of Building Engineering. – 2015. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 20–32.

23. Tabunshchikov, A. Yu. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoj ehffektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings] / A. Yu. Tabunshchikov, M. M. Brodach. – Moscow : AVOK- PRESS, 2002. – 194 p.

24. Vasiliev, G. P. Ehnergoeffektivnyj ehksperimental'nyj zhiloy dom v mikrorajone Nikulino-2 [Energy-efficient experimental residential building in the Nikulino-2 microdistrict] / G. P. Vasiliev // AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics]. – 2002. – № 4. – P. 10–18.

25. Multi-criteria assessment approach for a residential building retrofit in Norway / X. Chen, K. Qu, J. Calautit, A. Ekambaram, W. Lu, C. Fox, G. Gan, S. Riffat // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 215. – P. 109668.

26. Lausset, C. LCA and scenario analysis of a Norwegian net-zero GHG emission neighbourhood: The importance of mobility and surplus energy from PV technologies / C. Lausset, K. M. Lund, H. Brattebø. – DOI 10.1016/j.buildenv.2020.107528 // Building and Environment, – 2021. – Vol. 189, Iss. 10. – P. 107528.

27. Thermo-economic and environmental analysis of integrating renewable energy sources in a district heating and cooling network / M. Asim, S. Saleem, M. Imran, M. K. H. Leung, S. A. Hussain, L. S. Miró, I. Rodríguez. – DOI 10.1007/s12053-019-09832-9 // Energy Efficiency. – 2020. – Vol. 13, Iss. 4. – P. 1–22.

28. Lobikova, O. M. Povyshenie ehnergoeffektivnosti zhilykh zdaniy: problemy, opyt resheniya [Improving the energy efficiency of residential buildings: problems, solution experience] / O. M. Lobikova, N. V. Lobikova // Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya [Russia: trends and prospects of development]. – 2018. – Vol. 13-2. – P. 351–353.

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_83

Bilonda Tregubova Elen
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, Yaroslavskoe shosse, 26, lena.tregubova.99@inbox.ru

Кормухин Серафим Андреевич
Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, s.kormukhin@yandex.ru

Kormukhin Serafim Andreevich
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, Yaroslavskoe shosse, 26, s.kormukhin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности проведения капитального ремонта жилых домов. В рамках исследования проведен анализ данных из открытых источников о параметрах жилых домов, входящих в программу капитального ремонта.

Целью исследования является разработка и внедрение методики оптимизации управления капитальным ремонтом многоквартирных домов (МКД) на основе управленческих и организационно-технологических решений, в настоящей статье приведены результаты первого этапа исследования, а именно анализ данных, определение факторов, влияющих на принятие организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта МКД.

В настоящем исследовании используются статистические данные, полученные по результатам обследования техниче-

ского состояния жилых домов в ряде регионов страны – в Московской области Тульской области, Нижегородской области. Определены основные факторы и параметры, влияющие на выбор ОТП при капитальном ремонте. Проведена математическая обработка результатов исследования, установлены степень и коэффициент значимости факторов с применением критерия Пирсона и коэффициента конкордации. Сформированы организационно-технологические решения, соответствующие основным факторам. Представлены результаты первого этапа исследования, сформулированы основные выводы по работе.

Ключевые слова: многоквартирный дом, техническое состояние, проектирование, жизненный цикл объекта, физический износ, конструктивный элемент, инженерные системы.

Abstract. The article discusses the features of major repairs of residential buildings. As part of the study, an analysis of data from open sources on the parameters of residential buildings included in the capital repair program was carried out.

The purpose of the study is to develop and implement a methodology for optimizing the management of apartment buildings (AB) overhaul based on managerial and organizational and technological solutions. This article presents the results of the first stage of the study, namely, data analysis, determination of factors influencing the adoption of organizational and technological decisions during the overhaul of AB.

This study uses statistical data obtained from the results of a survey of the technical condition of residential buildings in a

number of regions of the country – the Moscow region, Tula region, Nizhny Novgorod region. The main factors and parameters influencing the choice of OTP during major repairs are determined. The mathematical processing of the research results was carried out, the degree and coefficient of significance of the factors were determined using the Pearson criterion and the concordance coefficient. Organizational and technological solutions corresponding to the main factors have been formed. The results of the first stage of the study are presented, the main conclusions of the work are formulated.

Keywords: apartment building, technical condition, design, life cycle of the object, physical deterioration, structural element, engineering systems.

пряженная: проектная документация либо не разрабатывается – и работы проводятся по сметной документации, или разрабатывается – но в недостаточном объеме [2].

Таким образом, исследование вопросов проведения капитального ремонта МКД, в том числе отдельных его этапов – изыскания, проектирование, проведение строительно-монтажных работ, в том числе внеплановых ремонтов [3], приемка работ, является актуальной задачей, которую необходимо решать комплексно и системно.

Целью исследования является разработка и внедрение методики оптимизации управления капитальным ремон-

Факторы	Эксперты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4	3	4	4	2	4	1	3	3	4	2	4	4	4	4
2	7	5	7	6	6	7	7	6	7	7	6	7	7	6	5
3	5	6	6	7	5	6	4	5	5	6	5	5	5	5	7
4	1	2	3	2	1	1	2	1	1	3	4	1	2	1	3
5	2	4	1	3	4	3	3	4	2	2	1	3	1	2	2
6	3	1	2	1	3	2	5	2	4	1	3	2	3	3	1
7	6	7	5	5	7	5	6	7	6	5	7	6	6	7	6

Табл. 1. Сводная матрица рангов
Tab. 1. Summary matrix of ranks

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сумма рангов	d	d ₂
x ₁	4	3	4	4	2	4	1	3	3	4	2	4	4	4	4	50	-10	100
x ₂	7	5	7	6	6	7	7	6	7	7	6	7	7	6	5	96	36	1296
x ₃	5	6	6	7	5	6	4	5	5	6	5	5	5	5	7	82	22	484
x ₄	1	2	3	2	1	1	2	1	1	3	4	1	2	1	3	28	-32	1024
x ₅	2	4	1	3	4	3	3	4	2	2	1	3	1	2	2	37	-23	529
x ₆	3	1	2	1	3	2	5	2	4	1	3	2	3	3	1	36	-24	576
x ₇	6	7	5	5	7	5	6	7	6	5	7	6	6	7	6	91	31	961
Σ	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	420		4970

Табл. 2. Матрица рангов
Tab. 2. Matrix of ranks

том МКД на основе управленческих и организационно-технологических решений, в настоящей статье приведены результаты первого этапа исследования, а именно анализ данных, определение факторов, влияющих на принятие организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта МКД.

Материалы и методы

В рамках исследования использованы методы сбора и анализа статистических данных, результаты натурных испытаний (проведение обследований технического состояния МКД в нескольких регионах страны), методы опроса и экспертных оценок.

Основные задачи настоящего исследования: анализ существующей практики управления капитальным ремонтом МКД и определение ключевых факторов, влияющих на организационно-технологические решения.

Анализ производился на примере МКД трех регионов России – Московской области, Тульской области и Нижегородской области. В данных регионах проанализированы и изучены региональные нормативные и правовые документы, порядок очередности проведения капитального ремонта МКД, критерии оценки, принимаемые организационно-технологические решения.

По результатам проведенной экспертной оценки определены 7 ключевых факторов:

- 1. Уровень взаимодействия участников процесса капитального ремонта МКД.
- 2. Уровень проведенных инженерных изысканий.
- 3. Техническое состояние МКД.
- 4. Качество проектной документации.
- 5. Качество организационно-технологической документации.
- 6. Качество выполненных работ.
- 7. Качество ведения строительного контроля.

На следующем этапе произведена математическая обработка полученных данных путем оценки степени значимости факторов, их ранжирования, оценки согласованности мнений экспертов и вычисления показателя весомости.

Оценка степени значимости параметров экспертов произведена путем присвоения им рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер (см. таблицу 1), далее составлена сводная матрица рангов, представленная в таблице 2 [1–4].

Здесь:

d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 60. (1)

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+7)7}{2} = 28. (2)

Суммы по столбцам матрицы равны между собой и контрольной суммой, значит, матрица составлена правильно [1–5].

Затем проведен анализ значимости исследуемых факторов, представленных в таблице 3.

Факторы	Сумма рангов
x ₄	28
x ₆	36
x ₅	37
x ₁	50
x ₃	82
x ₇	91
x ₂	96

Табл. 3. Расположение факторов по значимости
Tab. 3. The location of the factors by importance

Следующий шагом стала оценка средней степени согласованности мнений всех экспертов путем вычисления коэффициента конкордации (S = 4970, n = 7, m = 15):

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

W = \frac{12 \cdot 4970}{15^2(7^3 - 7)} = 0,789. (4)

W = 0,789 говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Оценка значимости коэффициента конкордации через вычисление критерия согласованности Пирсона [1–6]:

x^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} = n(m-1)W, (5)

x^2 = 15(7-1)0,789 = 71.

Вычисленный χ² сравним с табличным значением для числа степеней свободы K = n - 1 = 7 - 1 = 6 и при заданном уровне значимости α = 0,05. Так как χ² расчетный 71 ≥ табличного (12,59159), то W = 0,789 – величина неслучайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

На основе получения суммы рангов можно вычислить показатели весомости рассмотренных параметров (см. та-

№ пп. / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Σ	Вес λ
1	3	4	3	3	5	3	6	4	4	3	5	3	3	3	3	55	0,17460
2	0	2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	2	9	0,02857
3	2	1	1	0	2	1	3	2	2	1	2	2	2	2	0	23	0,07302
4	6	5	4	5	6	6	5	6	6	4	3	6	5	6	4	77	0,24440
5	5	3	6	4	3	4	4	3	5	5	6	4	6	5	5	68	0,21590
6	4	6	5	6	4	5	2	5	3	6	4	5	4	4	6	69	0,21900
7	1	0	2	2	0	2	1	0	1	2	0	1	1	0	1	14	0,04444
Итого																315	1

Табл. 4. Матрица преобразованных рангов
Tab. 4. Matrix of transformed ranks

блицу 4) [1–7]. Матрицу опроса преобразуем в матрицу преобразованных рангов по формуле $s_{ij} = x_{\max} - x_{ij}$, где $x_{\max} = 7$.

Результаты

По результатам проведенного анализа, экспертных оценок и математической обработки установлено, что к числу факторов [1–8], оказывающих наибольшее влияние на выбор организационно-технологических решений, относятся:

- Уровень взаимодействия участников процесса капитального ремонта МКД.
- Качество проектной документации.
- Качество организационно-технологической документации.
- Качество выполненных работ.

В свою очередь, каждый из факторов характеризуется рядом параметров, а именно:

1. Уровень взаимодействия участников процесса капитального ремонта МКД:
 - Функционирует строительный контроль.
 - Функционирует служба технического заказчика.
 - Наличие авторского надзора.
 - Наличие генподрядчика.
2. Качество проектной документации:

- Наличие только сметной документации.
- Наличие сметной и проектной документации.
- Наличие сметной и проектной документации, в том числе для инженерных систем.

3. Качество организационно-технологической документации:

- Разработан ППР.
- Разработан ПОКР.
- Разработаны альбомы технических решений для конструктивных элементов и инженерных систем.

4. Качество выполненных работ:

- Работы проводятся в соответствии со сметной документацией.
- Работы проводятся в соответствии с проектной документацией.
- Работы проводятся в соответствии с рабочей документацией.

В таблице 5 представлена матрица выбора организационно-технологических решений.

Заключение

В настоящей статье рассмотрены особенности проведения капитального ремонта МКД, проведен сбор и анализ данных в нескольких регионах нашей страны, определе-

№	Факторы / Параметры	Организационно-технологические решения
1	Уровень взаимодействия участников процесса капитального ремонта МКД	• Организация строительной площадки (бытовой городок, склады и пр.) • Разработка календарного плана • Создание и регламентирование работы службы «одного окна» • Разработка матрицы ответственности • Разработка DFD-диаграмм
	Функционирует строительный контроль	
	Функционирует служба технического заказчика	
	Наличие авторского надзора	
	Наличие генподрядчика	
2	Качество проектной документации	• Организация контроля качества сметной документации • Организация контроля качества проектной документации • Разработка регламента проверки качества, полноты и проработанности документации • Разработка чек-листов
	Наличие только сметной документации	
	Наличие сметной и проектной документации	
	Наличие сметной и проектной документации, в том числе для инженерных систем	
3	Качество организационно-технологической документации	• Разработка DFD-диаграмм в зависимости от проработанности документации • Контроль мероприятия согласно требованиям ППР / ПОКР
	Разработан ППР	
	Разработан ПОКР	
	Разработаны альбомы технических решений для конструктивных элементов и инженерных систем	
4	Качество выполненных работ	• Разработка чек-листов по видам работ (ремонт фундаментов, ремонт фасадов и т.д.) • Разработка чек-листов проверки проработанности документации
	Работы проводятся в соответствии со сметной документацией	
	Работы проводятся в соответствии с проектной документацией	
	Работы проводятся в соответствии с рабочей документацией	

Табл. 5. Матрица выбора организационно-технологических решений
Tab. 5. The matrix of choice of organizational and technological solutions

ны факторы, влияющие на принятие организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта МКД.

В рамках работы установлено, что к числу основных факторов, влияющих на выбор организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта относятся:

- Уровень взаимодействия участников процесса капитального ремонта МКД.
- Качество проектной документации.
- Качество организационно-технологической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классификация и определение типов многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту / А. А. Лapidус, С. И. Экба, С. А. Кормухин, Е. Т. Билонда // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 58–64.

2. Ekba, S. I. Methodology for grouping types of multi-apartment residential houses subject to overhaul / S. I. Ekba, E. B. Tregubova, S. A. Kormuhin // AIP Conference Proceedings / Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Application (ICERA 2022). – 2023. – № 10.

3. Fatullaev, R. S. Organizational and Technological Methods for Unscheduled Repair Works / R. S. Fatullaev // Components of Scientific and Technological Progress / Materials of the IX International Scientific Practical Conferene «The Role of Science in the Development of Society (Advanced Technology, Life Sciences)». – 2017. – № 3 (33) – P. 13–18.

4. Формирование индексов перехода от базового уровня цен к уровням цен в отдельных субъектах РФ в рамках разработки сборника укрупненных базовых стоимостей работ по капитальному ремонту МКД / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов,

- Качество выполненных работ.

Несомненно, исследование и разработка методики оптимизации управления капитальным ремонтом МКД на основе управленческих и организационно-технологических решений является важной и актуальной задачей, решение которой позволит сократить продолжительность работ на разных этапах капитального ремонта – проектирования, производства работ, приемки работ, что в свою очередь даст положительный экономический эффект.

REFERENCES

1. Klassifikatsiya i opredelenie tipov mnogokvartirnykh domov, podlezhashhikh kapital'nomu remontu [Classification and definition of types of apartment buildings subject to major repairs] / A. A. Lapidus, S. I. Ekba, S. A. Kormuhin, E. T. Bilonda // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 58–64.

2. Ekba, S. I. Methodology for grouping types of multi-apartment residential houses subject to overhaul / S. I. Ekba, E. B. Tregubova, S. A. Kormuhin // AIP Conference Proceedings / Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Application (ICERA 2022). – 2023. – № 10.

3. Fatullaev, R. S. Organizational and Technological Methods for Unscheduled Repair Works / R. S. Fatullaev // Components of Scientific and Technological Progress / Materials of the IX International Scientific Practical Conferene «The Role of Science in the Development of Society (Advanced Technology, Life Sciences)». – 2017. – № 3 (33). – P. 13–18.

4. Formirovanie indeksov perekhoda ot bazovogo urovnya tsen k urovnyam tsen v otdel'nykh sub"ektakh RF v ramkakh razrabotki sbornika ukрупnennykh bazovykh stoimostej rabot po kapital'nomu remontu MKD [Formation of indices of transition from the basic price level to price levels in certain subjects of the Russian Federation within the framework of the development of a collection of enlarged basic costs of work on capital repairs of the MKD] / R. S. Fatullaev, T. H. Bidov, D. E. Abdrashitova, G. A. Sabanov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2023. – № 3. – P. 389–392.

5. Fatullaev, R. S. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya, obosnovyvayushhie provedenie vneplanovykh rabot po kapital'nomu remontu mnogokvartirnykh domov [Organizational and technological solutions justifying the unscheduled overhaul of apartment buildings] / R. S. Fatullaev, A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2017. – Vol. 12, № 3 (102). – P. 304–307.

6. Chernikova, T. A. Napravleniya sovershenstvovaniya upravleniya ehkspluatatsiej i remontom zhilishchnogo fonda v sovremennykh usloviyakh [Directions for improving the management of the operation and repair of housing stock in modern conditions] / T. A. Chernikova, O. V. Titova // Stolypinskij vestnik [Stolypin Bulletin]. – 2022. – Vol. 4, № 7.

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

8. Fatullaev, R. S. Modeling and assessment of a multi-apartment residential house with a planned overhaul / R. S. Fatullaev // E3S Web of Conference / International Science Conference SPbWOSCE-2018 «Business Technologies for Sustainable Urban Development». – 2019. – Vol. 110. – P. 02157.

УДК 69.003; 69.003.12

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_88

Повышение организационно-технологической надежности возведения каменной кладки

Increasing the Organizational and Technological Reliability Level of Masonry Construction

Говоруха Петр Анатольевич

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, govoruhapa@gic.mgsu.com

Pyotr Anatolievich Govorukha

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, Yaroslavlshoshe, 26, govoruhapa@gic.mgsu.com

Сафарян Геворг Борисович

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, info.safaryan@gmail.com

Safaryan Gevorg Borisovich

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, Yaroslavlshoshe, 26, info.safaryan@gmail.com

Есенов Максим Казбекович

Студент магистратуры, кафедра «Железобетонные и каменные конструкции», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, max.esenov@yandex.ru

Esenov Maxim Kazbekovich

Graduate student, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavlshoshe, 26, max.esenov@yandex.ru

Аннотация.

Цель: в данной работе проведен обзор такого аспекта строительной отрасли, как надежность возведения каменной кладки, выявлены актуальные проблемы, для которых еще не найдены комплексные решения. Авторами также рассмотрены способы повышения эффективности производства строительных конструкций, с фокусировкой, в первую очередь, на достижении конкретных целей проектов и разумном использовании ресурсов. Основной целью работы является освещение необходимости актуализации нормативных документов согласно действующим тенденциям.

Методы: произведен обзор исследований по данной тематике, выявлены существующие ограничения. Проведено изучение рынка строительных материалов. Установлено, что наиболее распространенные значения трудозатрат и затрат материалов при возведении кирпичной кладки в нормативной документации завышены. Данный факт исключает возможность обеспечения надлежащего уровня организационно-технологической надежности процесса возведения каменной кладки.

Abstract.

Object: in this work, an overview of such an aspect of the construction industry as the reliability of masonry construction has been carried out, actual problems for which comprehensive solutions have not yet been found. The authors also consider ways to improve the efficiency of the production of building structures, focusing primarily on achieving specific project goals and reasonable use of resources. The main purpose of the article is to highlight the need to update regulatory documents according to current trends.

Methods: as a result of research articles review on this topic was carried out, that there are existing limitations. An experimental study and conclusions were carried out. It is established that the most common coefficient value in the regulatory documenta-

Результаты: установлено, что необходимы дальнейшие более глубокие исследования с использованием результатов эмпирических и теоретических исследований. Это может обеспечить объективные решения инженерных проблем в рассматриваемом аспекте строительной отрасли, которые позволят сократить отклонения по затратам.

Выводы: исходя из вышеизложенного, установлена необходимость формирования более глубокого понимания и исследования уровня организационно-технологической надежности возведения каменной кладки, что исключило бы факторы рисков и отклонений. В настоящее время исследования по данной тематике продолжаются. Для обеспечения оптимизации строительных процессов в части возведения каменных конструкций необходимо провести ряд исследований, в том числе экспериментальных.

Ключевые слова: строительство, надежность, организационно-технологическая надежность возведения каменной кладки, экономическое обоснование затрат при возведении каменной кладки, кирпичная кладка.

tion is overstated. This fact excludes the possibility of ensuring an appropriate level of organizational and technological reliability of the masonry construction process.

Results: it is stated that further more in-depth research using the results of empirical and theoretical studies is needed. It can provide an objective solutions to engineering problems in the considered construction industry aspect, which will reduce cost deviations.

Conclusion: based on the above, the need to form a deeper understanding and research the level of organizational and technological reliability of masonry construction, which would exclude the factors of risks and deviations has been established. The use of computational software systems and experiment is proposed as a design tool. Currently, research on this topic is ongoing. In

order to ensure optimization of construction processes in terms of masonry structures erection, it is necessary to conduct a number of studies, including experimental ones.

Введение

Строительная продукция всегда имела огромное значение для человечества. На протяжении многих веков для поддержания этой важной сферы деятельности были затрачены значительные ресурсы. Если рассматривать абсолютные показатели, такие как расход материалов, затраты на труд, стоимость оборудования и другие виды ресурсов, то строительная отрасль занимает лидирующее положение среди всех видов экономической деятельности человечества. В связи с этим строители и специалисты в области строительства на протяжении истории постоянно пытались найти наиболее эффективные методы производства строительной продукции.

Основной принцип эффективности в строительстве можно сформулировать следующим образом: строительная продукция должна быть создана с необходимыми количественными и качественными характеристиками, с использованием при этом необходимого и достаточного количества ресурсов. Этот принцип, хотя и кажется очевидным для всех, участвующих в производстве материальных благ, всегда предполагает разнообразные способы его практической реализации. Отдельное внимание необходимо уделить строительной продукции из мелкоштучных материалов, таких как каменная кладка.

Строительные конструкции из камня давно являются одними из наиболее широко используемых и распространенных компонентов при возведении зданий различной инфраструктуры. Их привлекательность объясняется существенной несущей способностью, долговечностью и весьма привлекательным внешним видом, что делает их одним из преобладающих вариантов для различных строительных проектов. Кирпич, блоки и природный камень в привычном понимании – это лишь несколько примеров таких каменных материалов, которые нашли широкое применение.

В России мелкоштучная каменная продукция играет существенную роль в строительстве: год от года производится и используется более 40 миллиардов единиц мелкоштучных материалов. Более 40 % жилых зданий в стране возведены из каменных строительных материалов. Применение подобных материалов постоянно растет. Технология каменной кладки используется как при возведении отдельных конструкций здания, таких как колонны, фундаменты, стены и перегородки, наружное заполнение стеновых проемов, так и при возведении здания в целом.

Ввиду того, что данный вид работ является актуальным, существует необходимость в глубоком и детальном изучении вопросов, связанных с ним, а также сопутствующих нюансов – начиная с уточнения коэффициентов надежности при различных видах напряженно-деформированного состояния, заканчивая коэффициентом учета степени квалификации человека, производящего данные работы, то есть степени расхода раствора, толщины швов, расхода камня, в зависимости от опыта и квалификации человека, возводящего кладку.

В ходе анализа нормативно-технической документации, фактов научно-технического прогресса и работ строительных предприятий выявлены возможные точки роста эффективности выполнения каменных работ.

Keywords: construction, reliability, organizational and technological reliability of masonry construction, economic justification of costs of masonry construction, brick masonry.

В современных условиях этого можно добиться за счет перераспределения затрат труда рабочих при возведении кладки и оптимизации процесса возведения каменных конструкций в целом. В настоящее время эти вопросы изучены недостаточно.

В действующих сметных нормах по каменным и армокаменным конструкциям ФЕР 08-01-001-04 «Кладка стен без облицовки: при высоте этажа до 4 м» [1], ГЭСН 08-02-008-01 «Кладка наружных стен из камней керамических или силикатных: простых при высоте этажа до 4 м» [2] приводятся несколько завышенные значения ряда параметров, затрат труда и материалов при возведении каменных конструкций.

В данной статье приведены результаты в части исследования рынка строительных материалов и сопоставление их характеристик и стоимостей. Наличие физико-механических показателей современных материалов, а также исследование, проведенное в рамках настоящей статьи, позволяющее выдвинуть гипотезу о возможности повышения уровня организационно-технологической надежности возведения каменной кладки путем учета использования современных материалов.

Имеет место быть явление несколько завышенных значений ряда параметров, таких как затраты труда и материалов при возведении каменных конструкций, что, в свою очередь, ведет к удорожанию производства работ, снижению уровня организационно-технологической надежности относительно возможно достижимой, увеличению сроков производства работ относительно возможных. Другими словами, учет использования современных материалов позволяет выполнить расчет оптимизированных показателей трудозатрат, сроков и стоимости подобных между собой задач возведения каменных конструкций, то есть сократить эти показатели и повысить уровень организационно-технологической надежности (далее – ОТН) относительно существующих и закреплённых в нормативной документации параметров.

Все эти вопросы требуют не только обязательного учета, но и дальнейших научных экспериментальных исследований и обоснований. Всё вышеперечисленное определяет актуальность выбранной темы.

Таким образом, технология и качество изготовления элементов каменной кладки, включая раствор, позволяют повысить уровень организационно-технологической надежности процесса возведения каменной кладки и, более того, достичь оптимизированных показателей, не нарушая конструктивных характеристик каменных конструкций. Затраты труда и материалов должны основываться на научных исследованиях и быть экономически обоснованными.

Более того, экспериментальные исследования, отраженные в статье Сафаряна Г. Б. и Есенова М. К. «Влияние уточнения коэффициента надежности каменной кладки на стоимость комплекса работ» [3], показывают, что существующие методы оценки прочности каменных конструкций с учетом совершенствования технологии изготовления элементов кладки не отражают реальной прочности кладки и из-за необоснованно завышенных коэффициентов перехода от временных сопротивлений

вероятность допущения ошибок со стороны производителей работ.

Закключение и обсуждение

Для достижения поставленной цели, то есть повышения ОТН возведения каменной кладки, должны быть решены следующие задачи:

- 1) провести обзор нормативной, научно-технической и учебной литературы в области проектирования кладки каркасных и стеновых конструктивных систем при проектировании несущих конструкций, демонстрируя способность к анализу, оценке и синтезу теоретической информации;
- 2) выполнение экспериментального подтверждения предположений, отраженных в настоящей статье;
- 3) приведение и выполнение технико-экономического сравнения вариантов конструктивного решения основных несущих элементов здания.

В настоящее время исследования по данной тематике продолжаются. Для обеспечения оптимизации строительных процессов в части возведения каменных конструкций необходимо провести ряд исследований, в том числе экспериментальных.

Существующие нормативные документы в части организации производства работ по возведению каменных конструкций не учитывают реального состояния вопроса в области современных технологий производства каменных материалов и, соответственно, качества ведения строительно-монтажных работ при возведении конструкций из каменных материалов.

0,092 м³. Ниже представлена таблица 4, в которой отражены стоимости смеси марки М150, при использовании которой возможно устройство шва толщиной 5 мм. Средняя стоимость трех поставщиков за 0,092 м³, т. е. количества, необходимого для возведения 1 м³ кладки, раствора марки М150 составила 473,73 руб./м³.

Анализируя полученные результаты, получили вывод о том, что сумма стоимости воды, труда рабочих и растворной смеси, в соответствии с фактом, в среднем составляют 7054,48 руб.

Однако последнее значение стоимости получено без учета снижения трудозатрат рабочих вследствие уменьшения растворного шва в 2,4 раза (рассматриваются швы толщиной 12 и 5 мм).

Результаты исследования

Полученные показатели отражают снижение стоимости возведения 1 м³ каменной кладки как минимум на 15 %. Данные результаты получены без учета снижения затрат труда рабочих.

Также в настоящей статье не приведено значение снижения стоимости возведения каменной кладки, полученного в ходе исследования [3], основой которого послужил перечень работ [6–12].

Грамотный подход к оптимизации возведения каменной кладки с точки зрения организационно-технологической надежности поможет избежать финансовых потерь заказчика, а также сэкономить время производства работ. С другой стороны, чем меньше трудозатрат на выполнение того или иного вида работ потребуется, тем ниже

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кладка стен без облицовки: при высоте этажа до 4 м : ФЕР 08-01-001-04 : Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы : утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 253 / Федеральный центр ценообразования в строительстве и промышленности строительных материалов. – Москва, 2009.

2. Кладка наружных стен из камней керамических или силикатных: простых при высоте этажа до 4 м : ГЭСН 08-02-008-01 : Государственные элементные сметные нормы на строительные работы : утверждены Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 30 декабря 2021 года № 1046/пр / Межрегиональный центр по ценообразованию в строительстве и промышленности строительных материалов Госстроя России. – Москва, 2021.

3. Сафарян, Г. Б. Влияние уточнения коэффициента надежности каменной кладки на стоимость комплекса работ / Г. Б. Сафарян, М. К. Есенов. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_56 // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 56–62.

4. ЕНиР. Сборник ЕЗ. Каменные работы : утв. постановлением Гос. строит. комитета СССР, Гос. комитета СССР по труду и соц. вопросам и Секретариата ВЦСПС от 5 декабря 1986 г. № 43512/29–50 / Госстрой СССР. – Москва : Прейскурантиздат, 1987. – 48 с.

5. Технология строительного производства : учебник для строительных вузов / С. С. Атаев, Н. Н. Данилов, Б. В. Прыкин, Т. М. Штоль, Э. В. Овчинников. – Москва : Стройиздат, 1984. –

REFERENCES

1. Kladka sten bez oblitsovki: pri vysote ehtazha do 4 m : FER 08-01-001-04 [Masonry walls without cladding: at a floor height of up to 4 m : FER 08-01-001-04] : Gosudarstvennye smetnye normativy. Federal'nye edinichnye rastsenki na stroitel'nye i spetsial'nye stroitel'nye raboty [State estimated

standards. Federal unit prices for construction and special construction works] : utv. prikazom Ministerstva regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 253 [approved by Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation No. 253 dated November 17, 2008] / Federal'nyj tsentr tsenoobrazovaniya v stroitel'stve i promysh-

жа до 4 м, согласно ГЭСН 08-02-008-01 [2], необходимо 4,58 чел.-ч затрат труда рабочих-строителей разряда 2,7. Возвращаясь к п. 3 списка [1] и сопоставляя его с расходом материалов из [2], становится очевидным, что для возведения 1 м³ каменной кладки вышеописанной конструкции необходимо использовать 0,22 м³ кладочного раствора и 0,2 м³ воды.

Рекомендуемая толщина растворного шва каменной кладки составляет порядка 10–12 мм согласно НТЛ [5]. Однако фактически данная толщина зачастую превышаетс.

В таблицах 1 и 2 приведены соответственно стоимости 0,22 м³ кладочного раствора и 0,2 м³ воды.

Нижеприведенное сравнение затрагивает разницу рыночных стоимостей различных кладочных смесей. Сравнению подлежат смеси, в указании к применению которых указана рекомендуемая толщина шва 10–12 мм (см. таблицу 1) и 5–10 мм (см. таблицу 4). Исходя их этой разницы представляется возможным оценить, насколько минимально может измениться стоимость возведения 1 м³ каменной кладки. Необходимо также учитывать, что при снижении объема потребляемого раствора имеет место быть факт снижения трудозатрат.

Представленные ниже стоимости являются актуальными рыночными стоимостями материалов на дату публикации настоящей работы. Заработные платы рабочих также представлены среднерыночными на дату публикации настоящей работы.

Средняя стоимость трех поставщиков за 0,22 м³, т. е. количества, необходимого для возведения 1 м³ кладки, раствора марки М150 составила 1665,61 руб./м³.

Средняя стоимость трех поставщиков за 0,2 м³, т. е. количества, необходимого для возведения 1 м³ кладки, технической воды составила 1600,00 руб./м³.

В нижеприведенной таблице № 3 отражены средние заработные платы разнорабочих 2 и 7 разрядов. Цены взяты в соответствии с нынешними тенденциями на уровень заработной платы в реалиях российского рынка.

Анализируя полученные результаты, получили вывод о том, что сумма стоимости воды, труда рабочих и растворной смеси, в соответствии с действующими нормативными документами, в среднем составляют 8246,36 руб./м³.

Исходя из расчета пропорций толщин шва, а затем и объемов необходимого потребляемого материала, получаем итоговый объем кладочного раствора, допускающего толщину шва в 5 мм, при толщине шва, равной 5 мм. При данной толщине необходимый объем раствора составляет

Разряд строителя	Заработная плата в смену	Заработная плата в 1 чел.-час	Заработная плата в 4,58 чел.-час
2	3500,00 руб.	437,50 руб.	2003,75 руб.
7	5200,00 руб.	650,00 руб.	2977,00 руб.

Табл. 3. Сопоставление заработных плат строителей 2 и 7 разрядов
Tab. 3. A comparison of the wages of construction workers in grades 2 and 7

Марка раствора	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
150	475,00 руб. (ООО «СТРОЙПАРТНЕР»)	475,00 руб. («ОСНОВИТ»)	471,20 руб. (АО «ГЛАВСНАБ»)

Табл. 4. Стоимость 0,092 м³ растворов марки М150 различных поставщиков
Tab. 4. Cost of 0,092 м³ M150 mortars from different suppliers

Марка раствора	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
150	1510,08 руб. («Стройкомплект»)	2352,24 руб («Стройкомплект»)	1134,50 руб. («ОСНОВИТ»)

Табл. 1. Стоимость 0,22 м³ растворов марки М150 различных поставщиков
Tab. 1. Cost of 0,22 м³ M150 mortars from different suppliers

Марка раствора	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
25	800,00 руб. («Био-Сфера»)	3000,00 руб (ООО «ЭкоКлир»)	1000,00 руб. («Do-vod78»)

Табл. 2. Стоимость 0,2 м³ воды различных поставщиков
Tab. 2. Cost of 0,2 м³ water from different suppliers

к расчетным значениям (коэффициентов надежности кладки) для различных видов ее напряженного состояния. Анализ результатов экспериментальных исследований прочности кирпичной кладки при различных видах ее напряженного состояния, то есть при различных вариантах приложения нагрузки (сжатие, растяжение, сдвиг и т. д.), позволил констатировать, что рекомендуемый в нормах коэффициент перехода от временного сопротивления кладки к ее расчетному значению не подтвержден экспериментом и каким-либо научным обоснованием.

Данное обстоятельство также не способствует повышению организационно-технологической надежности процесса возведения каменных конструкций.

Материалы и методы

Несмотря на прекращение статуса действующего нормативного документа, по сегодняшний день ЕНиР Сборник ЕЗ «Каменные работы» [4] используется в качестве обучающего материала для студентов технических вузов. В этой связи авторы считают возможным использование некоторой информации из вышеупомянутого нормативного документа. Согласно ЕНиР «Каменные работы» [4], при устройстве каменных конструкций, таких как кладка фундаментов, стен и столбов под лопатку, выделяются следующие виды работ:

- 1. Опускание материалов в траншею;
- 2. Натягивание чалки;
- 3. Перелопачивание, расстилание и разравнивание раствора;
- 4. Подбор камней;
- 5. Кладка верстовых рядов с выкладкой всех усложнений кладки (пилястры, контрфорсы и т. д.) с тщательной приколкой камня стен и столбов;
- 6. Кладка забутки с грубой приколкой камня;
- 7. Расщепенка пустот с бойкой щебня;
- 8. Укладка железобетонных брусковых перемычек с подливкой раствора, пригонкой перемычек по месту и заполнением швов между брусками раствором (при кладке стен с проемами);
- 9. Кладка облицовки (при кладке стен с облицовкой).

Говоря в разрезе системотехнической методологии, необходимо также отметить, что при возведении каменных конструкций будет несколько некорректно не учитывать такие факторы, как логистика, степень квалификации производителя работ, технологические параметры и прочее.

В рамках настоящей статьи авторы предлагают более подробно рассмотреть пункт № 3.

Для возведения 1 м³ каменной кладки стен из камней керамических или силикатных простых при высоте эта-

- lennosti stroitel'nykh materialov [Federal Center for Pricing in Construction and the Building Materials Industry]. – Moscow, 2009.
- Kladka naruzhnykh sten iz kamnej keramicheskikh ili silikatnykh: prostykh pri vysote ehtazha do 4 m : GEHSN 08-02-008-01 [Masonry of exterior walls made of ceramic or silicate stones: simple with a floor height of up to 4 m : GESN 08-02-008-01] : Gosudarstvennye ehlementnye smetnye normy na stroitel'nye raboty [State element estimates for construction work] : utverzhdeny Prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii 30 dekabrya 2021 goda № 1046/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on December 30, 2021 No. 1046/pr] / Mezhr regional'nyj tsentr po tsenoobrazovaniyu v stroitel'stve i promyshlennosti stroitel'nykh materialov Gosstroya Rossii [Interregional Center for Pricing in Construction and the Building Materials Industry Gosstroy of Russia]. – Moscow, 2021.
 - Safaryan, G. B. Vliyanie utochneniya koehffitsienta nadezhnosti kamennoj kladki na stoimost' kompleksa rabot [The influence of clarifying the reliability coefficient of masonry on the cost of a complex of works] / G. B. Safaryan, M. K. Yesenov. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_56 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 3. – P. 56–62.
 - ENiR. Sbornik E3. Kamennye raboty [ENiR. Collection E3. Stone works] : utv. postanovleniem Gos. stroit. komiteta SSSR, Gos. komiteta SSSR po trudu i sots. voprosam i Sekretariata VTSSPS ot 5 dekabrya 1986 g. № 43512/29–50 [approved by the decree of the State. builds. Committee of the USSR, State Committee of the USSR on Labor and Social Issues and the Secretariat of the Central Committee of the USSR dated December 5, 1986 No. 43512/29–50] / Gosstroj SSSR [Gosstroy of the USSR]. – Moscow : Pricelist Publishing House, 1987. – 48 p.
 - Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva : uchebnik dlya stroitel'nykh vuzov [Technology of construction production: textbook for construction universities] / S. S. Ataev, N. N. Danilov, B. V. Prykin, T. M. Stoll, E. V. Ovchinnikov. – Moscow : Stroyizdat, 1984. – 559 p.
 - Pangaev, V. V. Razvitie raschetno-ehksperimental'nykh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennykh konstrukt-sij : avtoreferat ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.01 [Development of computational and experimental methods for studying the strength of masonry of stone structures : abstract ... Doctor of Technical Sciences : 05.23.01] / Pangaev Valery Vladimirovich ; Novosib. gos. arkhitektur-stroit. un-t [Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering]. – Novosibirsk, 2009. – 35 p.
 - Petry, S. Scaling unreinforced masonry structures with hollow-core clay bricks for laboratory testing / S. Petry, K. Beyer // Vienna congress on recent advances in earthquake Engineering and structural Dynamics, Vienna, Austria, 28–30 August 2013. – 2013. – № 191. – P. 1–10.
 - Zubkov, S. V. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv kirpichnoj kladki metodom ploskikh domkratov [Investigation of mechanical properties of brickwork by the method of flat jacks] / S. V. Zubkov, A. V. Ulybin, S. D. Fedotov // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Engineering and Construction Journal]. – 2015. – № 8. – P. 20–28.
 - Raizer, V. Reliability of Structures: Analysis and Applications / V. Raizer. – USA : Backbone Publishing Company, 2009. – 145 p.
 - Derkach, V. N. Anizotropiya prochnosti na rastyazhenie kamennoj kladki pri raskalyvanii [Anisotropy of the tensile strength of masonry during splitting] / V. N. Derkach // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie [Scientific and Technical Bulletin of SPbGPU. Science and education]. – 2012. – P. 259–264.
 - Derkach, V. N. Deformatsionnye kharakteristiki kamennoj kladki v usloviyakh ploskogo napryazhennogo sostoyaniya [Deformation characteristics of masonry in a flat stressed state] / V. N. Derkach // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2012. – № 2 (40). – P. 3–10.
 - Derkach, V. N. Issledovanie modulya uprugosti kamennoj kladki iz keramicheskikh i silikatnykh ehlementov [Investigation of the modulus of elasticity of masonry made of ceramic and silicate elements] / V. N. Derkach, A. V. Galalyuk // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B [Bulletin of the Polotsk State University. Series B]. – 2010. – № 12. – P. 77–81.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_92

Системотехнический подход при разработке проектов объектов капитального строительства

System-Technical Approach in the Development of Capital Construction Facilities

Михальченко Олег Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», Россия, 630008, Новосибирск, улица Ленинградская, 113, oleg_mik@mail.ru

Mikhailchenko Oleg Yurievich

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

Аннотация. Все проблемы, возникающие в современной строительной отрасли нашей страны, носят системотехнический характер. Системотехника в строительстве – это наука, изучающая взаимосвязь технических, организационных, управленческих, экономических и других систем, направленных на получение конечного результата с заданными и контролируемыми параметрами. Проблема обеспечения принятия оптимальных организационно-технологических решений при строительстве объектов в стохастических условиях строительного производства является малоизученной, имеет высокую практическую актуальность и значимость для строительной отрасли.

В статье рассмотрены основные принципы применения

системотехнического подхода при разработке проектов строительства объектов капитального строительства. Рассмотрены основные этапы системотехнического процесса при проектировании: инвестиционный, этап объемно-конструктивного проектирования, этап организационно-технологического проектирования, инжиниринг.

Отмечена необходимость использования многовариантных математических моделей при проектировании объектов капитального строительства, позволяющих моделировать различные сценарии поведения строительной системы в вероятностных условиях.

Отмечена необходимость разработки методов, позволяющих

учитывать наиболее эффективное сочетание технических, технологических, экономических, организационных и других решений в контексте стоимости и продолжительности строительства, определенных на начальной стадии разработки проекта в условиях строительной системы, функционирующей в

Abstract. All problems arising in the modern construction industry of our country are of a system-technical nature. Systems engineering in construction is a science that studies the interconnection of technical, organizational, managerial, economic and other systems aimed at obtaining the final result with given and controlled parameters. The problem of ensuring the adoption of optimal organizational and technical decisions during the construction of objects in the stochastic conditions of construction production is little studied, but has high practical relevance and significance for the construction industry.

The article discusses the basic principles of using a systems engineering approach when developing projects for the construction of capital construction projects. The main stages of the systems engineering process during design are considered: investment, stage of volumetric and structural design, stage of

Введение

По мнению автора, все проблемы капитального строительства носят системотехнический характер. Анализ проблем, возникающих на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, в том числе и на этапе проектирования, позволяет сделать вывод о недостаточной взаимосвязи технических, организационных, управленческих, экономических и других систем на различных этапах.

В статье рассмотрены этапы системотехнического подхода при проектировании объектов капитального строительства. Предложен подход, при котором учитываются стохастический и вероятностный характер строительного производства и организационно-технологические особенности объекта.

Материалы и методы

Материалы и методы исследования: метод анализа иерархий, теория хаоса, анализ, синтез – это методы, которые могут быть использованы для анализа проектов строительства объектов капитального строительства. Проведен анализ отдельных этапов системотехнического процесса проектирования. В рамках синтеза объединены различные этапы системотехнического процесса проектирования для обеспечения комплексного подхода к проектному процессу.

Результаты

В нашей стране сформировалась практика применения «проектного подхода» к проектированию объектов капитального строительства [1]. Основными принципами такого подхода считаются:

- системность – которой учитывается взаимодействие всех подсистем в реализации цели проекта. Системность проектного подхода означает, что проектирование должно быть спланировано, а структура проекта должна быть предсказуема;
- адаптивность – которой учитывается необходимость гибкого реагирования параметров проекта на внешние факторы;
- эффективность – которой учитывается необходимость соблюдения требуемого значения эффективности на всех этапах реализации проекта. Проект должен быть реализован в максимально короткие сроки и при минимальных затратах.

вероятностных условиях с воздействием стохастических факторов.

Ключевые слова: системотехнический подход, системотехника, организационно-технологическая надежность, строительство, проект.

organizational and technological design, engineering.

The need to use multivariate mathematical models in the design of capital construction projects, which allow simulating various scenarios of the behavior of the building system in probabilistic conditions, is noted.

The need to develop methods that allow taking into account the most effective combination of technical, technological, economic, organizational and other solutions in the context of the cost and duration of construction, determined at the initial stage of project development in the conditions of a construction system operating in probabilistic conditions with the influence of stochastic factors, is noted.

Keywords: systems approach, systems engineering, organizational and technological reliability, construction, project.

Эти же принципы являются основой системотехники в строительстве. Системотехника в строительстве – это наука, изучающая взаимосвязь технических, организационных, управленческих, экономических и других систем, направленных на получение конечного результата с заданными и контролируемыми параметрами.

Само понятие «системотехника» появилось в 60-е годы XX века и было связано с разработкой и развитием автоматизированных систем в различных областях народного хозяйства. Применение системотехники в строительстве было связано с необходимостью взаимосвязи различных сложных систем (технических, управленческих, экономических и др.) в строительном производстве [2; 3; 4]. Вместе с тем необходимость такой взаимосвязи поставила ряд важнейших системотехнических вопросов, актуальных и в настоящее время, например, оценка эффективности проекта, учет факторов неопределенности (риска) на этапах жизненного цикла объекта и т. д. [5; 6]. Системотехнический подход обеспечивает взаимосвязь всех процессов и систем строительной отрасли, разрозненных в силу специализации и отраслевых различий, и является необходимым условием успешного решения проблем строительства.

Системотехнический процесс проектирования включает 4 этапа: инвестиционный, объемно-конструктивный, этап организационно-технологического проектирования, инжиниринг.

Инвестиционный этап

Сутью инвестиционного этапа является эффективное использование параметров финансовых потоков; объемно-конструктивного – ресурсов; организационно-технологического – временных параметров реализации проекта.

Для успешного выполнения строительных проектов также необходимо обеспечить достаточное информационное обеспечение проекта. Для этого необходимо использовать передовые информационные технологии, такие как интернет вещей, блокчейн и искусственный интеллект, для сбора и анализа информации, а также планирования и управления ресурсами. Эти технологии могут помочь проектным организациям в планировании, мониторинге и контроле всех этапов проекта, повышать уровень безопасности и обеспечивать высокое качество

строительства. Кроме того, использование инновационных технологий позволяет проектам быть более эффективными, быстрыми и дешевыми.

Одним из основных документов при обосновании планов считаются Методические рекомендации по технико-экономическим исследованиям промышленных предприятий, подготовленные в соответствии с методологией UNIDO [7]. Эти рекомендации обеспечивают анализ структурных элементов проекта и помогают проектной организации получить полное представление о проекте и его потенциальных рисках. Также эти рекомендации позволяют анализировать и оценивать риски и возможности проекта, а также разрабатывать правильные стратегии для достижения желаемого результата. За показатель эффективности инвестиционного проекта в соответствии с данными рекомендациями принимается величина чистого дисконтированного дохода. Метод позволяет оценить эффективность инвестиционного проекта при принятии решения о его реализации, а в последующем оптимизировать денежные потоки такого проекта.

Такая оценка производится на стадии предпроектного обоснования, а параметры проекта отражаются в технико-экономическом обосновании, бизнес-плане объекта. Параметры, определенные в этих документах, служат заданиями на разработку технической части проекта для конкретного объекта капитального строительства.

Этап объемно-конструктивного проектирования

Объемно-конструктивный этап проектирования включает в себя выбор материалов и технологий для их использования в проекте, разработку проектной документации, планирование и контроль сроков исполнения и определение проектных рисков.

Задача выбора проектных решений тесно связана с технико-экономическим обоснованием таких решений. На стадии проектирования не всегда удается достоверно определить технико-экономические показатели конструкций и материалов, в связи с чем при оптимизации проектных решений используются упрощенные методы. Как правило, рассматриваются только два параметра: стоимость и масса. При этом стоимость материала или конструкции в большинстве случаев считается достаточным критерием оптимизации. При таком подходе эффективность использования конкретного материала или конструкции в реальном объекте не учитывается, что, в свою очередь, приводит к появлению непредвиденных рисков на последующих этапах жизненного цикла объекта.

В связи с необходимостью обработки большого объема статистической информации о конструкциях, необходимых для строительства зданий, решение этой проблемы практически невозможно без создания базы технико-экономических показателей сборных конструкций и системы информационного поиска для управления ими.

Многообразие подходов к обоснованию объемно-конструктивных параметров создает значительные трудности в их практическом использовании. При этом отсутствует системная информационная связь между методиками обоснования и разработкой организационно-технологических решений объектов.

Этап организационно-технологического проектирования

Организационно-технологическое проектирование – сложный комплексный процесс, результатом которого

является комплекс технических, производственных, технологических и иных мероприятий, обеспечивающих строительство объекта капитального строительства с заданными параметрами с учетом его конструктивных особенностей.

Этот этап включает в себя планирование структуры организации проекта, процесс принятия решений и процесс управления проектом, а также описывает все рабочие процессы. Также необходимо принимать во внимание организационно-технологическую надежность, чтобы гарантировать безопасность и надежность используемых технологий и материалов, а также предотвратить потерю денег и времени и неожиданные затраты во время выполнения строительных проектов.

Этап организационно-технологического проектирования является особенно важным, так как именно на этом этапе должна оцениваться эффективность применения различных материалов и технологий для достижения заданных параметров как отдельных элементов объекта, так и всего инвестиционного проекта в целом.

Для решения задач этапа организационно-технологического проектирования необходимы:

- учет взаимосвязи организации работ, производства, экономических показателей, маркетинга при выборе организационно-технологических решений проекта;
- возможность оперативной корректировки параметров проекта;
- максимальное использование стандартизованных организационно-технологических решений проекта;
- использование единого информационного пространства для мониторинга и оперативного управления параметрами проекта.

Этап инжиниринга

Инжиниринг на стадии разработки проектов призван обеспечить мониторинг организационно-технологических, управленческих, экономических процессов с учетом заданных параметров инвестиционного проекта [8].

Задачи инжиниринга:

- разработка проектной документации;
- разработка конструкторской документации;
- разработка организационно-технической (технологической) документации;
- разработка рекомендаций, проведение мониторинга проектной, конструкторской или организационно-технической (технологической) документации.

Применение системотехники в строительстве привело к анализу проблем, возникающих на стыке систем в строительстве (например, проектирование и планирование, управление и календарное планирование, проектирование и маркетинг и т. д.), и изучению проблемы эффективного взаимодействия таких систем и их элементов.

В современной науке все большее внимание уделяется изучению влияния вероятностных явлений на различные объекты. Ярким примером системы, функционирующей в вероятностных условиях с воздействием стохастических факторов, является строительство. Игнорирование этого факта приводит к недоверию принимаемых организационных, технологических, технических и управленческих решений.

Метод, позволяющий изучить поведение такой сложной системы, как строительное производство, – это мате-

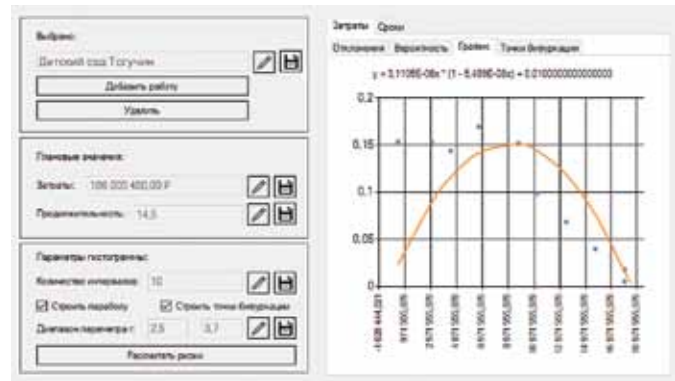


Рис. 1. Зависимость вероятности возникновения отклонений по затратам

Fig. 1. Dependence of the probability of occurrence of cost deviations

матическое моделирование. Этот метод дает возможность создать модель с обратной связью, которая, в свою очередь, позволит гибко корректировать параметры системы при воздействии на систему стохастических факторов для обеспечения заданных параметров как отдельных элементов, так и всей системы.

Сложившаяся система проектирования, как правило, не учитывает вероятностный характер строительства [9; 10]. Основными критериями для выбора конструкции объектов остаются минимальная стоимость материалов, конструкций и оборудования, минимальный расход материалов, минимальные затраты времени на монтаж и т. д. На основании этих данных разрабатывается проектная документация и определяются продолжительность строительства и затраты на строительство объекта. На практике такие решения не всегда являются самыми эффективными и при воздействии стохастических факторов в условиях строительного производства приводят к срыву сроков строительства и удорожанию.

На основании проведенного исследования автором предложена математическая модель, учитывающая воздействие стохастических факторов на различные элементы строительной системы. Данная модель реализована в программном комплексе для ЭВМ. Для построения модели использованы данные проектов организации строительства, сметной и исполнительной документации 30 объектов капитального строительства социального назначения (детские сады, школы, объекты здравоохранения). На основании этих данных с использованием метода анализа иерархий получены зависимости вероятностей возникновения отклонений по затратам и продолжительно-

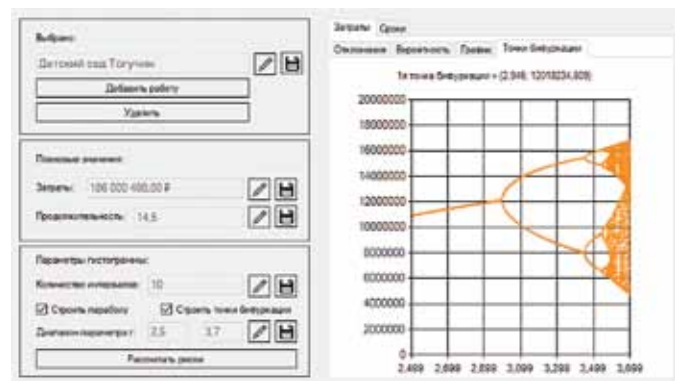


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма

Pic. 2. Bifurcation diagram

сти работ для каждого элемента системы на каждом этапе жизненного цикла объекта (рис. 1).

Полученные зависимости использованы для определения критических состояний системы и управления рисками, возникающими на этапах жизненного цикла объекта. Данная модель позволила оперативно корректировать параметры системы при воздействии стохастических факторов, что обеспечило возможность контроля заданных параметров.

В ходе исследования установлено, что при определенных сочетаниях стохастических факторов, возникающих на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, строительная система начинает проявлять себя как самоорганизованно критическая, в определенный момент начинает терять заданные параметры и переходит в состояние хаоса (бифуркации) (рисунок 2). Дальнейшие исследования направлены на определение бифуркаций как отдельных элементов системы, так и всей системы в целом, что позволит применять организационно-технические мероприятия с целью недопущения хаотического поведения системы.

По результатам апробации полученной модели можно сделать вывод, что проектные решения необходимо рассматривать как комплекс взаимосвязанных технических, технологических, экономических, организационных решений, где экономическая составляющая позволяет выбрать лишь вариант решения для дальнейшей его оценки с учетом всего комплекса факторов.

Решение такой задачи, как ранее отмечалось, возможно лишь с использованием многовариантных математических моделей при проектировании. Различные модели поведения такой системы с учетом различного сочетания технических, технологических, экономических, организационных решений могут обеспечить выбор оптимального решения [11; 12].

Обсуждение

Проведенный анализ позволяет утверждать, что проблемы, возникающие в процессе реализации инвестиционных проектов строительства, носят системотехнический характер. Все эти проблемы делятся на технические, технологические, организационные, экономические и управленческие. Система проектирования должна обеспечивать эффективную взаимосвязь этих групп в условиях вероятностного характера строительного производства и учитывать организационно-технологические особенности каждой.

Заключение

Методология обоснования строительных проектов меняется по мере изменения рыночной среды. Новая методология должна обеспечить разработку методов, позволяющих учитывать наиболее эффективное сочетание технических, технологических, экономических, организационных и других решений в контексте стоимости и продолжительности строительства, определенных на начальной стадии разработки проекта в условиях строительной системы, функционирующей в вероятностных условиях с воздействием стохастических факторов.

Решение этой задачи возможно в рамках системотехнического подхода, который обеспечивает эффективное взаимодействие различных систем на всех этапах проектного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков, В. Н. Модели и методы управления организационными системами / В. Н. Бурков. – Москва : Наука, 1994. – 270 с.

2. Герасимов, В. В. Интегрированная надежность эффективности управления реализацией проектов / В. В. Герасимов, А. Л. Кунц, О. Ю. Михальченко // Сборник научных трудов «Теория и практика инновационной стратегии региона». – Кемерово : КТУ, 2011. – С. 76–82.

3. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург и др. – Москва : SvR-Аргус, 1994. – 472 с.

4. Гусаков, А. А. Системотехника в строительстве / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1993. – 245 с.

5. Лapidus, А. А. Организационно-технологическая надежность производственно-логистических процессов в строительстве / А. А. Лapidus, Г. Б. Сафарян // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 3. – С. 121–125.

6. Чапидзе, О. Анализ факторов риска в строительной отрасли / О. Чапидзе, А. Лapidus // Русский инженер. – 2020. – № 2 (67). – С. 45–48.

7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 № ВК477 / Гострой РФ. – Москва, 1999. –

REFERENCES

1. Burkov, V. N. Modeli i metody upravleniya organizatsionnymi sistemami [Models and methods of managing organizational systems] / V. N. Burkov. – Moscow : Nauka, 1994. – 270 p.

2. Gerasimov, V. V. Integrirovannaya nadezhnost' ehffektivnosti upravleniya realizatsiej proektov [Integrated reliability of project implementation management efficiency] / V. V. Gerasimov, A. L. Kunc, O. Yu. Mikhachenko // Sbornik nauchnykh trudov «Teoriya i praktika innovtsionnoj strategii regiona» [Collection of scientific papers «Theory and practice of regional innovation strategy»]. – Kemorovo : KTU, 2011. – P. 76–82.

3. Gusakov, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'stva [Organizational and technological reliability of construction] / A. A. Gusakov, S. A. Veremeenko, A. V. Ginzburg and others. – Moscow : SvR-Argus, 1994. – 472 p.

4. Gusakov, A. A. Sistemotekhnika stroitel'stva [Construction System Engineering] / A. A. Gusakov. – Moscow : Stroyizdat, 1993. – 368 p.

5. Lapidus, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov v stroitel'stve [Organizational and technological reliability of production and logistics processes in construction] / A. A. Lapidus, G. B. Safaryan // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 3. – P. 121–125.

6. Chapidze, O. Analiz faktorov riska v stroitel'noy otrasli [Analysis of engineer factors in the construction industry] / O. Chapidze, A. Lapidus // Russkij inzhener [Russian Engineer]. – 2020. – № 2 (67). – P. 45–48.

7. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ehffektivnosti investitsionnykh proektov [Methodological recommendations for assessing the effectiveness of investment projects] : utv. Ministerstvom ekonomiki RF, Ministerstvom finansov RF, Gosudarstvennym komitetom RF po stroitel'noy, arkhitekturnoy i zhilishhnoy politike 21.06.1999 № VK477 [approved The Ministry of Economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation, the State Committee of the Russian Federation for Construction, Architecture and Housing Policy No. VK477] / Gostroy RF on 06/21/1999. – Moscow, 1999. – 623 p.

623 с.

8. Инжиниринг в строительстве. Термины и определения : ГОСТ Р 58179-2018 : Национальный стандарт Российской Федерации : утв. и введ. в действ. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 июля 2018 г. № 416-ст : дата введения 2018-09-01 / Нац. Ассоциация инженеров-консультантов в строительстве; Отраслевой центр капитального строительства ГК «Росатом»; АО «ПМСОФТ»; Университет управления проектами ГК «ПМСОФТ»; АНО «Институт безопасности труда». – Москва, 2018.

9. Михальченко, О. Ю. Организационная надежность планирования строительства объектов : дисс. канд. техн. наук : 05.23.08 / Михальченко Олег Юрьевич ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 150 с.

10. Сафарян, Г. Б. Надежность производственно-логистических процессов при организации строительства жилых зданий : дисс. канд. техн. наук : 05.02.22 / Сафарян Геворг Борисович; МГСУ. – Москва, 2019. – 162 с.

11. Walker, A. Project management in construction / A. Walker. – Oxford : Blackwell Science, 2002. – 289 p.

12. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 2nd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011. – 624 p.

8. Inzhiniring v stroitel'stve. Terminy i opredeleniya : [Engineering in construction. Terms and definitions] : GOST R 58179-2018 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii : utv. i vved. v dejstv. Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 16 iyulya 2018 g. № 416-st [GOST R 58179-2018 : National Standard of the Russian Federation : approved and introduced. in action. by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 16, 2018 No. 416-st] : data vvedeniya 2018-09-01 [date of introduction 2018-09-01] / Nats. Assotsiatsiya inzhenerov-konsul'tantov v stroitel'stve; Otrasevoj tsentr kapital'nogo stroitel'stva GK «Rosatom»; AO «PMSOFT»; Universitet upravleniyaproektami GK «PMSOFT»; ANO «Institut bezopasnosti truda» [National Association of Consulting Engineers in Construction; Industrial Center for Capital Construction of Rosatom State Corporation; JSC PMSOFT; University of Project Management of PMSOFT State Corporation; ANO Institute of Labor Safety]. – Moscow, 2018.

9. Mikhachenko, O. Yu. Organizatsionnaya nadezhnost' planirovaniya stroitel'stva ob'ektov : kand. tekhn. nauk [Organizational reliability of facility construction planning : dis. ...Candidate of Technical Sciences : 05.23.08] / Mikhachenko Oleg Yuryevich ; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. – Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2012. – 150 p.

10. Safaryan, G. B. Nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov pri organizatsii stroitel'stva zhilykh zdaniy : diss. ...kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [Reliability of production and logistics processes in the organization of construction of residential buildings : diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.02.22] / Safaryan Gevorg Borisovich; MGSU. – Moscow, 2019. – 162 p.

11. Walker, A. Project management in construction / A. Walker. – Oxford : Blackwell Science, 2002. – 289 p.

12. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 2nd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011. – 624 p.

УДК 69.05, 624.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_97

Определение параметров модели прогнозирования материальных ресурсов для строительства жилых зданий на этапе обоснования инвестиций

Determining the Parameters of a Model for Forecasting Material Resources for the Construction of Residential Buildings at the Investment Feasibility Assessment Stage

Макаров Александр Николаевич

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, anmakarof@yandex.ru

Makarov Aleksandr Nikolaevich

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, Yaroslavskoe shosse, 26, anmakarof@yandex.ru

Гуреев Михаил Владимирович

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

Gureev Mikhail Vladimirovich

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, mvvgureev@gmail.com

Аннотация. Нулевой этап жизненного цикла каждого объекта строительства предполагает рассмотрение существенного набора параметров (ограничения по высоте и плотности застройки, площади земельного участка, параметров технического присоединения к магистральным сетям и др.), что неизбежно влечет высокого уровня неопределенность и сложность оценки стоимости строительства. Вместе с тем в процессе обоснования инвестиций инвестор еще не располагает готовыми проектными материалами – как следствие, это сказывается на точности оценки как стоимости, так и продолжительности работ.

Вместе с тем необходимо отметить, что область строительного производства, связанная с принятием управленческих решений на этапе инвестиционной оценки, изучена недостаточно, и возможность прогнозирования различных технических и экономических характеристик с использованием технологий машинного обучения и искусственного интеллекта (МО) представляется перспективным направлением исследования.

Abstract. The zero stage of the life cycle of each construction project involves consideration of a significant set of parameters (restrictions on the height and density of buildings, land area, parameters of technical connection to main networks, etc.), which inevitably entails a high level of uncertainty and complexity in estimating the cost of construction. At the same time, in the process of justifying investments, the investor does not yet have ready-made design materials - as a result, this affects the accuracy of the assessment of both the cost and duration of the work.

At the same time, it should be noted that the area of construction production associated with making management decisions at the stage of investment assessment has not been studied enough and the ability to predict various technical and economic characteristics using machine learning and artificial intelligence (AI) technologies seems to be a promising area of research.

Введение

Прежде всего, необходимо отменить, что такой важный этап обоснования инвестиций, или как его еще называют этап предпроектной проработки (ПП), во многих компаниях на сегодняшний день ведется традиционно

В статье раскрыты исходные входные параметры, значимо влияющие на характеристики многоквартирных жилых домов. Выделены и нормализованы значимые с точки зрения экономических издержек и сроков материальные ресурсы (материалы и оборудование – выходные параметры). На основании коэффициентов корреляции Пирсона выявлена линейная статистическая взаимосвязь входных и выходных параметров выборки. Сделан вывод о перспективах формирования модели, позволяющей строить прогнозы по выходным параметрам на основании входных параметров проектируемого объекта строительства на нулевом этапе жизненного цикла объекта строительства, без разработки проектной и предпроектной документации.

Ключевые слова: предынвестиционная стадия, модель прогнозирования, проектные решения, объекты жилой недвижимости, машинное обучение, критерий Пирсона.

The article reveals the initial input parameters that significantly influence the characteristics of multi-apartment residential buildings. Material resources that are significant from the point of view of economic costs and terms (materials and equipment – output parameters) are identified and normalized. Based on Pearson correlation coefficients, a linear statistical relationship between the input and output parameters of the sample is identified. A conclusion is made about the prospects for forming a model that allows making forecasts of output parameters based on input parameters of the designed construction project at the zero stage of the life cycle of the construction project, without the development of design and pre-project documentation.

Keywords: pre-investment stage, forecasting model, design decisions, residential real estate, machine learning, Pearson criterion.

сложившимися методами [1]. В частности, в денежный поток от инвестиционной деятельности в качестве оттока включаются, прежде всего, распределенные по шагам расчетного периода затраты на создание и ввод в эксплуатацию новых основных средств и ликвидацию, замещение

или возмещение выбывающих существующих основных средств. Сюда же относятся некапитализируемые затраты (например, уплата налога на земельный участок, используемый в ходе строительства; расходы на строительство объектов внешней инфраструктуры и др.). Кроме того, в денежный поток от инвестиционной деятельности включаются изменения оборотного капитала (увеличение рассматривается как отток денежных средств, уменьшение – как приток) [1].

Как видно, такая структура не учитывает различных технических и функциональных особенностей будущего объекта строительства.

Отдельно стоит отметить, что далеко не всегда можно получить достаточно точную оценку на этапе ПП – проектная документация разрабатывается следующим этапом, отсюда выбор различных технических решений при недостатке информации для разных проектов будет недостаточно эффективным. Одной из практических проблем является существенная неопределенность инвестиционных затрат. [2].

Стадия ПП, в отличие от последующих, предполагает многовариантное проектирование [3]. От качества предпроектного проектирования зависит объективность оценки заказчиком перспективы осуществления запланированных решений. На этом этапе уже можно в первом приближении определить ориентировочную стоимость и сроки выполнения основных строительных и монтажных работ, а также выявить перечень возможных проблем, которые могут повлиять на ход дальнейшего проектирования и строительства, определить комплекс мер по предупреждению и решению этих вопросов. Зачастую для реализации ПП девелоперские компании привлекают проектировщика со стороны, за счет чего срок принятия решений на предынвестиционном этапе значительно увеличивается [3].

Как правило, оценка стоимости производится на основании укрупненной цены ранее выполненных объектов без учета актуальных цен и объемов работ, а также без учета различных технических и функциональных особенностей будущего объекта.

Такой подход влечет за собой значительные диапазоны погрешности при оценке стоимости и невозможность принятия детально проработанных многовариантных управленческих решений, основывающихся на сравнении отдельных технических и функциональных параметров объекта (и как результат – вывод об оптимальных наборах таких параметров для каждого конкретного здания).

В настоящее время ведутся исследования данной проблемы, так, в работе [2] обоснованы перспективы моделирования экономической эффективности строительных проектов жилых зданий на основе разработанной методики учета факторов неопределенности и усовершенствованных блоков экономической модели. Предложенная автором методика состоит в том, что предлагаемая финансово-экономическая модель с модифицированными блоками инвестиционной, операционной и финансовой деятельности позволяет качественно улучшить процессы планирования и реализации инвестиционно-строительных проектов.

Ключевым аспектом исследования, описанным в [4], является оценка экономической эффективности инвестиционных проектов, построенная по методологии инвестиционного анализа девелоперских или инвестици-

онно-строительных проектов. В целом, «расчет потока издержек» включает конкретизацию расходов по главным товарам проекта с учетом уточненных показателей концепции, а также проводится прогноз расходов на каждом этапе проекта, не учитывая макроэкономическую ситуацию. Далее проводится «анализ макроэкономической ситуации и прогнозирование условий инвестирования», подготавливаются первоначальные показатели для стоимостного моделирования нескольких концепций.

В работе [5] представлены методики, используемые на разных этапах комплексного алгоритма инвестиционного анализа, в том числе методика определения среднерыночных полных затрат на инвестиции на данном участке рынка и среднерыночной доходности инвестиционно-строительного проекта в зависимости от функции, класса качества.

Работа [6] описывает методы анализа рынка недвижимости как инструмента для получения точных исходных данных, а также методы оценки эффективности инвестиционных проектов для их обработки.

Достаточно часто встречается изучение вопроса общего формирования доходности. Так, в [7] разработаны способы расчета показателей доходности различных сегментов рынка недвижимости для сравнительной оценки на предынвестиционной стадии проектов.

В работах [8; 9; 10] подробно исследовано использование эконометрических моделей в прогнозировании показателей рынка недвижимости. А в [11] описаны подходы финансовой математики к инвестициям в недвижимость, оценки недвижимости: затратный, сравнительный и доходный подходы.

Однако в описанных выше работах вопрос значительного влияния на стоимость и сроки строительства объекта закладываемых в его основу технических и функциональных особенностей не рассматривается.

Также необходимо отметить, что в последние несколько лет сложился отчетливый тренд на внедрение технологий МО в строительную отрасль. Бум на роботизацию бизнес-процессов RPA (Robotic Process Automation), основанный на внедрении программных роботов с искусственным интеллектом (Artificial Intelligence, AI), окончательно утвердил концепцию постоянной необходимости улучшения бизнес-процессов [3].

Первые исследования уже проводились, так, например, в работе [12] описана возможность внедрения МО на ранних этапах жизненного цикла объекта строительства. Принимая во внимание необходимость оценки проектного решения на предпроектной стадии, обоснования инвестиций, разработки плана управления проектом и бизнес-плана проекта, которые позволят комплексно оценить и сравнить несколько вариантов будущих объектов, предложено разработать систему оценки проектных решений на базе уже имеющихся проектов, которая позволит заказчику (инвестору) выбрать вариант проектного решения при строительстве объекта недвижимости без разработки предпроектной документации из нескольких вариантов. В системе оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии предложено использовать теорию нейронных сетей и нейропрограммирования [12].

В работе [13] установлена возможность использования такой модели МО, как искусственная нейронная сеть,

в строительном процессе. В частности, продемонстрирована возможность ускорения и облегчения процесса принятия организационно-управленческих решений на различных стадиях жизненного цикла объекта строительства. Кроме того, описан эффект внедрения моделей МО для объекта строительства, в частности прогнозирование результата процесса возведения кровельных конструкций по выбранным критериям или их совокупности [13].

Таким образом, создание модели оценки материальных ресурсов на этапе обоснования инвестиций является актуальным для решения следующих задач:

- 1) оценка объемов и стоимости строительства с высокой точностью на ранних этапах реализации проекта;
- 2) возможность оценки стоимости уже на нулевом этапе (до принятия решения об инвестициях);
- 3) возможность сравнения и выбора оптимальных технических и функциональных решений будущего здания без дополнительных временных и финансовых затрат на проектирование.

Цель настоящей статьи – рассмотреть возможность создания модели прогнозирования выходных параметров объекта строительства на базе значимых входных параметров для выбора оптимальных технических решений, отвечающих задачам управления проектом строительства многоквартирных жилых домов на этапе обоснования инвестиций.

В задачи исследования входит:

- рассмотреть количественно-качественные входные параметры, влияющие на характеристики проектируемого объекта. Выделить из общего перечня наиболее значимые входные параметры для дальнейшего исследования. Методом априорного ранжирования проанализировать статистическую значимость проведенного экспертного опроса, а также установить достоверность входных параметров ранжирования;
- выделить и систематизировать наиболее значимые с точки зрения экономических издержек и сроков материальные ресурсы (материалы и оборудование), влияющие на общие инвестиционные показатели объекта строительства – выходные параметры;
- на базе готовых разделов проектной документации для различных жилых домов сформировать выборку по каждому из объектов, включающую входные и выходные параметры;
- на основании коэффициента корреляции Пирсона проверить верность альтернативной гипотезы, подтверждающей взаимосвязь выделенных входных и выходных параметров объектов строительства;
- проанализировать результаты на предмет применимости входных параметров при построении модели прогнозирования выходных параметров объекта строительства для выбора оптимальных технических решений, отвечающих задачам управления

проектом строительства многоквартирных жилых домов на этапе обоснования инвестиций.

Материалы и методы

Для проверки гипотезы значимости были отобраны количественно-качественные входные параметры, влияющие на характеристики проектируемого объекта (технико-экономические показатели, отдельные архитектурные, объемно-планировочные и технические решения, представленные в таблице 1).

Для решения задачи ранжирования входных параметров по степени значимости и влияния на выходные параметры объектов строительства – объем материальных ресурсов, необходимых для строительства (ОМР), – применен метод априорного ранжирования.

В работе [14] было показано, для обеспечения статистической значимости при априорном ранжировании необходимо участие как минимум 5 экспертов.

Стоит отметить, что задача исследования [14] была поставлена для определения минимального количества экспертов для ранжирования факторов, оказывающих влияние на состав работ научно-технического сопровождения проектирования, однако полученные результаты в целом применимы и к другим аналогичным задачам.

Для работы было привлечено 7 экспертов, отвечающих следующим требованиям: профильное высшее образование, стаж работы в сфере проектирования и строительства не менее 10 лет, обязательное присутствие в национальном реестре специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования или национальном реестре специалистов в области строительства¹.

В результате экспертного опроса были получены значения ранжированных порядковых номеров для каждого входного параметра, установленные экспертами. Далее для целей настоящего исследования были рассчитаны промежуточные значения (отклонение суммы рангов по каждому фактору от средней суммы рангов, квадрат отклонений суммы рангов каждого фактора от средней суммы рангов, удельный вес факторов (подсистем) по их влиянию на целевой показатель), необходимые для применения метода априорного ранжирования.

На основании полученных данных коэффициент корреляции Кендалла равен $W = 0,67$.

Как видим, он существенно отличается от нуля и выше значения 0,5. Таким образом, можно считать, что при ранжировании представленных факторов между экспертами присутствует согласованность.

Проверка гипотезы о неслучайности согласия экспертов выполнена путем оценки неравенства [15]:

$$\chi_p^2 > \chi_r^2, \quad (1)$$

где χ_p^2 – расчетное значение критерия Пирсона;

χ_r^2 – табличное значение критерия Пирсона.

Получим:

$$\chi_p^2 = 221,01.$$

¹ Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06.04.2017 № 688/пр «О порядке ведения национального реестра специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования, национального реестра специалистов в области строительства, включения в такие реестры сведений о физических лицах и исключения таких сведений, внесения изменений в сведения о физических лицах, включенные в такие реестры, а также о перечне направлений подготовки, специальностей в области строительства, получение высшего образования по которым необходимо для специалистов по организации инженерных изысканий, специалистов по организации архитектурно-строительного проектирования, специалистов по организации строительства» // publication.pravo.gov.ru : [сайт]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201704270018 (дата обращения: 22.10.2023).

Номер объекта	Общая площадь объекта, м ²	Строительный объем объекта, м ³	Строительный объем подземной части здания, м ³	Строительный объем надземной части здания, м ³	Общая площадь квартир объекта (с учетом летних помещений), м ²	Количество подземных этажей, шт.	Среднее значение площади подземного этажа, м ²	Количество жителей объекта, чел.	Суммарная площадь встроенных помещений надземной части здания, м ²	Общее количество машиномест на подземной стоянке автомобилей, шт.	Суммарная площадь помещений по всем этажам стоянки автомобилей закрытого типа, м ²
1	37241,73	177585,03	61640,00	115945,03	16761,82	3,00	4722,40	419,05	2143,52	352,00	12119,26
2	64616,00	280000,00	70000,00	210000,00	36488,00	3,00	3775,53	912,20	2540,00	450,00	10467,90
3	62052,00	300628,00	95233,00	205395,00	31670,00	2,00	9550,00	791,75	2030,00	478,00	18788,00
4	36131,80	117207,19	39829,05	77378,13	17242,30	2,00	5239,20	431,06	1967,00	228,00	10307,00
5	94085,00	360812,00	83880,00	276932,00	51778,30	2,00	10841,20	1294,46	1983,70	534,00	21560,00
6	28333,49	118501,10	35630,37	82870,73	15890,50	1,00	6813,12	530,00	2315,00	173,00	5526,82
7	61620,00	262500,00	60698,00	201802,00	31862,00	3,00	4200,00	796,55	5052,00	231,00	12539,00
8	85342,00	443468,00	190017,00	253451,00	23805,00	4,00	10104,88	595,13	9593,00	987,00	39950,00
9	6164,00	30418,00	4874,00	25544,00	4469,00	1,00	1534,24	149,00	0,00	0,00	0,00
10	20010,00	81186,00	16956,00	64226,00	11251,00	1,00	2603,00	376,00	383,00	44,00	1885,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	53448,09	197141,10	36449,20	160691,90	27535,60	1,00	6624,40	689,00	2520,70	122,00	5765,70
37	17795,20	80122,72	15268,70	64854,02	9252,20	1,00	2551,30	232,00	389,30	39,00	2015,50

Табл. 1. Значения входных параметров выборки
Tab. 1. Sample Input Parameter Values

Значение χ^2 , исходя из количества ранжируемых объектов и принятого уровня статистической значимости, – α . Для уменьшения риска ошибочного отклонения гипотезы табличное значение критерия Пирсона принимается для минимального значения α , равного 5 %. Для $k = 48$, в соответствии с [16], принимается равным 65,17.

В итоге имеем: $221,01 > 65,17$.

Неравенство выполняется, гипотеза о неслучайности согласия экспертов подтверждена, что указывает на обоснованность решения задачи статистической значимости проведенного априорного ранжирования, а также досто-

верность входных параметров ранжирования, выбранных для исследования.

Таким образом, представляется возможность выделить следующие входные параметры, значимые по влиянию на ОМР в частности и на характеристики проектируемого объекта в целом, для дальнейшего рассмотрения, представленные на рисунке 1.

Для решения следующих поставленных задач представляется целесообразным использовать методы машинного обучения.

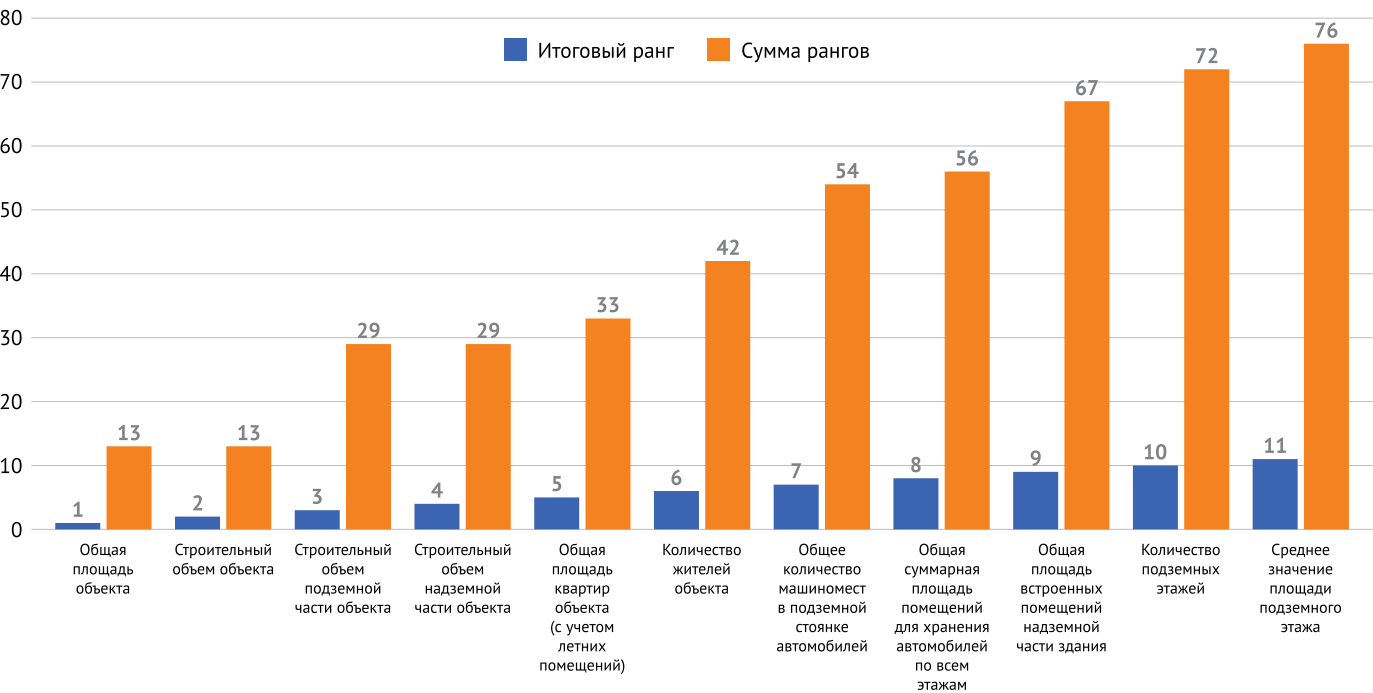


Рис. 1. Ранжирование входных параметров
Fig. 1. Ranking of input parameters

Практика решения задач создания МО включает следующие шаги:

- 1) сбор данных для обучения в виде комплектов разделов проектной документации для многоквартирных жилых домов. Набор данных для обучения должен удовлетворять критериям репрезентативности – подобранные параметры должны иллюстрировать истинное положение вещей в предметной области – и непротиворечивости – противоречивые данные в обучающей выборке приведут к плохому качеству обучения сети;
- 2) подготовка и нормализация данных;
- 3) выбор топологии сети;
- 4) экспериментальный подбор характеристик сети и параметров обучения;
- 5) обучение и проверка результатов обучения на тестовой выборке;
- 6) корректировка параметров, окончательное обучение.

В контексте настоящей статьи будут рассмотрены первые два этапа создания МО для определения возможности применения выбранного подхода для управления проектом на этапе обоснования инвестиций.

Результаты

Изначально для формирования первичного набора данных (выборки) были собраны 37 комплектов разделов проектной документации многоквартирных жилых домов, расположенных в г. Москве и Московской области, выполненных по монолитной конструктивной схеме, проектирование которых было выполнено в период 2015–2022 годов.

Далее было проведено заполнение значений выбранных входных параметров на примере конкретных проектов, результаты которого представлены в таблице 1.

В качестве выходных параметров, значимых в рамках поставленной задачи, первично были выбраны материальные ресурсы, имеющие суммарный стоимостной показатель более 68 % от общей сметной стоимости (что эквивалентно более 93 % от сметной стоимости всех материалов, необходимых для строительства, без учета совокупных затрат непосредственно на монтажные работы и использование механизмов) в общих расходах на строительство многоквартирного жилого дома, представленные в таблице 2.

Отдельно следует обратить внимание, что в контексте настоящего исследования представленные выходные параметры были обобщены до предельных классов, к примеру, арматуры различных диаметров были обобщены до класса «арматура» с единицами измерения в тоннах. Указанное обобщение в рамках одного класса фактически представляло из себя первый этап процесса нормализации данных, который предшествует построению моделей на базе МО и обеспечивает корректную и устойчивую работу будущих моделей.

Нормализация – важный этап подготовки МО, призванный привести различные данные в разных единицах измерения и диапазонах значений к единому виду, что позволит впоследствии сравнивать их между собой или использовать для расчета сходимости объектов.

№	Раздел	Наименование выходного параметра	Процентное соотношение средней стоимости параметра к общей сметной стоимости объекта, %
1	АР	Гидроизоляция	0,15
2	АР	Дверной блок	0,97
...	...	...	...
5	АР	Навесной фасад	0,64
6	АР	Наружное остекление	13,63
7	АР	Полы	0,80
8	АР	Стена из кирпича облицовочного	1,13
9	АР	Штукатурка	0,35
10	КР	Арматура	14,02
11	КР	Бетон	5,79
12	КР	Сборные железобетонные изделия	5,01
13	КР	Металлоконструкции крепежные	2,25
14	ИОС	Частотный преобразователь	0,38
15	ИОС	Блок бесперебойного питания	0,88
16	ИОС	Щит электрический	3,50
17	ИОС	Электрокабель	1,11
18	ИОС	Лоток кабельный	1,15
19	ИОС	Кабеленесущая система	0,55
20	ИОС	Труба стальная	0,49
...	...	...	...
26	ИОС	Труба пластиковая	0,82
28	ИОС	Прибор отопления	1,19
...	...	...	...
38	ИОС	Телекоммуникационный шкаф	1,02
...	...	...	...
43	ИОС	Оповещатель (речевой, звуковой, светозвуковой, сигнальная лампа, табло)	0,34
44	ИОС	Извещатель пожарный	0,26
Итого			68,30

Табл. 2. Процентное влияние выходных параметров выборки на сметную стоимость

Tab. 2. Percentage impact of sample output parameters on estimated cost

Вторым этапом нормализации данных было устранение выбросов посредством функции линейной регрессии.

В результате был сформирован первичный объем выборки, состоящей из нормализованных проектных решений для каждого из выбранных объектов (таблица 3). Отдельно необходимо отметить, что сформированная выборка материальных ресурсов (выходных параметров) отвечает одновременно двум параметрам:

- 1) каждое выходное значение выборки имеет значимый стоимостной показатель в общих расходах на строительство многоквартирного жилого дома;
- 2) среди совокупности выходных параметров представлены все основные разделы проектной документации², содержащие материальные ресурсы, необходимые для строительства, а именно – архитектурные решения (АР), конструктивные и объемно-планировочные решения (КР), сведения об инженерном оборудовании, о сетях и системах инженерно-технического обеспечения (ИОС).

Для целей настоящей статьи исследования из таблицы 2 были отобраны 13 позиций выходных параметров, имеющие значимый в контексте поставленной задачи стоимостной показатель 48,6 % от общей сметной стоимости

² Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» // Система «Гарант» : [электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/12158997> (дата обращения 10.10.2023).

Наименование выходного параметра	АР	КР				ИОС							
	Наружное остекление, м ²	Арматура, кг	Бетон, м ³	Сборные железобетонные изделия, м ²	Прибор отопления, шт.	Труба пластиковая, м	Труба стальная, м	Телекоммуникационный шкаф, шт.	Оповещатель (речевой, звуковой, светозвуковой), шт.	Извещатель пожарный, шт.	Щит электрический, шт.	Электрокабель, м	Насосная установка, шт.
1	18706,00	2728390,00	21794,00	7911,00	1141	16543,0	8440,00	55	777	5915	291	277106,14	4
2	32508,00	4748470,00	37102,00	12996,00	2856	38786,0	6145,00	140	1769	8387	785	474191,00	6
3	31215,00	4559260,00	35669,00	12519,00	2252	37404,0	7829,00	17	629	5707	1002	358125,00	8
4	18146,00	2646483,00	21173,00	7705,00	1805	19903,0	10963,0	52	310	2635	610	191527,00	3
5	47366,00	6923130,00	53583,00	18470,00	3502	42187,0	14615,0	450	2183	8755	1416	327011,00	8
6	14214,00	2071008,00	16812,00	6256,00	1108	21308,0	1844,5,0	2	403	2330	300	133314,00	3
7	30997,00	4527381,00	35427,00	12439,00	2353	55871,0	9696,00	130	1729	6292	1318	454536,00	6
8	42958,00	6277942,00	48693,00	16846,00	3141	35312,6	17436,8	204	1714	5431	829	476782,00	12
9	3239,605	337307,00	183,80	2802,90	213	14512,0	2145,00	6	45	415	132	22605,00	1
10	10249,42	1796570,55	13051,36	3800,72	916	15600,0	6190,00	2	235	1104	359	123285,00	2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	26877,00	3557629,50	26801,69	8540,39	1001	26105,0	4134,00	10	841	4789	734	550074,00	5
37	10625,66	2271049,58	12439,55	139,23	635	12199,0	4325,78	7	317	1992	310	253796,00	2

Табл. 3. Нормализованные данные значимых выходных параметров выборки
Tab. 3. Normalized data of significant sample outputs

(что эквивалентно 66,5 % от сметной стоимости всех материалов, необходимых для строительства, без учета совокупных затрат непосредственно на монтажные работы и использование механизмов).

Для проверки выдвинутой гипотезы был проведен расчет коэффициента корреляции Пирсона.

Как известно, коэффициент корреляции Пирсона (ККП) измеряет линейную корреляцию между двумя наборами данных. По сути, это нормализованное измерение ковариации, так что результат всегда имеет значение от –1 до 1. Важно отметить, что КПП отражает только линейную корреляцию переменных, игнорируя другие типы взаимосвязей.

ККП рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y} = \frac{\sum (X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 * \sum (Y - \bar{Y})^2}},$$

где X – значение входного параметра, Y – значение выходного параметра,

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i,$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n Y_i -$$

среднее значение выборок

Статистический вывод, основанный на коэффициенте корреляции Пирсона, необходим для опровержения нулевой гипотезы о том, что истинный коэффициент корреляции равен 0, и проверки верности альтернативной гипотезы, утверждающей, что между двумя переменными существует взаимозависимость. Результаты расчета ККП представлены в таблице 4.

На основании коэффициента корреляции Пирсона по каждому из выбранных параметров подтверждена верность альтернативной гипотезы – значения полученных коэффициентов таблицы 4 демонстрируют значимую линейную взаимосвязь выделенных входных и выходных параметров объектов строительства.

Таким образом, сформированная выборка отвечает параметрам, достаточным для формирования на базе МО моделей, позволяющих строить прогнозы по выходным параметрам на основании входных параметров проектируемого объекта строительства.

Обсуждение

Решена задача статистической значимости проведенного априорного ранжирования, а также подтверждена достоверность входных параметров ранжирования, выбранных для исследования. Проведенные исследования выявили наиболее значимые входные параметры, влияющие на характеристики проектируемого объекта. Проведен стоимостной анализ и выделены наиболее значимые выходные параметры, совокупная стоимость которых составляет более 50 % от общей стоимости объекта. На основании расчетов коэффициентов корреляции Пирсона выявлена линейная статистическая взаимосвязь входных и выходных параметров выборки.

Таким образом, представляется возможным на базе только входных параметров, фактически на нулевом этапе жизненного цикла объекта строительства, без разработки проектной и предпроектной документации прогнозировать с высокой точностью наиболее значимые для стоимости и продолжительности работ материальные ресурсы и оборудование, необходимые для строительства здания. Продолжение исследований позволит установить степень и качество указанного влияния, а также оценить возмож-

Наименование параметра	Общая площадь объекта, м ²	Строительный объем объекта, м ³	Строительный объем подземной части здания, м ³	Строительный объем надземной части здания, м ³	Общая площадь квартир объекта (с учетом легких помещений), м ²	Количество подземных этажей, шт.	Среднее значение площади подземного этажа, м ²	Количество жителей объекта, чел.	Суммарная площадь встроенных помещений надземной части здания, м ²	Общее количество машин мест на подземной стоянке автомобилей, шт.	Суммарная площадь помещений по всем этажам стоянки автомобилей закрытого типа, м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наружное остекление	0,98	0,93	0,81	0,92	0,89	0,68	0,77	0,83	0,72	0,81	0,82
Арматура	0,97	0,91	0,80	0,90	0,87	0,66	0,77	0,81	0,69	0,80	0,80
Монолитный железобетон	0,92	0,95	0,82	0,96	0,92	0,62	0,84	0,88	0,68	0,79	0,80
Сборные железобетонные изделия	0,86	0,83	0,72	0,83	0,81	0,54	0,70	0,73	0,59	0,69	0,70
Щит электрический	0,89	0,85	0,64	0,90	0,92	0,54	0,70	0,87	0,55	0,62	0,66
Насосная установка	0,87	0,92	0,91	0,86	0,72	0,79	0,69	0,62	0,84	0,89	0,91
Прибор отопления	0,89	0,92	0,77	0,93	0,90	0,65	0,76	0,88	0,65	0,77	0,77
Труба пластиковая	0,63	0,69	0,47	0,76	0,75	0,37	0,59	0,79	0,44	0,42	0,44
Труба стальная	0,82	0,78	0,75	0,73	0,64	0,64	0,67	0,60	0,66	0,75	0,79
Электрокабель	0,89	0,92	0,87	0,93	0,91	0,84	0,76	0,87	0,83	0,88	0,90
Телекоммуникационный шкаф	0,79	0,73	0,62	0,74	0,75	0,59	0,54	0,68	0,51	0,69	0,69
Извещатель пожарный	0,88	0,87	0,72	0,89	0,90	0,72	0,69	0,86	0,60	0,75	0,71
Оповещатель (речевой, звуковой, светозвуковой, сигнальная лампа, табло)	0,91	0,86	0,71	0,88	0,84	0,71	0,58	0,76	0,67	0,73	0,72

Табл. 4. Значения коэффициента корреляции Пирсона значимых параметров выборки
Tab. 4. Pearson correlation coefficient values of significant sample parameters

ность формирования на базе полученных значимых входных параметров модели прогнозирования выходных параметров объекта строительства для выбора оптимальных технических решений, отвечающих задачам управления проектом строительства многоквартирных жилых домов на ранних предынвестиционных и инвестиционных этапах.

Заключение

На основании результатов исследования, проведенного в настоящей статье, авторы рассмотрели количественно-качественные входные параметры, влияющие на характеристики проектируемого объекта. Решена задача статистической значимости проведенного априорного ранжирования, а также подтверждена достоверность входных параметров ранжирования, выбранных для исследования. Методом априорного ранжирования из общего перечня выделены наиболее значимые входные параметры (характеристики) объектов строительства для дальнейшего исследования.

Выделены и нормализованы наиболее значимые с точки зрения экономических издержек и сроков материальные ресурсы (материалы и оборудование), влияющие на общие инвестиционные показатели объекта строительства – выходные параметры.

На базе готовых разделов проектной документации для различных жилых домов сформирована выборка, отвечающая параметрам, достаточным для формирования

модели, позволяющей строить прогнозы по выходным параметрам на основании входных параметров проектируемого объекта строительства.

Авторы полагают, что перспективы исследования взаимозависимостей не ограничиваются исключительно материальными ресурсами для выходных параметров – как представляется, в основу модели могут быть положены и такие выходные параметры объектов строительства, как параметры технических присоединений объектов к соответствующим инженерным сетям, результаты расчетов стоимостных показатели по разделам проектной документации, расчетные значения продолжительности строительства объекта и другие параметры, имеющие однозначно выражаемые количественные значения.

Внедрение модели очевидно представляет практическую значимость – без привлечения подрядных проектных организаций девелоперская компания или заказчик строительства в максимально короткие сроки (часы) имеет возможность получить фактические значения ОМР: бетон, арматура, приборы отопления и т. д. При этом на базе значений ОМР возможно не только провести точную оценку стоимости и сроков работ (на основании методик, представленных в действующих нормативных документах в строительстве), но и комплексно сравнить несколько различных вариантов будущего проекта, что позволяет обеспечить принятие управленческих решений с высокой степенью точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) : утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, ГК РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 / В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. – Москва : НПО «Издательство Экономика», 2000.
2. Бушанский, С. П. Оценка выгод от предпроектных изысканий инфраструктурных объектов / С. П. Бушанский // Стратеги-

ческое планирование и развитие предприятий : материалы Восемнадцатого всероссийского симпозиума, Москва, 11–12 апреля 2017 года / под редакцией Г. Б. Клейнера. – Москва : Центральный экономико-математический институт РАН, 2017. – С. 213–215.
3. Сухоруков, А. И. Направления оптимизации бизнес-процессов на стадии предпроектной проработки с учетом цифровой трансформации / А. И. Сухоруков, Д. В. Капаназде // Строительство. Экономика и управление. – 2019. – № 2

(34). – С. 32–39.

4. Коннова, С. Н. Анализ развития понятийного и методического аппарата оценки эффективности инвестиционно-строительных проектов / С. Н. Коннова, Е. О. Черемных // Проблемы экономики, организации и управления в России и мире : материалы VIII международной научно-практической конференции, Прага, 28 апреля 2015 года. – Прага : World press s.r.o., 2015. – С. 98–102.
5. Анализ рынка для коммерческих инвестиций в недвижимость (Справочное руководство) / Институт ССИМ. – Чикаго, 2010. – 550 с.
6. Стерник, Г. М. Анализ рынка недвижимости для профессионалов / Г. М. Стерник, С. Г. Стерник. – Москва : Экономика, 2009. – 601 с.
7. Стерник, Г. М. Показатели доходности сегментов рынка недвижимости как основной критерий управления инвестициями на ранних стадиях проектов / Г. М. Стерник // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 14–15 апреля 2011 года. – Москва : Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, 2011. – С. 124–133.
8. Commercial Real Estate Analysis and Investments / D. Geltner, N. G. Miller, J. Clayton, P. Eichholtz. – USA : South-Western Educational Pub, 2007. – 848 p.
9. Georgiev, G. The Benefits of Real Estate Investment /

REFERENCES

1. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ehffektivnosti investitsionnykh proektov (vtoraya redaktsiya) [Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects (second edition)] : utv. Ministerstvom ekonomiki RF, Ministerstvom finansov RF, GK RF po stroitel'noj, arkhitekturnoj i zhilishhnoj politike 21.06.1999 [approved Ministry of Economy of the Russian Federation, Ministry of Finance of the Russian Federation, Civil Code of the Russian Federation on Construction, Architectural and Housing Policy 21.06.1999] / V. V. Kossov, V. N. Livshits, A. G. Shakhnazarov. – Moscow : NPO «Izdatel'stvo Ehkonomika», 2000.
2. Bushanskij, S. P. Otsenka vygod ot predproektnykh izyskanij infrastrukturykh ob'ektov [Assessment of benefits from pre-project surveys of infrastructure facilities] / S. P. Bushanskij // Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatij : materialy Vosemnadtsatogo vserossijskogo simpoziuma, Moskva, 11–12 aprelya 2017 goda [Strategic planning and development of enterprises: materials of the Eighteenth All-Russian Symposium, Moscow, April 11–12, 2017] / pod redaktsiej G. B. Klejnera [edited by G. B. Kleiner]. – Moscow : Tsentral'nyj ehkonomiko-matematicheskij institut RAN [Central Economic and Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences], 2017. – P. 213–215.
3. Sukhorukov, A. I. Napravleniya optimizatsii biznes-protsessov na stadii predproektnoj prorabotki s uchetoм tsifrovoy transformatsii [Directions of optimization of business processes at the stage of pre-project study taking into account digital transformation] / A. I. Sukhorukov, D. V. Kapanadze // Stroitel'stvo. Ehkonomika i upravlenie [Construction. Economics and management]. – 2019. – № 2 (34). – P. 32–39.
4. Konnova, S. N. Analiz razvitiya ponyatiynogo i metodicheskogo apparata otsenki ehffektivnosti investitsionno-stroitel'nykh proektov [Analysis of the development of the conceptual and methodological apparatus for evaluating the effectiveness of investment and construction projects] / S. N. Kon-

G. Georgiev, B. Gupta, T. Kunkel ; University of Massachusetts. – Massachusetts : Working Paper, 2005. – 16 p.

10. Schwartz, E. S. Real Options and Investment under Uncertainty: An Overview / E. S. Schwartz, L. Trigeorgis. – USA : Working Paper. – 16 p.
11. Костикова, Г. Д. Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей / Г. Д. Костикова, Г. В. Земляков // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 6. – С. 481–492.
12. Макаров, А. Н. Искусственная нейронная сеть для организации управления строительным процессом / А. Н. Макаров // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 4. – С. 117–122.
13. Загорская, А. В. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов / А. В. Загорская, А. А. Лапидус. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_21 // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 21–34.
14. Марголин, Е. Методика обработки данных экспертного опроса / Е. Марголин // Полиграфия. – 2006. – № 5. – С. 14–16.
15. Постников, В. М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений / В. М. Постников // Наука и образование. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – № 5. – С. 333–346.

nova, E. O. Cheremnykh // Problemy ehkonomiki, organizatsii i upravleniya v Rossii i mire : materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Praga, 28 aprelya 2015 goda [Problems of economics, organization and management in Russia and the world : proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Prague, April 28, 2015]. – Прага : World press s.r.o., 2015. – P. 98–102.

5. Analiz rynka dlya kommercheskikh investitsii v nedvizhimost' (Spravochnoe rukovodstvo) [Market analysis for commercial real estate investments (Reference Guide)] / Institut CCIM [CCIM Institute]. – Chicago, 2010. – 550 p.
6. Sternik, G. M. Analiz rynka nedvizhimosti dlya professionalov [Analysis of the real estate market for professionals] / G. M. Sternik, S. G. Sternik. – Moscow : Ehkonomika, 2009. – 601 p.
7. Sternik, G. M. Pokazateli dokhodnosti segmentov rynka nedvizhimosti kak osnovnoj kriterij upravleniya investitsiyami na rannikh stadiyakh proektov [Indicators of profitability of real estate market segments as the main criterion for investment management at the early stages of projects] / G. M. Sternik // Sovremennye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitel'noj sfere i prirodogopol'zovanii : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 14–15 aprelya 2011 goda [Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management : materials of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, April 14–15, 2011]. – Moscow : Rossijskij ehkonomicheskij universitet imeni G. V. Plekhanova [Plekhanov Russian University of Economics], 2011. – P. 124–133.
8. Commercial Real Estate Analysis and Investments / D. Geltner, N. G. Miller, J. Clayton, P. Eichholtz. – USA : South-Western Educational Pub, 2007. – 848 p.
9. Georgiev, G. The Benefits of Real Estate Investment / G. Georgiev, B. Gupta, T. Kunkel ; University of Massachusetts. – Massachusetts : Working Paper, 2005. – 16 p.

10. Schwartz, E. S. Real Options and Investment under Uncertainty: An Overview / E. S. Schwartz, L. Trigeorgis. – USA : Working Paper. – 16 p.
11. Kostikova, G. D. Sistema otsenki proektnykh reshenij ob'ektov zhiloy nedvizhimosti na predynvestitsionnoj stadii s primeneniem tekhnologii nejronnykh setej [Evaluation system of design solutions of residential real estate objects at the pre-investment stage using neural network technology] / G. D. Kostikova, G. V. Zemlyakov // Nauka i tekhnika [Science and Technology]. – 2016. – Т. 15, № 6. – P. 481–492.
12. Makarov, A. N. Iskustvennaya nejronnaya set' dlya organizatsii upravleniya stroitel'nym protsessom [Artificial neural network for the organization of management of the construction process] / A. N. Makarov // Vestnik BG TU im. V. G. Shukhova [Bulletin of V. G. Shukhov BSTU]. – 2017. – № 4. – P. 117–122.
13. Zagorskaya, A. V. Primenenie metodov ehkspertnoj otsenki v nauchnom issledovanii. Neobkhodimoe kolichestvo ehkspert-

УДК 658.513.4

Оценка факторов, влияющих на изменения длительности сооружения АЭС

Assessment of Factors Influencing Changes in NPP Construction Duration

Воронков Иван Евгеньевич

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

Voronkov Ivan Evgenievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, voronkovie@mgsu.ru

Островский Роман Вадимович

Ведущий специалист Управления мониторинга и контроля сроков, АО «Атомстройэкспорт» (АО АСЭ), Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 2, строение 1, rchkp@rambler.ru

Ostrovskii Roman Vadimovich

Leading specialist of the Monitoring and Timing Control Department, Atomstroyexport JSC (ASE JSC), Russia, 127434, Moscow, Dmitrovskoe shosse, dom 2, stroenie 1, rchkp@rambler.ru

Агапов Игорь Геннадьевич

Инженер ПТО, Производственно-технический отдел № 1, ООО «ГарантРеставПроект», Россия, 117279, Москва, улица Профсоюзная, 93, корпус 4, igoragapov20@mail.ru

Agapov Igor Gennadievich

Engineer PTD, Production and Technical Department № 1, GarantRestavProject LLC, Russia, 117279, Moscow, Profsoyuznaya ulitsa, dom 93, korpus 4, igoragapov20@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы управления проектами строительства атомных электростанций в части управления сроками и рисками сооружения. Актуальность данной темы обусловлена многочисленными фактами срывов работ при строительстве АЭС как российских, так и зарубежных проектов. В исключительных случаях фактическая продолжительность сооружения может даже в 2-3 раза превышать плановую. Приводятся и анализируются факторы, максимально влияющие на изменение длительности сооружения данных крупномасштабных проектов.

Целью исследования является оценка первопричин возникновения исследуемых отставаний в ходе производства работ при помощи методов математического анализа. Сформирован перечень исследуемых факторов и проведено его разделение

на внешние и внутренние по отношению к генподрядной организации. После проведения экспертного оценивания методом анкетирования рассчитаны коэффициент вариации для каждого выбранного фактора, коэффициенты компетентности экспертов и уточненные средние оценки.

14. Margolin, E. Metodika obrabotki dannykh ehkspertnogo oprosa [Methods of processing expert survey data] / E. Margolin // Poligrafiya [Polygraphy]. – 2006. – № 5. – P. 14–16.
15. Postnikov, V. M. Analiz podkhodov k formirovaniyu sostava ehkspertnoj gruppy, orientirovannoj na podgotovku i prinyatie reshenij [Analysis of approaches to the formation of the composition of the expert group focused on preparation and decision-making] / V. M. Postnikov // Nauka i obrazovanie [Science and Education]. – Moscow : Izd-vo MG TU im. N. Eh. Baumana [Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University], 2012. – № 5. – P. 333–346.

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_105

на внешние и внутренние по отношению к генподрядной организации. После проведения экспертного оценивания методом анкетирования рассчитаны коэффициент вариации для каждого выбранного фактора, коэффициенты компетентности экспертов и уточненные средние оценки.

Вычисленные уточненные средние оценки внутренних и внешних факторов применимы в качестве среднего отклонения и среднего изменения соответственно при оценке резервов графиков производства работ по методу Монте-Карло и в процессе построения распределения возможных общих длительностей проектов сооружения АЭС.

Ключевые слова: длительность сооружения АЭС, срывы сроков, оценка факторов, экспертное оценивание, резервы времени, метод Монте-Карло.

Abstract. The article deals with the issues of nuclear power plant construction project management in terms of construction time and risk management. The relevance of this topic is conditioned by numerous facts of work failures during NPP construction both in Russian and foreign projects. In exceptional cases the actual duration of construction may even exceed the planned one by 2-3 times. The factors that maximally influence the changes in the construction duration of these large-scale projects are given and analyzed.

The aim of the study is to assess the root causes of the investigated delays in the course of works using the methods of mathematical analysis. The list of investigated factors was formed and its division into external and internal in relation to the General

Contractor Organization was carried out. After expert evaluation by questionnaire method, the coefficient of variation for each selected factor, expert competence coefficients and refined average estimates were calculated.

The calculated refined average estimates of internal and external factors are applied as the mean deviation and mean change, respectively, in the Monte Carlo estimation of the reserves of work schedules and in the process of constructing the distribution of possible total durations of NPP construction projects.

Keywords: duration of NPP construction, deadline failures, evaluation of factors, expert evaluation, time reserves, Monte-Carlo method.

Введение

В настоящее время важнейшей задачей, стоящей перед крупнейшими мировыми игроками атомной отрасли, является сооружение энергоблоков АЭС в кратчайшие сроки с соблюдением требуемого уровня качества. Несмотря на это, как показывает статистика, каждый реализуемый сегодня проект сооружается со срывами контрактных сроков, что влечет за собой значительные финансовые и имиджевые издержки.

Задержки ввода АЭС в промышленную эксплуатацию приводят, чаще всего, к существенному увеличению капитальных затрат и к более позднему поступлению выручки, что значительно снижает эффективность инвестиций.

В качестве причин возникновения срывов сроков сооружения АЭС можно привести наиболее частые: отсутствие качественной рабочей документации перед началом строительства на этапе подготовительного периода, недостаточное количество квалифицированного персонала; несвоевременные поставки оборудования; задержки и низкое качество строительно-монтажных работ (далее – СМР); выявление и устранение несоответствий в процессе строительства в части СМР или поставки и другие [1–2].

В рамках совершенствования организационных приемов определения продолжительности в проектах сооружения атомных электростанций используется статистика, подготовленная на основе детальных графиков сооружения уже введенных в эксплуатацию АЭС.

Показатели превышения плановой длительности применяются для оценки поведения графика строительных работ и построения распределения его возможных длительностей.

Однако для более верных результатов необходимы понимание и математический анализ первопричин возникновения исследуемых отставаний в ходе производства работ.

Материалы и методы

На основе созданного Инжиниринговой компанией «Атомстройэкспорт» (АО ИК «АСЭ») реестра рисков строительства атомных электростанций в зоне ответственности компании был подготовлен состоящий из 34 пунктов перечень (таблица 1) основных причин (факторов), имеющих максимальное влияние на строительные процессы.

Разделение факторов на «внутренние» и «внешние» производилось с учетом места (источника) их возникновения. Такие факторы, как «наличие/отсутствие грузоподъемных механизмов», «обеспеченность стройки инженерно-техническими работниками (ИТР)» или «эффективность календарно-сетевого планирования» и ряд других, формируются в зоне ответственности генподрядной организации под влиянием ее внутренних процедур,

нормативных и распорядительных актов. Влияние генподрядчика на данные факторы максимально.

В процессе сооружения АЭС внутренние факторы являются источниками возникновения рисков неисполнения договорных обязательств в части сроков выполнения работ [3]. В целях митигации данных рисков генподрядчику необходимо выстраивать соответствующие механизмы работы с подрядчиками. Одним из таких механизмов является система временного резервирования при формировании и утверждении графиков производства работ подрядных организаций.

Однако на ход сооружения влияют не только внутренние факторы. Сложный рельеф местности, экологическая обстановка, опыт сооружения атомных станций заказчиком, политические и экономические предпосылки и прочие вопросы, на которые генподрядчик не в силах повлиять, отнесены к понятию внешних факторов. Рычагом разрешения проблем и вопросов, обусловленных влиянием внешних факторов, является ведение сложной претензионной работы с заказчиком.

В рамках разработки методологии создания системы временного резервирования при определении продолжительности строительства АЭС было проведено экспертное оценивание вышеназванных внутренних и внешних факторов.

В качестве формата экспертного оценивания выбрано индивидуальное анкетирование [4–5] семи экспертов, обладающих необходимым уровнем компетенций в рассматриваемых вопросах и не заинтересованных в каких-либо конкретных результатах оценки.

Данный метод подразумевает получение индивидуальных оценок от экспертов, не зависимых друг от друга. Метод индивидуального анкетирования признается менее объективным (по сравнению с методами коллективной оценки), однако обладает рядом преимуществ, наиболее яркими из которых являются:

- более низкая трудоемкость получения результатов оценки каждым экспертом;
- отсутствие как такового «давления авторитетов», характерного для коллективных способов формирования оценочных суждений.

Однако данных преимуществ метода экспертных оценок в нашем случае недостаточно. С целью получения максимальной эффективности необходимо осуществить процедуры оценки согласованности суждений экспертов [6] и повышения объективности исследования в целом.

Таким образом, предполагаемый метод индивидуального анкетирования будет включать в себя решение задач

оценки внутренней согласованности экспертов и компетентности экспертов в вопросах исследования [7–9].

Оценивание производилось непосредственными участниками строительства атомных электростанций –

высококвалифицированными специалистами и руководителями Инжинирингового дивизиона Госкорпорации «Росатом». В анкетировании участвовали сотрудники Управления мониторинга и контроля сроков АО АСЭ,

№ пп.	Наименование фактора	Источник фактора	Средняя оценка (среднее арифметическое)	Дисперсия оценок	Среднее квадратичное отклонение оценки	Коэффициент вариации	Уточненная средняя оценка (среднее арифметическое)
1	Наличие качественной РД	Внешний	9,57	1,102	1,0497813	0,1096786	0,62
2	Своевременная поставка оборудования и материалов	Внешний	9,29	3,061	1,7496355	0,1884223	0,98
3	Наличие/соответствие грузоподъемных механизмов	Внутренний	5,00	1,429	1,1952286	0,2390457	0,72
4	Степень локализации оборудования и материалов в регионе строительства	Внешний	6,43	1,388	1,1780302	0,1832491	0,89
5	Обеспеченность стройки современным высокоэффективным оборудованием	Внешний	6,14	1,837	1,3552619	0,2206240	1,17
6	Обеспеченность проекта рабочим персоналом	Внутренний	8,00	0,857	0,9258201	0,1157275	0,84
7	Обеспеченность стройки ИТР	Внутренний	7,57	1,959	1,3997084	0,1848672	1,07
8	Доля местного персонала в штате компании	Внешний	5,86	1,837	1,3552619	0,2313862	0,83
9	Адаптационное сопровождение ротируемого персонала	Внутренний	4,29	1,061	1,0301575	0,2403701	0,95
10	Эффективность управленческой структуры организации генподрядчика	Внутренний	7,71	1,918	1,3850514	0,1795437	0,89
11	Эффективность управленческих структур организаций субподрядчиков	Внешний	7,71	1,061	1,0301575	0,1335389	0,89
12	Наличие референтного опыта строительства у генподрядчика	Внутренний	7,29	2,490	1,5779087	0,2165757	0,90
13	Наличие опыта строительства АЭС у заказчика	Внешний	6,71	1,347	1,1605769	0,1728519	0,86
14	Степень укрупнения конструкций (использование штучной арматуры, укрупненных армокаркасов, крупноблочное строительство и т. д.)	Внутренний	6,71	2,204	1,4846150	0,2211129	0,92
15	Шаг ввода энергоблоков	Внешний	6,00	1,714	1,3093073	0,2182179	1,05
16	Наличие развитой транспортной инфраструктуры в регионе строительства (ж/д и морские пути, а/м дороги)	Внешний	7,71	2,776	1,6659863	0,2159612	1,12
17	Наличие развитой жилищно-бытовой инфраструктуры в регионе строительства (стройгородок, крупные города поблизости и т. д.)	Внешний	6,86	0,980	0,9897433	0,1443376	0,84
18	Эффективность календарно-сетевого и производственного планирования	Внутренний	8,14	3,551	1,8844151	0,2314194	1,33
19	Мониторинг и контроль выполнения работ / контроль производственной дисциплины	Внутренний	7,43	2,816	1,6781914	0,2259104	1,09
20	Наличие системы управления качеством в строительстве	Внутренний	7,43	1,102	1,0497813	0,1413167	1,09
21	Экономические условия в регионе строительства (курс валют, формат налогообложения и т. д.)	Внешний	5,71	1,633	1,2777531	0,2236068	0,93
22	Природные условия в регионе строительства (климат, рельеф, флора, фауна и т. д.)	Внешний	6,43	1,959	1,3997084	0,2177324	1,11
23	Политические условия строительства (санкции в отношении участников, заинтересованность первых лиц государств-участников и т. д.)	Внешний	8,14	1,551	1,2453997	0,1529438	0,94
24	Санитарно-эпидемиологическая обстановка в регионе строительства	Внешний	6,57	1,388	1,1780302	0,1792655	0,97
25	Сложность проектно-технологических решений зданий, сооружений и систем	Внешний	6,86	2,694	1,6413036	0,2393568	1,21
26	Количество пропусков и ошибок в ведомостях объемов работ и сметах	Внешний	6,14	2,122	1,4568627	0,2371637	1,13
27	Стесненность объемно-планировочных решений	Внешний	5,86	1,551	1,2453997	0,2126292	1,16
28	Наличие и действенность системы управления проектом со стороны заказчика	Внешний	6,29	1,918	1,3850514	0,2203491	0,99
29	Количество и разобшенность поставщиков	Внешний	6,14	1,837	1,3552619	0,2206240	1,06
30	Уровень квалификации инженерно-технического рабочего персонала	Внутренний	7,86	1,551	1,2453997	0,1585054	1,11
31	Своевременное оформление документов предпроектного и подготовительного этапов (лицензий, ОбИн, ДОН, ОВОС, ООБ и др.)	Внешний	8,43	1,959	1,3997084	0,1660671	1,19
32	Компетентность и активность технического заказчика	Внешний	7,57	1,959	1,3997084	0,1848672	1,29
33	Своевременность финансирования проекта	Внешний	9,00	1,143	1,0690450	0,1187828	1,15
34	Изменения технических решений со стороны заказчика в ходе проектирования и строительства	Внешний	8,29	1,061	1,0301575	0,1243294	1,36

Табл. 1. Экспертная оценка факторов, влияющих на изменения длительности сооружения АЭС
Tab. 1. Expert assessment of factors influencing changes in NPP construction duration

Коэффициент	Эксперт № 1	Эксперт № 2	Эксперт № 3	Эксперт № 4	Эксперт № 5	Эксперт № 6	Эксперт № 7
Коэффициент компетентности эксперта	0,1524835	0,1401589	0,1568860	0,1340140	0,135977	0,1241869	0,156294

Табл. 2. Коэффициент компетентности экспертов
Tab. 2. Expert competence coefficient

Проектного офиса по развитию Производственной системы Росатом в проектах сооружения АО АСЭ, отдела управления строительством, ресурсного планирования и Производственной системы Росатом Филиала АО АСЭ в Арабской Республике Египет.

Сформирована экспертная группа в количестве 7 человек. Перед проведением индивидуального анкетирования в рамках предварительного опроса данной экспертной группой был установлен перечень из 34 факторов, имеющих наибольшее влияние на ход сооружения АЭС с точки зрения сроков производства работ.

В результате анкетирования каждый из семи экспертов должен присвоить каждому показателю (фактору) численное (абсолютное) значение.

Важно отметить, что для сохранения непредвзятости экспертных оценок в листе оценивания не было указано – к внешним или внутренним относится фактор.

Результаты

После получения от экспертов результатов оценки факторов первоочередной задачей является определение согласованности оценок путем вычисления коэффициента вариации V_i :

$$V_i = \frac{\delta_i}{M_i}.$$

(1)

Для этого первоначально определим среднее квадратическое отклонение оценок:

$$\delta_i = \sqrt{D_i}.$$

(2)

И вычислим дисперсию оценок, присвоенных i -му показателю:

$$D_i = \frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (b_i^k - M_i)^2.$$

(3)

Коэффициент вариации определен для каждого сравниваемого показателя и будет характеризовать степень согласованности мнений экспертов. Минимальное значение коэффициента вариации характеризует высокую согласованность экспертных оценок.

В имеющихся расчетных условиях мнения экспертов будут считаться согласованными при нахождении коэффициента вариации в следующем диапазоне: $V_i < 0,25$.

Полученные значения занесены в таблицу 1.

В нашем случае значение коэффициента вариации не превышает 0,24037008, следовательно, оценки экспертов являются согласованными, и возможно их дальнейшее использование в исследовании возможностей создания системы резервов времени при сооружении АЭС.

С целью повышения объективности и точности проводимого экспертного оценивания на основании получен-

ных от экспертов данных анализа деятельности предприятий необходимо осуществить оценку компетентности экспертов. Для этого рассчитаем коэффициент компетентности эксперта (J_k) [10; 11].

Данный подход базируется на предположении, что компетентность эксперта может быть определена по степени согласованности его оценок с групповой оценкой. Воспользуемся следующей формулой расчета коэффициента компетентности эксперта:

$$J_i = \frac{\sum (b_i^k * M_i)}{\sum (S_i * M_i)},$$

(4)

где J_i – коэффициент компетентности 1-го эксперта;

M_i – средняя оценка i -го показателя (среднее арифметическое);

S_i – сумма оценок i -го показателя.

По результатам расчета определены коэффициенты компетентности экспертов (таблица 2).

Вычисленные коэффициенты компетентности экспертов одновременно являются весами компетентности экспертов. С их помощью становится возможным переход от базовых (первоначальных) значений оценки факторов, влияющих на наличие или отсутствие отставаний от утвержденных сроков строительства АЭС, к уточненным (дополненным). Полученные значения весов компетентности экспертов j_k умножим на полученные от соответствующих экспертов оценочные значения показателей:

$$b_{j_k}^k = j_k * b_{j_k}^k.$$

(5)

Полученные данные указаны в таблице 1.

С целью последующего получения обобщенных усредненных показателей воспользуемся формулой среднего арифметического значения и в качестве итогового значения определим медианное значение.

Для сравнения групп внешних и внутренних факторов воспользуемся формулой среднего арифметического и вычислим уточненную среднюю оценку для каждой группы (таблица 3).

Обсуждение

Данный математический метод [12], с учетом достаточной согласованности экспертных оценок, позволяет сделать вывод, что в процессе сооружения АЭС влияние внешних факторов на сроки строительства превалирует над влиянием внутренних факторов. Однако важность работы над внутренними процессами при этом весьма существенна при проведении оценки выполнимости сформированных графиков строительства.

Возможно использование вычисленных уточненных средних оценок внутренних и внешних факторов в ка-

честве среднего отклонения и среднего изменения соответственно при оценке резервов графиков производства работ по методу Монте-Карло и при построении распределений возможных общих длительностей проектов, а также при декомпозиции данных резервов времени между субподрядными организациями и прочими контрагентами для минимизации рисков срывов работ [13].

Перечень оцениваемых факторов можно определить, базируясь не только на материалах и процедурах в области риск-менеджмента, но и на основе системы сбалансированных показателей (BSC), методологии управления изменениями проекта, реинжиниринге организационных и технологических процессов возведения АЭС [14], а также на основе механизмов производственных систем предприятий и ряде других инструментов [15–17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьева, А. П. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций / А. П. Соловьева, В. В. Харитонов, О. Г. Шамаков. – DOI 10.26583/npe.2018.3.05 // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2018. – № 3. – С. 52–62.

2. Сааков, Э. С. Инжиниринг при вводе в эксплуатацию новых энергоблоков АЭС : доклад / Э.С. Сааков // Форум поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС-Северо-Запад», Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2011 г. – Санкт-Петербург, 2011.

3. Сааков, Э. С. Пусконаладочные работы – итоговый этап сооружения ОИАЭ, обеспечивающий основу безопасности их дальнейшей эксплуатации. Инженерно-техническая поддержка при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС : доклад // Международный форум «АТОМЭКСПО 2012», Москва, 4–6 июня 2012 г. – Москва, 2012. – URL: http://2012.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/Present2012/Saakov.pdf.

4. Voronkov, I. E. Structure of realised risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020 / I. E. Voronkov, R. V. Ostrovskii. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809081 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2021). – 2021. – Vol. 258. – P. 09081.

5. Демидов, Л. П. Исследования по применению метода экспертных оценок при анализе потенциала строительной площадки / Л. П. Демидов // Технология и организация строительного производства. – 2014. – № 1. – С. 51–53.

6. Кузьмин, К. А. Приложение метода экспертных оценок при обработке анкет эффективности ведения строительного-монтажных работ / К. А. Кузьмин, Е. В. Грызов // Естественные и математические науки в современном мире. – 2014. – № 16. – С. 73–79.

7. Задача повышения отношения согласованности экспертных оценок при определении важности характеристик исследуемых объектов / В. В. Вороновский, А. Н. Дудко, В. Ю. Паздников, Е. П. Сохранный, С. Б. Усиков // Космонавтика и ракетостроение. – 2017. – № 1 (94). – С. 46–53.

8. Аксенова, О. А. Применение матрицы согласованности мнений экспертов для анализа их компетентности и установления обоснованности группового решения о победителе конкурса / О. А. Аксенова, А. И. Варлыгина // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. – 2014. – Т. 5, № 3 (15). – С. 256–265.

9. Ляковский, В. Л. Выбор экспертов для оценки проектов программных документов / В. Л. Ляковский, С. С. Смирнов,

Заключение

В ходе исследования был сформирован перечень факторов, влияющих на возникновение или отсутствие отставаний в ходе сооружения АЭС, установлено их условное разделение по характеру источников данных факторов на «внутренние» и «внешние», проведена их экспертная оценка по степени влияния на проект.

При помощи математических методов анализа были установлены коэффициент вариации, степень согласованности экспертов и рассчитана уточненная средняя оценка факторов. Указаны дальнейшие пути использования результатов исследования в области управления сроками и рисками при сооружении атомных электростанций.

А. Ю. Пронин // Компетентность. – 2017. – № 4 (145). – С. 4–9.

10. Ситков, Р. А., Методика проведения экспертного опроса по оцениванию свойств и факторов, влияющих на качество и компетентность экспертов / Р. А. Ситков, В. Н. Щельников, И. Е. Петрушин // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-5. – С. 944–948.

11. Хоркина, Ж. А. Автоматизация формирования проекта адресных перечней инвестиционно-строительных программ : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.12 / Хоркина Жанна Александровна ; НИУ МГСУ. – Москва, 2011. – 125 с. – Текст : непосредственный.

12. A Proposed Fuzzy Model for Reducing the Risk of Insolvent Loans in the Credit Sector as Applied in Egypt / N. I. Hasan, F. F. Farahat, H. Elghareeb, A. Aboelfotouh. – DOI 10.5391/IJFIS.2021.21.1.66 // International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – P. 66–75.

13. Fuzzy convolutional deep-learning model to estimate the operational risk capital using multi-source risk events / A. Pena, A. Patino, F. Chiclana, F. Caraffini, M. Gongora, J. D. Gonzalez-Ruiz, E. Duque-Grisales. – DOI 10.1016/j.asoc.2021.107381 // Applied Soft Computing. – 2021. – Vol. 107. – P. 107381.

14. A reference point-based evolutionary algorithm for many-objective fuzzy portfolio selection / J. Chen, X. Ma, Y. Sun, Z. Zhu. – DOI 10.1016/j.swevo.2021.100862 // International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications. – 2021. – Vol. 62. – P. 100862.

15. Voronkov, I. E. Reengineering of organizational and technological processes of NPP construction / I. E. Voronkov, T. A. Usmanov. – DOI 10.1088/1742-6596/1889/2/022104 // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), Krasnoyarsk, 2021. – 2021. – Vol. 1889. – P. 022104.

16. Созаева, Д. А. Управление рисками: подходы, модели, методологии / Д. А. Созаева // Проблемы анализа риска. – 2016. – Т. 13, № 4. – С. 6–20.

17. Скобелева, И. П. Модель интеграции риск-менеджмента в систему управления компанией на основе концепции BSC / И. П. Скобелева, Т. В. Санжиева // Современные технологии управления. – 2014. – № 5 (41). – С. 30–35.

18. Лезговко, А. М. Управление рисками на предприятиях легкой промышленности: особенности, стратегии и механизм / А. М. Лезговко // Транспортное дело России. – 2012. – С. 220–223.

Источник фактора	Уточненная оценка. Эксперт № 1	Уточненная оценка. Эксперт № 2	Уточненная оценка. Эксперт № 3	Уточненная оценка. Эксперт № 4	Уточненная оценка. Эксперт № 5	Уточненная оценка. Эксперт № 6	Уточненная оценка. Эксперт № 7	Уточненная средняя оценка
Внешний	1,199979	0,987206	1,261909	0,891485	0,940016	0,761320	1,189190	1,033
Внутренний	1,053522	0,955629	1,140989	0,889366	0,852948	0,756411	1,307183	0,994

Табл. 3. Уточненная оценка внешних и внутренних факторов
Tab. 3. Refined assessment of external and internal factors

REFERENCES

1. Solovieva, A. P. Vliyanie zaderzhek v stroitel'stve AES na ehffektivnost' investitsij [Influence of delays in NPP construction on investment efficiency] / A. P. Solovieva, V. V. Kharitonov, O. G. Shmakov. – DOI 10.26583/npe.2018.3.05 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Yadernaya ehnergetika [News of higher educational institutions. Nuclear Energy]. – 2018. – № 3. – P. 52–62.

2. Sahakov, Eh. S. Inzhiniring pri vvode v ekspluatatsiyu novykh energoblokov AES: doklad [Engineering during the commissioning of new NPP power units : a report] / Eh. S. Saakov // Forum postavshhikov atomnoj otrasli «ATOMEX-Severo-Zapad», Sankt-Peterburg, 19–21 aprelya 2011 g. [Forum of suppliers of the nuclear industry «ATOMEX-North-West», St. Petersburg, April 19–21, 2011]. – St. Petersburg, 2011.

3. Saakov, E. S. Puskonaladochnye raboty – itogovyj etap sooruzheniya OIAE, obespechivayushchij osnovu bezopasnosti ih dal'nejshoj ekspluatatsii. Inzhenerno-tekhnicheskaya podderzhka pri vvode v ekspluatatsiyu energoblokov AES : doklad [Commissioning – the final stage the facilities of the Nuclear power Plant, which provides the basis for the safety of their further operation. Engineering and technical support during the commissioning of NPP power units : report] / E. S. Saakov // Mezhdunarodny forum «ATOMEXKSP0 2012», Moskva, 4–6 iyunya 2012 g. [International Forum ATOMEXPO 2012, Moscow, June 4–6, 2012]. – Moscow, 2012. – URL: <http://2012.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/Present2012/Saakov.pdf>.

4. Voronkov, I. E. Structure of realised risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010–2020 / I. E. Voronkov, R. V. Ostrovskii. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809081 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2021). – 2021. – Vol. 258. – P. 09081.

5. Demidov, L. P. Issledovaniya po primeneniyu metoda ekspertnykh otsenok pri analize potentsiala stroitel'noj ploshhadki [Research on the application of the method of expert evaluations in the analysis of the construction site potential] / L. P. Demidov // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva [Technology and organisation of construction production]. – 2014. – № 1. – P. 51–53.

6. Kuzmin, K. A. Prilozhenie metoda ehkspertnykh otsenok pri obrabotke anket ehffektivnosti vedeniya stroitel'no-montazhnykh rabot [Application of the method of expert evaluations in the processing of questionnaires of efficiency of construction and installation works] / K. A. Kuzmin, E. V. Gryzhov // Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire [Natural and mathematical sciences in the modern world]. – 2014. – № 16. – P. 73–79.

7. Zadacha povysheniya otnosheniya soglasovannosti ehkspertnykh otsenok pri opredelenii vazhnosti kharakteristik issleduemykh ob'ektov [The task of increasing the consistency ratio of expert evaluations in determining the importance of the characteristics of the studied objects] / V. V. Voronovskii, A. N. Dudko, V. Yu. Voronovskiy, A. N. Dudko, V. Yu. Pazdnikov, E. P. Sokhrannyi, S. B. Usikov // Kosmonavtika i raketostroyeniye [Cosmonautics and rocket science]. – 2017. – № 1 (94). – P. 46–53.

8. Aksenova, O. A. Primenenie matritsy soglasovannosti mnenij ehkspertov dlya analiza ikh kompetentnosti i ustanovleniya obosnovannosti gruppovogo resheniya o pobeditele konkursa [Application of the matrix of consistency of experts' opinions to analyse their competence and establish the validity

of group decision on the winner of the competition] / O. A. Aksenova, A. I. Varlygina // Nauchnye trudy Severo-Zapadnogo instituta upravleniya RANKHiGS [Scientific Proceedings of the North-West Institute of Management of the RANEPa]. – 2014. – Vol. 5, № 3 (15). – P. 256–265.

9. Lyaskovskiy, V. L. Vybor ehkspertov dlya otsenki projektov programmnykh dokumentov [Selection of experts for the evaluation of draft programme documents] / V. L. Lyaskovskiy, S. S. Smirnov, A. Yu. Pronin // Kompetentnost' [Competence]. – 2017. – № 4 (145). – P. 4–9.

10. Sitkov, R. A. Metodika provedeniya ehkspertnogo oprosa po otsenivaniyu svoystv i faktorov, vliyayushhikh na kachestvo i kompetentnost' ehkspertov [Methodology of the expert survey to assess the properties and factors affecting the quality and competence of experts] / R. A. Sitkov, V. N. Schelnikov, I. E. Petrushin // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. – 2016. – № 11–5. – P. 944–948.

11. Horkina, J. A. Avtomatizatsiya formirovaniya proekta adresnykh perechnej investitsionno-stroitel'nykh program : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.12 [Automation of the formation of the project of the address lists of investment and construction programmes] / Khorkina Zhanna Alexandrovna ; NRU MGSU. – Moscow, 2011. – 125 p. – Text : direct.

12. A Proposed Fuzzy Model for Reducing the Risk of Insolvent Loans in the Credit Sector as Applied in Egypt / N. I. Hasan, F. F. Farahat, H. Elghareeb, A. Aboelfotouh. – DOI 10.5391/IJFIS.2021.21.1.66 // International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – P. 66–75.

13. Fuzzy convolutional deep-learning model to estimate the operational risk capital using multi-source risk events / A. Pena, A. Patino, F. Chiclana, F. Caraffini, M. Gongora, J. D. Gonzalez-Ruiz, E. Duque-Grisales. – DOI 10.1016/j.asoc.2021.107381 // Applied Soft Computing. – 2021. – Vol. 107. – P. 107381.

14. A reference point-based evolutionary algorithm for many-objective fuzzy portfolio selection / J. Chen, X. Ma, Y. Sun, Z. Zhu. – DOI 10.1016/j.swevo.2021.100862 // International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications. – 2021. – Vol. 62. – P. 100862.

15. Voronkov, I. E. Reengineering of organizational and technological processes of NPP construction / I. E. Voronkov, T. A. Usmanov. – DOI 10.1088/1742-6596/1889/2/022104 // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), Krasnoyarsk, 2021. – 2021. – Vol. 1889. – P. 022104.

16. Sozaeva, D. A. Upravlenie riskami: podkhody, modeli, metodologii [Risk management: approaches, models, methodologies] / D. A. Sozaeva // Problemy analiza riska [Problems of risk analysis]. – 2016. – Vol. 13, № 4. – P. 6–20.

17. Skobeleva, I. P. Model' integratsii risk-menedzhmenta v sistemu upravleniya kompaniej na osnove kontseptsii BSC [Model of risk management integration into the company management system based on the BSC concept] / I. P. Skobeleva, T. V. Sanzhieva // Sovremennye tekhnologii upravleniya [Modern Management Technologies]. – 2014. – № 5 (41). – P. 30–35.

18. Lezgovko, A. M. Upravlenie riskami na predpriyatiyakh legkoj promyshlennosti: osobennosti, strategii i mekhanizm [Risk management at the enterprises of light industry: features, strategies and mechanism] / A. M. Lezgovko // Transportnoe delo Rossii [Transport business of Russia]. – 2012. – P. 220–223.

УДК 69.07

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_111

Применение технологий генеративного проектирования для совершенствования конструктивных решений

Application of Generative Design Technologies to Improve Design Solutions

Фомин Никита Игоревич

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

Fomin Nikita Igorevich

Candidate of Technical 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), Russia, 620002, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 19, ni.fomin@urfu.ru

Исупов Никита Сергеевич

Аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира, 19, isupovn98@gmail.com

Isupov Nikita Sergeevich

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, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 19, isupovn98@gmail.com

Аннотация. Технологии генеративного дизайна, реализующие возможности искусственного интеллекта (ИИ), уже находят применение на различных этапах архитектурно-строительного проектирования. Данная инновационная методология позволяет создавать уникальные и оптимальные решения, используя алгоритмические процессы и компьютерные программы. С помощью генеративного дизайна можно открывать новые горизонты проектирования, улучшая эффективность здания по многим критериям, а также улучшать его отдельные элементы. В статье проанализированы некоторые возможности применения генеративного проектирования на этапе конструкторской проработки проектных решений в качестве инструмента верификации и повышения их качества. На примере верификации решений из раздела «Конструктивные решения» монолитного железобетонного остова жилого здания проведено сравнение отечественных программ с применением ИИ и без него. Выявлены достоинства и недостатки отечественного программного обеспечения с ИИ. Сделаны выводы о дальнейшем развитии практики применения в строительстве отечественных программ с ИИ.

Abstract. Generative design technologies that implement the capabilities of artificial intelligence (AI) are already being used at various stages of architectural and construction design. This innovative methodology allows you to create unique and optimal solutions using algorithmic processes and computer programs. With the help of generative design, new design horizons can be opened, improving the efficiency of a building according to many criteria, as well as improving its individual elements. The article analyzes some possibilities of using generative design at the stage of design study of design solutions as a tool for verification

Введение

Популярное в настоящее время программное оборудование (ПО) для информационного моделирования не может обеспечить высокий уровень автоматизации, что приводит к нерациональному использованию труда проектировщика. Достигнутый уровень автоматизации не позволяет избежать проектных ошибок, обусловленных человеческим фактором, а также нерациональных архитектурных, конструктивных, технологических и пр. решений. Поэтому, несмотря на интенсивное развитие ПО, сохраняется высокая стоимость проектных работ в строительстве, а также потенциал к росту качества проектных решений. Некоторые передовые проектные организации разрабатывают для своих локальных нужд «корпоративные» программы и их комплексы [1; 2], которые позволяют до некоторой степени устранить указанные недостат-

фикации и повышения их качества. На примере верификации решений из раздела «Конструктивные решения» монолитного железобетонного остова жилого здания проведено сравнение отечественных программ с применением ИИ и без него. Выявлены достоинства и недостатки отечественного программного обеспечения с ИИ. Сделаны выводы о дальнейшем развитии практики применения в строительстве отечественных программ с ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, технология информационного моделирования, генеративное проектирование, верификация проектных решений, цифровизация строительства, *Prometey*.

and improving their quality. Using the example of verification of solutions from the section "Constructive solutions" of a monolithic reinforced concrete skeleton of a residential building, a comparison of domestic programs with and without AI was carried out. The advantages and disadvantages of domestic AI software are revealed. Conclusions are drawn about the further development of the practice of using domestic AI programs in construction.

Keywords: artificial intelligence, information modeling technology, generative design, verification of design solutions, digitalization of construction, *Prometey*.

ки. Часто функционал таких инструментов очень схож, а их общее количество может достигать нескольких сотен. При современном развитии искусственного интеллекта (ИИ) указанный подход к развитию отраслевого проектирования теряет свою эффективность.

Рассмотрим возможности применения ИИ на примере разработки одного из наиболее ответственных разделов проектной строительной документации – «Конструктивные решения» (КР). Формируя решения данного раздела, конструктор, в силу временных ограничений, а также нехватки опыта, может столкнуться с проблемой верификации полученных результатов. Рядовой специалист не сможет обеспечить достаточного качества конструктивного решения, обусловленного, например, оптимальным сечением элементов, материалоемкостью конструкции, корректного соотношения формы и сечения конструкции

с ее напряженно-деформированным состоянием в период эксплуатации. Таким образом, существует потребность в создании и масштабном применении инструментов на основе ИИ для верификации, в первую очередь, наиболее ответственных решений строительного проекта.

Материалы и методы

Цель настоящей работы: демонстрация возможностей ИИ для совершенствования и верификации проектных решений в строительстве, на примере раздела проекта (КР).

Для достижения сформулированной цели решены следующие задачи:

- выполнен анализ основных направлений развития ИИ для разработки проектной документации в строительстве, предложен вариант внедрения данной технологии в практику проектирования;
- в качестве примера применения ИИ в проектировании изучены возможности и ограничения отечественной программы генеративного проектирования строительных конструкций *Prometey* – как инструмента совершенствования проектных решений раздела КР;
- для верификации проектных решений, разработанных в отечественных программах, выполнено сравнение двух ПО: с применением ИИ и без него.

Для решения поставленных задач были применены методы: анализа, компьютерного моделирования, сравнения результатов численного эксперимента, полученных в различных ПО.

Искусственный интеллект – это компьютерная система, способная самостоятельно решать интеллектуальные задачи, которые обычно выполняет человек. ИИ является движущим фактором цифровизации в современной промышленности, включая строительство [3].

В качестве перспективных направлений развития ИИ в строительстве можно выделить: автоматизацию и робототехнику; анализ данных и управление рисками; предиктивный анализ (прогнозирование событий с помощью математических моделей на основе накопленных данных); генеративное проектирование. Последнее направление выбрано в качестве объекта исследования в данной работе как обладающее, по нашему мнению, наибольшим потенциалом для масштабного внедрения.

Системы управления строительством на основе генеративного проектирования могут автоматически определять оптимальные способы использования ресурсов, а также решать проблемы, связанные с нехваткой материалов и других ресурсов на строительном объекте. Это позволяет сократить затраты на строительство, уменьшить материалоемкость объектов строительства, увеличить производительность и повысить качество выполнения работ [4–6].

В настоящее время существуют следующие направления развития ИИ в области строительного проектирования:

1. Создание цифровых, информационных 3D-моделей зданий, определение оптимальных характеристик строительных конструкций и материалов, а также автоматизация процесса проектирования и планирования [7; 8]. По результатам автоматического многоитерационного подхода программа выберет наилучший вариант (или их комбинацию) согласно входным данным, введенным пользователем. Но ИИ также может «ошибаться», поэтому необходимо учитывать, что результаты его работы должны проверяться и анализироваться экспертом [9].

2. Экспертиза проектной документации. Новые правила предоставления пояснительной записки в экспертизу, опубликованные на сайте Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, по переводу данных проекта в машиночитаемый формат XML, служат инструментом для структурирования и накопления большого объема данных и являются, таким образом, начальным этапом по цифровизации института экспертизы проектов [10, 11]. Цель использования ИИ в процессе экспертизы заключается в возможности применения инструмента предиктивного анализа – как в качестве приемочного контроля законченных проектных решений, так и в качестве операционного – на этапе их разработки, для выявления отступлений от нормативных требований, а также (при определенной настройке) требований технического задания.

Благодаря данной технологии проектировщик в ходе разработки проектной документации будет обращаться к системе, которая подскажет типовые ошибки и предоставит полезные знания. Такая предварительная «экспертиза»

за» позволит снизить влияние человеческого фактора в ходе проверки документации.

Технологии ИИ непрерывно развиваются, появляются возможности его использования с цифровыми двойниками [12]. Можно с уверенностью сказать, что технологии ИИ станут важной частью работы профессионального строительного проектировщика и эксперта [13]. В перспективе отраслевые организации, как и в период масштабного внедрения технологии информационного моделирования (ТИМ), окажутся перед необходимостью разработки стратегий и стандартов использования ИИ [14].

По нашему мнению, успешное отраслевое развитие технологий ИИ должно начинаться не с законодательных инициатив, но масштабным внедрением их на предприятиях, комплексной апробацией и последующим закреплением полученных результатов (регламентов, схем и технологий) уже на законодательном уровне. Как показал отечественный опыт внедрения ТИМ, именно такой подход обеспечивает рациональное и полное использование возможностей новых инструментов.

Результаты и обсуждение

Технологии генеративного дизайна, реализующие возможности ИИ, уже находят применение на различных этапах архитектурно-строительного проектирования. На этапе создания архитектурной концепции такой дизайн применяется для широкого поиска инновационных или оптимальных форм зданий и сооружений, комплексно сочетающих функциональность и эстетику. Из статьи [15] следует, что возможности нейросетей значительно выросли для генерирования 2D-данных, при этом имеются ограничения для 3D-данных, но и это направление также развивается.

Потенциал применения генеративного проектирования на этапе конструкторской проработки проектных решений обусловлен необходимостью внедрения инструментов верификации их качества. По данным Главгосэкспертизы, за 2022 год доля отрицательных заключений уменьшилась более чем в 4 раза по сравнению с 2021 годом (см. рисунок 1).

Несмотря на значительное улучшение качества проектных решений, на 2022 еще сохраняются проекты, которые в силу изменений, доработки решений проходят повторную экспертизу, пусть и в форме экспертного сопровождения. Несложно увидеть, что проблема верификации качества проектных решений раздела КР более чем актуальна.

Следует сделать небольшое отступление и отметить, что для разных участников инвестиционно-строительного проекта критерии качества проектного решения могут существенно отличаться. Так, для рядового конструктора качество будет отождествляться с надежностью и некоторым запасом, например, ориентацией на избыточное «конструктивное» армирование в монолитных конструкциях, вместо выполнения расчетов для обоснования снижения ее расхода. Для инвестора критерием качества выступают затраты на скоростное проектирование и возведение монолитных конструкций, для потребителя – высокие эксплуатационные качества несущего остова и т. д. [17]. В достаточно обобщенном виде критерием «конструкторского» качества монолитной железобетонной конструкции и соответствующего решения из раздела КР будет минимальный процент армирования конструк-

ции, формирующий как технические ее показатели, например, расход арматуры на 1 м³ бетона, так и экономические, например, себестоимость возведения конструкции, включая стоимость материалов.

Несмотря на начальный этап практического применения генеративного проектирования, уже разработаны и апробируются программы, позволяющие реализовать принципы ИИ для верификации проектных решений. Среди отечественных продуктов можно выделить программный комплекс *Prometey* версии 3.0.1.30, разработчик М. Дубко (далее по тексту – ПО *Prometey*), предназначенный для поддержки (верификации) конструкторских решений:

- на предпроектной стадии, когда уже сформированы объемно-планировочные решения и необходимо предварительно определить сечения конструкций;
- на этапе разработки раздела КР в составе проектной документации, когда необходимо проверить оптимальность назначенных сечений.

ПО *Prometey* предназначено для решения оптимизационных задач поиска параметров конструкций каркаса жилого здания. У программы есть несколько особенностей, которые можно считать ограничениями:

- расчет производится только для монолитных зданий с безбалочными перекрытиями;
- пользователь может задать только равномерно распределенную нагрузку;
- в расчете участвует только один типовой этаж здания, т. е. нельзя подобрать сечения пилонов и стен для подземных этажей, а также для зданий с переменной компоновкой вертикальных конструкций.

Проверка сечений вертикальных несущих конструкций в программе построена согласно следующему алгоритму:

- 1) нахождение грузовых площадей вертикальных конструкций на основе метода Делона, Вороного и релаксации Ллойда (метод вычитания конусов (МВК)). В геометрический центр пилонов размещаются конусы с одинаковыми диаметрами и высотами. На месте пересечения конусов формируются прямые линии, которые образуют замкнутые контуры – грузовые площади вертикальных конструкций. Благодаря данному методу для хаотично расположенных пилонов значительно упрощается задача по нахождению грузовых площадей;
- 2) нахождение нагрузки (*m*) путем перемножения грузовой площади на давление, заданное пользователем;
- 3) проверка сечения вертикальной конструкции согласно заданному пользователем проценту армирования с учетом расчета на продавливание в плитах перекрытия.

Путем опытной проверки, выполненной разработчиком ПО *Prometey*, расхождение значений приведенной нагрузки на вертикальную несущую конструкцию в моделях, реализованных различными методами МВК и традиционным методом конечных элементов (МКЭ), составило от 0 до 10 %.

В данной статье представлены результаты верификации проектных решений на примере раздела КР монолитного железобетонного 10-этажного жилого здания в г. Екатеринбурге. Объектом верификации стали пилоны типового этажа. В исходном проекте они выполнены толщи-

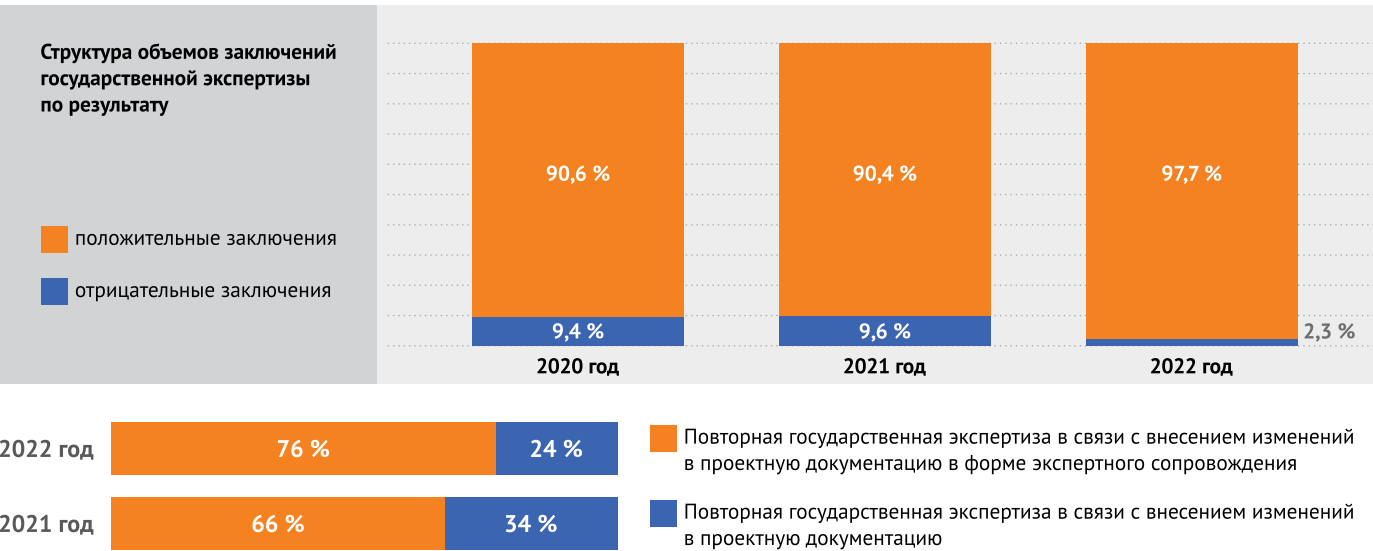


Рис. 1. Статистика Главгосэкспертизы по выданным заключениям и по услугам повторной экспертизы [16]
Fig. 1. Statistics of the Main State Expertise on issued opinions and on re-examination services [16]



Рис. 2. Сгенерированные сечения монолитных конструкций в ПО *Prometey* (серым цветом отмечены откорректированные сечения, красным – первоначальные сечения)
Fig. 2 Generated sections of monolithic structures in *Prometey* software (corrected sections are marked in gray, original sections are marked in red)

ной 250 мм, стены лестнично-лифтового узла – 160 мм. Плита перекрытия имеет толщину 180 мм, плита покрытия – 200 мм. Класс бетона всех конструкций В25.

Для проверки были выбраны два ПО: *Prometey*, основанный на технологии ИИ, и «Арбат» версии 21.1.9.7 (разработчик *SCAD Office*) (далее по тексту – «Арбат») без технологии ИИ.

Причины, по которым данные программы были использованы для демонстрации возможностей верификации проектных решений, следующие:

- отечественный программный продукт;
- низкий порог вхождения из-за небольшого количества функций;
- общедоступная альфа-версия программы до конца 2023 года *Prometey* и относительно недорогая пользовательская версия «Арбат»;
- актуальность использования «Арбат» при проверке сечений монолитных конструкций у проектировщиков, а также высокий интерес к *Prometey* у конструкторов, использующих в работе ТИМ.

Как уже отмечалось, в настоящее время ПО *Prometey* представлено в виде альфа-версии: еще не составлена инструкция, методические указания по его полному функционалу, а также особенностям расчетных методик.



Рис. 3. Диаграмма факторов для наиболее нагруженного пилона типового этажа
Fig. 3 Factor diagram for the most loaded pylon of a typical floor

Поэтому было принято решение выполнить экспериментальную проверку возможностей программы с дальнейшей проверкой результатов в программном комплексе «Лира-Сапр» (разработчик группа компаний *LiraLand*). Последовательность выполнения проверки:

- моделирование конструкций типового этажа здания в *Prometey* и задание расчетных характеристик (нагрузки, класс бетона конструкций, шаг армирования, минимальный процент армирования и т. п.);
- получение сечений конструкций;
- моделирование полученных сечений в расчетном комплексе «Лира-Сапр» с дополнительным построением фундаментов и конструкций подвала и задание расчетных характеристик (нагрузки, сочетания усилий, характеристики бетона и арматуры);
- получение усилий для использования в «Арбат» и анализ результатов расчета для *Prometey*.

Ключевой характеристикой, благодаря которой происходит подбор сечений в программе *Prometey*, является минимальный процент армирования конструкции, который задается пользователем. По данному параметру можно судить, конструктивно ли выполнено армирование, либо арматура в монолитной конструкции подобрана по расчету, что позволяет предварительно оценить качество конструирования несущего остова здания.

В ПО *Prometey* были созданы конструкции типового этажа исходного проекта, приложены постоянные и временные распределенные нагрузки, заданы характеристики бетона и арматуры. Для проверки процент армирования был задан усредненный (от максимального и минимального значения) – 3 % (см. рисунок 2).

В программе «Арбат» были проверены вертикальные несущие конструкции в соответствии с усилиями, полученными из «Лира-Сапр». Степень работы максимально нагруженного пилона можно оценить по диаграмме факторов (см. рисунок 3).

При работе с программными комплексами возникли некоторые сложности, которые стоит отметить. Сложности при работе с ПО «Арбат»:

- для проверки каждого отдельного пилона приходится задавать его индивидуальные усилия. Для оценки всех пилонов на типовом этаже (56 шт.) требуется в ручном режиме задать 56 значений, что достаточно трудоемко;

- в случае удовлетворительного прохождения проверки необходимо выполнить несколько итераций по подборке сечения пилона;
- проверка и подбор производятся не в пространственной схеме, что затрудняет возможности анализа работы всего остова здания.

Сложности при работе с ПО *Prometey*:

- отсутствие инструкций по работе с программой;
- потребовалась дополнительная проверка результатов в другом ПО из-за новизны программы;
- анализ конструкций производится только для типового этажа, а на плиту перекрытия прикладываются исключительно распределенные нагрузки.

Основным преимуществом *Prometey* оказалось то, что все итерации по подбору сечений конструкций, согласно входным данным, производил ИИ без участия человека и в пространственной схеме, в то время как в ПО «Арбат» подбор необходимо производить постепенным уменьшением/увеличением сечения для обеспечения нормативных требований СП 63.13330.2018 для каждой отдельной конструкции.

В результате выполненных расчетов по верификации все сечения пилонов, подобранные в *Prometey* и «Арбат», удовлетворили нормативным требованиям (см. таблицу 1).

Обобщим результаты верификации конструктивных решений:

- удалось получить армирование вертикальных конструкций не конструктивно, а по расчету. Данный показатель получилось уточнить ввиду оптимально выбранного сечения в зависимости от месторасположения стены;
- для большинства вертикальных конструкций удалось уменьшить сечения. В некоторых крайних пролетах геометрия пилонов, по сравнению с исходным проектом, осталась неизменной. В исходном проекте самым распространенным сечением пилонов было 1200×250 мм, в откорректированном – 600×200 мм. По результатам анализа плиты перекрытия в «Лира-Сапр» все места сопряжения стен и плит удовлетворяли условию расчета на продавливание;
- увеличилось количество типоразмеров конструкции, что приведет к повышению трудоемкости детализации на этапе создания рабочих чертежей.

Отдельно следует отметить снижение расхода бетона в пилонах, следовательно, объем построечных бетонных работ снизится, однако при этом вырастет объем по кладке стен, которые подрядные организации стараются

сократить в современных условиях из-за низкой технологичности кладочных работ.

Выводы

Цифровизация в строительстве нарастает: всего несколько лет назад специалисты строительной отрасли узнали о революционном подходе и возможностях информационного моделирования. Сегодня такое моделирование дополняет ИИ, который еще в большей степени раскрывает возможности симбиоза инженера и машины.

Благодаря генеративному проектированию, основанному на ИИ, на проекте гражданского здания продемонстрирована возможность снижения объема построечных монолитных работ в результате верификации проектных решений вертикальных монолитных несущих конструкций. Вместе с этим снижение сечений несущих конструкций вызывает повышение ответственности строительного контроля при возведении остова [18] и влияния построечных дефектов на надежность здания. Здесь важно соблюсти баланс между стремлением к экономии материала при сохранении номинальной надежности здания и производственными возможностями подрядных организаций, включая технологическое оснащение и строительный контроль.

В настоящее время строительная отрасль в полной мере не готова к масштабному внедрению современных программных инструментов оптимизации, как в силу различной заинтересованности участников строительства в ее результатах, так и из-за отсутствия однородной цифровизации этапов жизненного цикла строительных объектов: одни этапы в большей степени получили цифровое сопровождение, другие почти его не имеют. Наибольший эффект от внедрения ПО типа *Prometey* в проектную практику будет обеспечен при достижении следующих условий:

- все данные, содержащиеся в информационной модели здания, будут поступать на строительную площадку в наглядном, но цифровом виде, т. е. программа не предназначена для генерации документации в виде чертежей;
- четкая привязка процессов и результатов строительного контроля к информационной модели здания;
- повышение качества работ по возведению монолитного остова здания.

В силу указанных ограничений ПО типа *Prometey* используются как инструменты для проверочных расчетов.

На представленном примере ПО *Prometey* можно резюмировать, что генеративное проектирование пока не может заменить профессиональный опыт и человеческий креативный подход.

Наименование показателя	Первоначальный проект	Доработанный проект (усредненные значения, полученные в ПО «Prometey» и «Арбат»)
Количество типоразмеров стен без привязки к армированию	13 шт.	21 шт.
Расход бетона в плите перекрытия типового этажа	133 м³	133 м³
Расход арматуры в плите перекрытия типового этажа	16101 кг	13300 кг
Расход бетона в стенах типового этажа	52,6 кг/м³	32,7 кг/м³
Расход арматуры в стенах типового этажа	6460 кг	5436 кг
Максимальные напряжения в пилоне типового этажа (значение взято для самого нагруженного пилона с 2 по 10 этаж)	854 т/м²	2000 т/м²

Табл. 1. Результаты совершенствования проектных решений
Tab. 1. Results of improving design solutions

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стариченко, Д. К. Создание скрипта для семейства трубопроводов в REVIT, при помощи визуального программирования Dynamo / Д. К. Стариченко, И. А. Бахтина // Ползуновский альманах. – 2023. – № 1. – С. 162–164.

2. Шевелев, А. А. Автоматизированное создание топоповерхности в Revit по данным из Excel при помощи Dynamo / А. А. Шевелев // Новые технологии – нефтегазовому региону : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 томах, Тюмень, 22–25 мая 2023 года / Отв. редактор В. А. Чейметова. Т. 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 230–233.

3. Титов, В. А. Искусственный интеллект в архитектуре и строительстве / В. А. Титов // Студенческая наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 декабря 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 342–344.

4. Гулякин, Д. В. Роль искусственного интеллекта в строительстве / Д. В. Гулякин, С. О. Иванова. – DOI 10.5281/zenodo.7962210 // Наукосфера. – 2023. – № 5-1. – С. 208–211.

5. Шананин, В. А. Создание цифровых двойников в строительстве при помощи искусственного интеллекта / В. А. Шананин, К. Ю. Лосев // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 6. – С. 537–360.

6. Generative design for more economical and environmentally sustainable reinforced concrete structures / F. Alsakka, A. Haddad, F. Ezzedine, Gh. Salami, M. Dabaghi, F. Hamzeh. – DOI https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135829. // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 387 (5). – P. 135829.

7. Gan, V. J. L. BIM-based graph data model for automatic generative design of modular buildings / V. J. L. Gan. – DOI https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104062. // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – P. 104062.

8. Ghannad, P. Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN) / P. Ghannad, Y.-C. Lee. – DOI 10.1016/j.autcon.2022.104234 // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 139 (1). – P. 104234.

9. Хороших, И. С. Проблемы и перспективы применения нейросетей в строительстве / И. С. Хороших // Modern research and technology – 2023 : Сборник статей Международной на-

учно-практической конференции, Петрозаводск, 28 марта 2023. – Петрозаводск, 2023. – С. 65–71.

10. Эрконова, В. В. Предиктивная аналитика государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий / В. В. Эрконова // Недропользование XXI век. – 2020. – № 1 (83). – С. 80–84.

11. Балукова, В. А. Государственное регулирование процессов цифровой трансформации экономической деятельности в сфере проектирования / В. А. Балукова, А. В. Осипенко. – DOI 10.5281/zenodo.7962210. // Экономический вектор. – 2023. – № 3 (34). – С. 98–102.

12. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production / R. Soderberg, K. Wärmefjord, J. S. Carlson, L. Lindkvist. – DOI https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038. // CIRP Annals. – 2017. – Vol. 66 (1). – P. 137–140.

13. Дзюбенко, А. В. Применение искусственного интеллекта в сфере строительства / А. В. Дзюбенко, Д. И. Лесунова, О. И. Рыбкина // Образование. Наука. Производство : XIII Международный молодежный форум, Белгород, 08–09 октября 2021 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. – С. 639–642.

14. Крюков, К. М. Возможности использования искусственного интеллекта в строительстве / К. М. Крюков, А. М. Метлев // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 10 (94). – С. 51–60.

15. Акшов, Э. А. Использование вычислительного проектирования и искусственного интеллекта при моделировании архитектурных объектов / Э. А. Акшов. – DOI 10.24412/1998-4839-2023-2-298-315 // Архитектура и современные информационные технологии. – 2023. – № 2 (63). – С. 298–315.

16. Аналитический центр Главгосэкспертизы России // Главгосэкспертиза России : [официальный сайт]. – URL: https://gge.ru/analytics/statistika-po-godam (дата обращения 13.10.2023).

17. Фомин, Н. И. Организационно-технологическое обеспечение комплексного повышения эксплуатационных качеств монолитных и сборно-монолитных гражданских зданий : учеб. пособие / Н. И. Фомин. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 112 с.

18. Соловьева, А. И. Усиление железобетонного безбалочного перекрытия с нарушенным защитным слоем бетона композитными материалами / А. И. Соловьева, М. Ю. Беккиев // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 12 (96). – С. 411–421.

REFERENCES

1. Starichenko, D. K. Sozдание skripta dlya semeystva truboprovodov v REVIT, pri pomoshhi vizual'nogo programmirovaniya Dynamo [Scripting a Pipe Family in REVIT Using Dynamo Visual Programming] / D. K. Starichenko, I. A. Bakhtina // Polzunovskij al'manakh [Polzunovsky almanac]. – 2023. – № 1. – P. 162–164.

2. Shevelev, A. A. Avtomatizirovannoe sozdanie topopoverkhnosti v Revit po dannym iz Excel pri pomoshhi Dynamo [Automated creation of toposurfaces in Revit using data from Excel using Dynamo] / A. A. Shevelev // Novye tekhnologii – neftegazovomu regionu [New technologies for the oil and gas region]. – 2023. – P. 230–233.

3. Titov, V. A. Iskusstvennyj intellekt v arkhitekture i stroitel'stve [Artificial intelligence in architecture and construction] / V. A. Titov // Studencheskaya nauka [Student Science]. – 2021. – P. 342–344.

4. Gulyakin, D. V. Rol' iskusstvennogo intellekta v stroitel'stve [The role of artificial intelligence in construction] / D. V. Gulyakin, S. O. Ivanova. – DOI 10.5281/zenodo.7962210 // Naukosfera [Scienceosphere]. – 2023. – № 5-1. – P. 208–211.

5. Shananin, V. A. Sozdanie tsifrovyykh dvoynikov v stroitel'stve pri pomoshchi iskusstvennogo intellekta [Creating digital twins in construction using artificial intelligence] / V. A. Sha-

nanin, K. Yu. Losev // Innovatsii i investitsii [Innovation and investment]. – 2023. – № 6. – P. 537–360.

6. Generative design for more economical and environmentally sustainable reinforced concrete structures / F. Alsakka, A. Haddad, F. Ezzedine, Gh. Salami, M. Dabaghi, F. Hamzeh. – DOI https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135829 // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 387 (5). – P. 135829.

7. Gan, V. J. L. BIM-based graph data model for automatic generative design of modular buildings / V. J. L. Gan. – DOI https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104062 // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – P. 104062.

8. Ghannad, P. Automated modular housing design using a module configuration algorithm and a coupled generative adversarial network (CoGAN) / P. Ghannad, Y.-C. Lee. – DOI 10.1016/j.autcon.2022.104234 // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 139 (1). – P. 104234.

9. Khoroshikh, I. S. Problemy i perspektivy primeneniya neyrosetey v stroitel'stve [Problems and prospects for the use of neural networks in construction] / I. S. Khoroshikh // Modern research and technology – 2023 : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petrozavodsk, 28 marta 2023 [Modern research and technology – 2023 : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, March 28, 2023]. – Petroza-

vodsk, 2023. – P. 65–71.

10. Erkenova, V. V. Prediktivnaya analitika gosudarstvennoj ehkspertizy proektnoj dokumentatsii i rezul'tatov inzhenernykh izyskaniy [Predictive analytics of state examination of design documentation and engineering survey results] / V. V. Erkenova // Nedropol'zovanie XXI vek [Subsoil use XXI century]. – 2020. – № 1 (83). – P. 80–84.

11. Balukova, V. A. Gosudarstvennoe regulirovanie protsessov tsifrovoj transformatsii ehkonomicheskoy deyatel'nosti v sfere proektirovaniya [State regulation of digital transformation processes of economic activity in the field of design] / V. A. Balukova, A. V. Osipenko. – DOI 10.36807/2411-7269-2023-3-34-98-102 // Ehkonomicheskij vector [Economic vector]. – 2023. – № 3 (34). – P. 98–102.

12. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production / R. Soderberg, K. Wärmefjord, J. S. Carlson, L. Lindkvist. – DOI https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038 // CIRP Annals. – 2017. – Vol. 66 (1). – P. 137–140.

13. Dzyubenko, A. V. Primenenie iskusstvennogo intellekta v sfere stroitel'stva [Application of artificial intelligence in the construction industry] / A. V. Dzyubenko, D. I. Lesunova, O. I. Rybkina // Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo [Education. The science. Production]. – 2021. – P. 639–642.

14. Kryukov, K. M. Vozmozhnosti ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v stroitel'stve [Opportunities for using artificial intelligence in construction] / K. M. Kryukov, A. M. Metlev // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. –

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_117

Концепция создания цифровой информационной системы управления инвестиционными проектами строительства объектов промышленного назначения

The Concept of Creating a Digital Information System for Managing Investment Projects for the Construction of Industrial Facilities

Маилян Лия Дмитриевна

Кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1

Mailyan Liya Dmitrievna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1

Зеленцов Леонид Борисович

Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, lzelencov@yandex.ru

Zelentsov Leonid Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, lzelencov@yandex.ru

Пирко Дмитрий Владимирович

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, dmitwl2000@gmail.com

Pirko Dmitry Vladimirovich

Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, dmitwl2000@gmail.com

Свитенко Дмитрий Витальевич

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, dmsvit@mail.ru

Svitenko Dmitry Vitalievich

Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, dmsvit@mail.ru

Тузуков Кирилл Владимирович
Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, 2435170@mail.ru

Tuzlukov Kirill Vladimirovich
Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, 2435170@mail.ru

Аннотация. Цель. Основным инновационным трендом в организации и управлении строительством в настоящее время является цифровизация, ориентированная на внедрение интегрированных информационных технологий при управлении сложными инвестиционно-строительными проектами при реконструкции или новом строительстве промышленных предприятий.

Методы. В Донском государственном техническом университете (ДГТУ) в рамках стратегического партнерства с ЗАО «ЮТМ» и решения задачи по импортозамещению программного обеспечения, ведется разработка ИСУ «Строительство» (интеллектуальная система управления строительством), ориентированной на крупные строительные корпорации и на использование свободно распространяемых программных инструментов с использованием языка программирования Python и веб-фреймворка Django.

В рассматриваемой версии ИСУ «Строительство» представляет собой синтез ERP (Система планирования ресурсов предприятия) и SCM (Управление цепями поставок) систем, интегрированных с помощью специализированного мессенджера на одной цифровой платформе. В создаваемую информационную систему добавлена функция поддержки стохастических инструментов для прогнозирования параметров инвестиционно-строительных проектов, в том числе и с применением нейронных сетей.

Abstract. Purpose. The main innovative trend in the organization and management of construction at present is digitalization focused on the introduction of integrated information technologies in the management of complex investment and construction projects during the reconstruction or new construction of industrial enterprises.

Methods. In the framework of a strategic partnership with UTM CJSC, Don State Technical University is currently working on the development of software for an intelligent construction management system (IMS «Construction») focused on large construction corporations and on freely distributed software tools with using the Python programming language and the Django web framework.

In the considered version, created, including in accordance with the import substitution program, IMS «Construction» is a synthesis of ERP and SCM systems integrated using a specialized messenger on one digital platform. A function to support stochastic tools for predicting the parameters of investment and construction projects, including the use of neural networks, has been added to the information system being created.

Введение
Основным профилем корпорации ЗАО «ЮТМ» является возведение и реконструкция промышленных предприятий различного профиля.

Уникальность возводимых промышленных объектов требует учета их специфических особенностей, влияющих на организацию и технологию производства работ:

- проектирование логистических моделей и схем материально-технического снабжения для каждого объекта;
- перебазировка строительной техники, временных зданий и сооружений;
- обустройство строительной площадки до начала строительно-монтажных работ (СМР);

Результаты. Рассматриваемая версия ИСУ «Строительство» ориентирована:

- на сложные промышленные и инфраструктурные инвестиционные проекты, при реализации которых участвует большое количество проектных, подрядных организаций, поставщиков и производителей различного рода конструкций и оборудования;
- на создание информационно-коммуникационной среды для обеспечения эффективного обмена информацией между участниками управления инвестиционными проектами и на создание организационно-технологического механизма, направленного на снижение непроизводительных потерь ресурсов за счет применения адаптивных интеллектуальных систем, ориентированных на внедрение методологии «бережливое строительство».

Выводы. Создаваемая с помощью ИСУ «Строительство» информационно-коммуникационная среда позволяет эффективно взаимодействовать многочисленным участникам инвестиционно-строительных проектов (ИСП), в том числе за счет применения технологии по аренде web-приложений (ASP, Applications Service Providing).

Ключевые слова: инвестиционно-строительные проекты, специализированный мессенджер, интеграция процессов проектирования и строительства, бережливое строительство, интеллектуальная система управления строительством.

Results. The considered version of IMS «Construction» is focused on:

- for complex industrial and infrastructure investment projects, in the implementation of which a large number of design, contracting organizations, suppliers and manufacturers of various types of structures and equipment are involved;
- to create an information and communication environment to ensure the effective exchange of information between participants in the management of investment projects and an organizational and technological mechanism aimed at reducing unproductive losses of resources through the use of adaptive intelligent systems focused on the implementation of the «lean construction» methodology.

Conclusions. When developing IMS «Construction» in the interests of UTM CJSC, it is proposed for ISP participants to use the project for renting web applications (ASP, Applications Service Providing).

Keywords: investment and construction projects, specialized messenger, integration of design and construction processes, lean construction, intelligent construction management system.

- выполнение работ по прокладке временных инженерных коммуникаций, дорог, линий электропередач и т. д.;
- многообразие технологических процессов при выполнении СМР затрудняют расчет профессионального, квалификационного и численного состава рабочих;
- строительство промышленных объектов с длительным производственным циклом требует высокой квалификации инженерно-технических и управленческих работников;
- зависимость строительства объекта от рельефных, гидрогеологических и климатических условий территории, что существенно ограничивает возможность применения типовых проектов;



Рис. 1. Организационная структура УК «ЮТМ»
Pic. 1. Organizational structure of the Management Company «UTM»

- большие капитальные затраты, высокая трудоемкость и материалоемкость работ;
- необходимость создания системы по сбору и передаче информации с объекта строительства с использованием специализированных информационных технологий;
- сезонный характер производства работ приводит к росту затрат в зимнее время;
- выполнение подготовительных работ до начала производства работ: прокладка инженерных коммуникаций и дорог, создание временного городка – влияют на сроки строительства и отвлекают из хозяйственного оборота значительные финансовые средства, приводя к росту незавершенного строительства [1].

Исходя из вышеизложенного, общесистемными проблемами, которые необходимо решить в системе управления ЗАО ЮТМ, являются:

- разработка единого классификатора ресурсов с централизованной системой его поддержки;
- упорядочение информационных потоков между структурными подразделениями и функциональными областями (подсистемами) системы управления ЗАО ЮТМ;
- применение современных цифровых технологий, основанных на принципах одноразового ввода первичной информации и создания единой информационной базы, обеспечивающей ежедневную фиксацию (сбор) и накопление первичной информации о протекании производственных процессов на строительной площадке;
- создание автономной системы управленческого учета, обеспечивающей синхронно с производственным процессом группировку первичных документов, подтверждающих затраты на изготовление и монтаж того или иного конструктивного элемента объекта строительства;
- обеспечение практически в режиме online устойчивой связи строительной организации с объектами строительства для получения отчетной информации

об объемах выполненных работ, поступающих материальных ресурсах и т. п.;

- разработку системы бюджетирования с охватом всех стадий управления инвестиционно-строительными проектами [2].

Центральным звеном в сфере управления строительством в корпорации ЗАО «ЮТМ» является исполнительная дирекция – управляющая компания «ЮТМ» (далее – УК «ЮТМ»), выполняющая функции генподрядчика и технического заказчика.

Генподрядчик УК «ЮТМ» часть работ может (при необходимости) выполнять собственными силами, но основные объемы работ передаются субподрядным организациям. В структуру УК «ЮТМ» в виде самостоятельного (юридически) структурного подразделения входит завод по производству металлоконструкций, который расположен в г. Ростове-на-Дону. УК «ЮТМ» включает следующие структурные подразделения: производственно-технический отдел (ПТО), отдел снабжения (ОС), сметно-договорной отдел СДО, проектно-конструкторское бюро (ПКБ) и др. (рисунок 1).

Основные задачи, которые возлагаются на УК «ЮТМ» как генподрядчика в процессе управления инвестиционно-строительным проектом (ИСП):

- разработка и согласование с заказчиком календарного плана (КП) возведения зданий и сооружений;

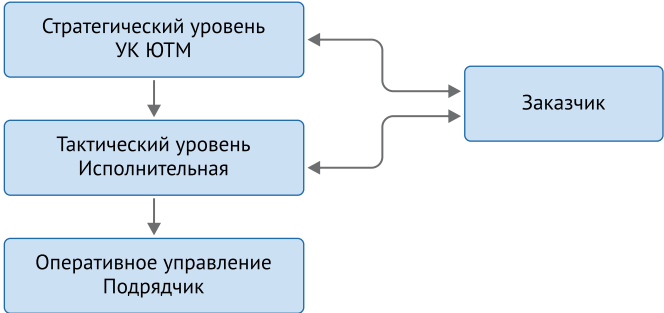


Рис. 2. Иерархическая схема управления строительством комплекса зданий и сооружений крупного промышленного завода

Fig. 2. Hierarchical scheme for managing the construction of a complex of buildings and structures of a large industrial plant

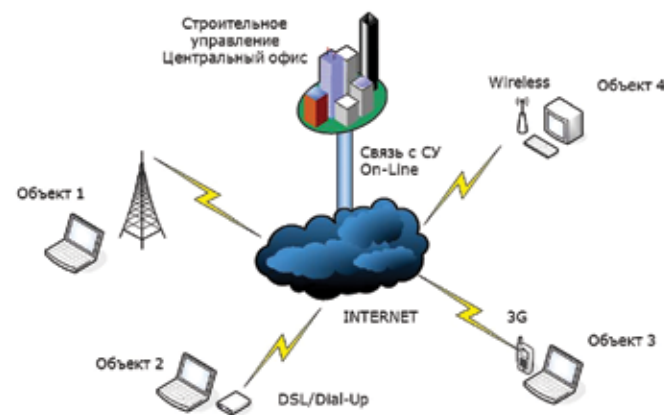


Рис. 3. Принципиальная схема обмена информацией в процессе управления строительством крупного промышленного комплекса

Fig. 3. Schematic diagram of the exchange of information in the process of managing the construction of a large industrial complex

- мониторинг временных параметров КП в процессе реализации проекта;
- разработка логистической модели обеспечения объектов строительства материальными ресурсами;
- управление материально-техническим обеспечением объектов строительства на основе логистической модели;
- определение состава субподрядных и подрядных организаций для выполнения СМР по объектам строительства;
- управление финансовыми ресурсами в рамках заключенного с заказчиком контракта;
- контроль деятельности подрядных организаций на строительной площадке: качество выполняемых работ, сроки выполнения работ, соблюдение техники безопасности и т. п.

При больших масштабах строительства и значительной удаленности объектов строительства от центрального офиса, а главное – с целью более эффективного управления организационно-технологическими процессами на строительной площадке – могут создаваться представительства УК «ЮТМ», которым передается часть функций генподрядчика [3].

В этом случае систему управления строительством крупного завода можно представить в виде иерархически организованной структуры (рисунок 2):

- 1) стратегический уровень – исполнительная дирекция (центральный аппарат управления УК «ЮТМ»);
- 2) тактический уровень – управление производством работ непосредственно на строительной площадке – обособленные структурные подразделения УК «ЮТМ» (представительства);
- 3) оперативное управление подрядной деятельностью (аппараты управления субподрядных строительных организаций).

Первая версия ПО ИСУ «Строительство» была разработана в свое время по заказу ООО «Домос» и представляет собой информационную технологию класса ERP, программное обеспечение которой разработано на Visual FoxPro.

Необходимость разработки новой версии ИСУ «Строительство» обусловлена требованиями по импортозамещению существующего ПО, а также тем, что используемые в существующей версии ИСУ «Строительство» программно-технические решения на текущий момент времени морально устарели, так как не могут обеспечить постоянное взаимодействие участников управления ИСП на основе WEB и имеют слабую защиту от взлома баз данных [4].

Поэтому в ДГТУ в рамках стратегического партнерства с ЗАО «ЮТМ» в настоящее время ведется работа по разработке нового программного обеспечения ИСУ «Строительство», ориентированного на крупные строительные корпорации и на применение свободно распространяемых инструментов с использованием языка программирования Python и веб-фреймворка Django. Python – высокоуровневый язык программирования, имеющий мощные инструменты и библиотеки, позволяющие проводить качественный анализ данных и оценивать эффективность принимаемых организационно-технологических и управленческих решений при реализации ИСП. В создаваемую информационную систему добавлена функция поддержки стохастических инструментов для прогнозирования параметров инвестиционно-строительных проектов, в том числе и с применением нейронных сетей.

В новой версии ИСУ «Строительство» будет представлять собой синтез ERP и SCM систем, интегрированных с помощью специализированного мессенджера на одной цифровой платформе. Она сохранит весь функционал и состав задач, реализованный в предыдущей версии ИСУ

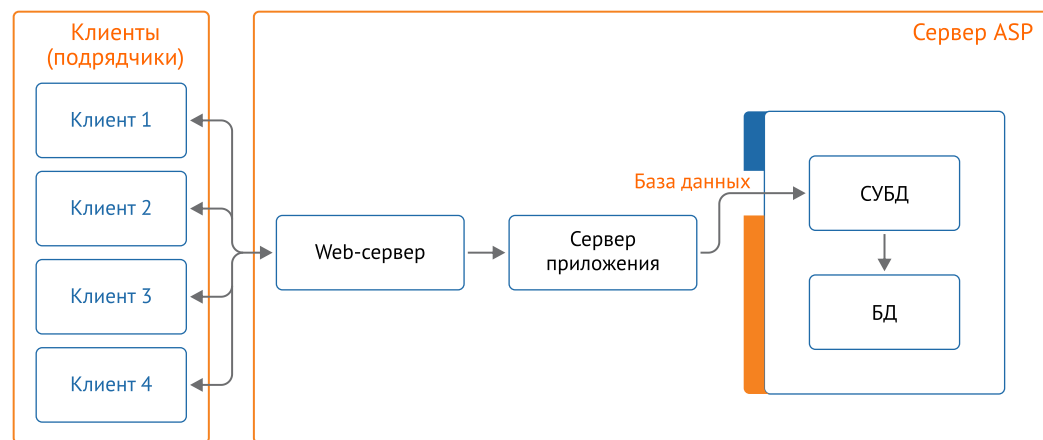


Рис. 4. Принципиальная схема работы с использованием аренды приложений – ASP
Fig. 4. Schematic diagram of operation using application rental – ASP

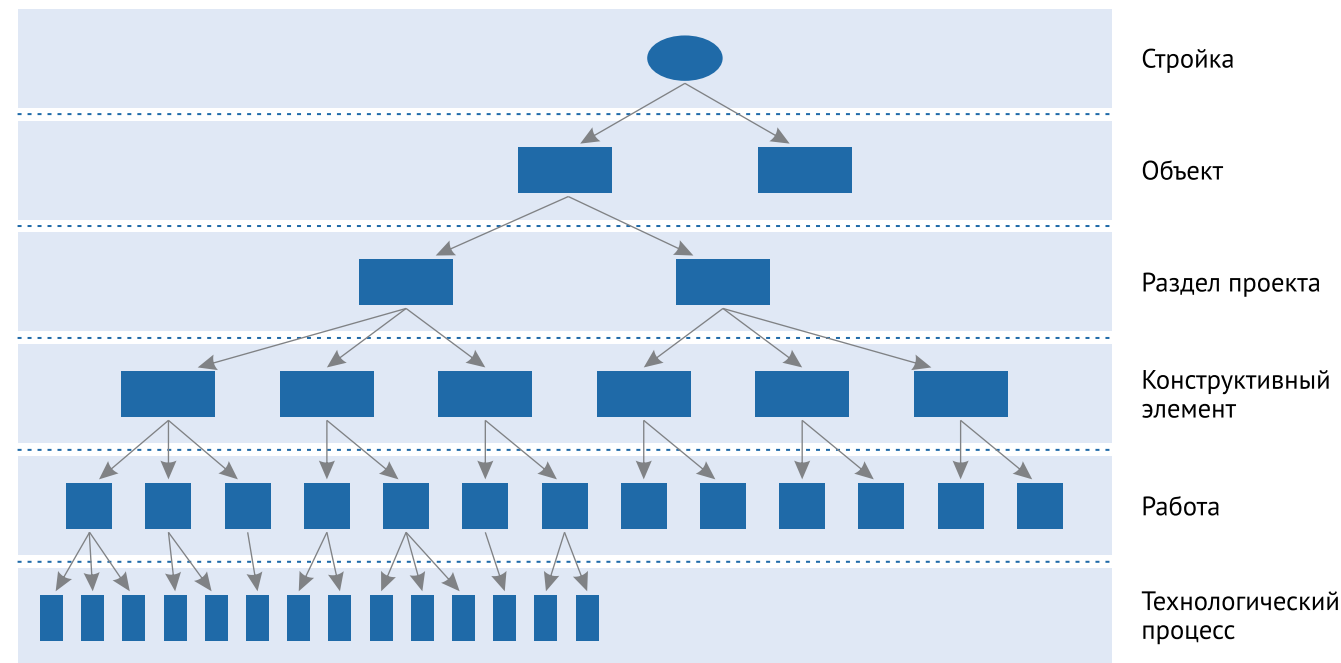


Рис. 5. Принципиальная схема организации базы данных объемов работ и материальных ресурсов
Fig. 5. Schematic diagram of the organization of the database of volumes of work and material resources

«Строительство», которая является прототипом разрабатываемой системы [5].

Новая версия ИСУ «Строительство» ориентирована:

- на сложные промышленные и инфраструктурные инвестиционные проекты, при реализации которых участвует большое количество проектных, подрядных организаций, поставщиков и производителей различного рода конструкций и оборудования;
- на создание информационно-коммуникационной среды для обеспечения эффективного обмена информацией между участниками управления инвестиционными проектами и на создание организационно-технологического механизма, направленного на снижение непроизводительных потерь ресурсов за счет применения адаптивных интеллектуальных систем, ориентированных на внедрение методологии «бережливое строительство»;
- на использование методологии «бережливое строительство» как фундаментальной основы снижения потерь ресурсов в процессе СМР.

Обмен информацией между участниками управления строительством комплекса будет осуществляться на основе Интернета и web-фреймворка Django (рисунок 3). Основное оборудование и web-сервер будут находиться в центральном офисе ЗАО «ЮТМ», а связь между участниками управления ИСП будет осуществляться в режиме online.

При разработке ИСУ «Строительство» в интересах ЗАО «ЮТМ» нами предлагается для участников ИСП использовать проект по аренде web-приложений (ASP, Applications Service Providing) (рисунок 4).

В этом случае сервер приложений и сервер базы данных ИСУ «Строительство» будут установлены на оборудовании провайдера (ASP) с обеспечением доступа к ним сторонних клиентов – подрядных организаций, проектировщиков, заказчиков, поставщиков материальных ресурсов и т. д. При таком подходе пользователи ИСУ «Строительство» инсталлируют на свои компьютеры лишь клиентские приложения системы и работают с удаленным сервером через Интернет, и им не нужно приоб-

ретать и устанавливать программное обеспечение на свой компьютер, обновлять его, делать резервное копирование и т. д. – все это за них будет делать провайдер.

Преимущества такого подхода очевидны: возможность доступа к приложениям высокого класса, надежность функционирования приложений, отсутствие необходимости приобретения лицензий на программное обеспечение, дорогостоящих серверов и содержания ИТ-отделов по поддержке системы [6].

В основу создания информационной базы ИСУ «Строительство» положены два основных принципа:

- принцип одноразового ввода в систему первичной информации в местах ее возникновения с последующим ее агрегированием для целей планирования и учета;
- принцип единства в классификации и кодировании ресурсов, используемых в системе.

База данных объемов работ и материальных ресурсов (рисунок 5) построена по иерархическому принципу, учитывающему членение объекта как по организационно-технологическому признаку, используемому при производстве работ, так и по пространственному (объемно-планировочному), применяемому на стадии проектирования. Совмещение этих двух схем членения объекта необходимо для производителей работ, которые ведут работы на объекте на основании рабочих чертежей, привязанных к отдельным конструктивным элементам зданий, но и в то же время должны соблюдать принятую технологию и организацию производства работ.

В базе данных выделяются следующие уровни подчиненности (рисунок 5):

- стройка – комплекс технологически взаимосвязанных зданий и сооружений;
- объект строительства – в составе стройки (участка);
- раздел проекта – совокупность конструктивных элементов, образующих законченную часть сооружения, используемая в системе управленческого учета и для расчета с заказчиками;



Рис. 6. Структура базы данных ИСУ «Строительство» на логическом уровне
Fig. 6. The structure of the database of the IMS «Construction» at the logical level

- конструктивный элемент (КЭ) – часть здания или сооружения, выделенная на стадии проектирования с целью более детального ее описания;
- работа (Р) – один или некоторое множество технологически взаимосвязанных процессов, необходимых для изготовления КЭ.

К КЭ осуществляется привязка чертежей, к которым в свою очередь присоединяются спецификации, содержащие исходную информацию об объемах работ и потребности в материалах, полуфабрикатах и изделиях, используемых при изготовлении КЭ или при монтаже технологического оборудования (рисунок 6) [7].

Задача управления строительной организацией на стратегическом уровне при возведении промышленного комплекса формулируется следующим образом:

$$\sum_i (C_z - S_z^{\text{н}}) = \Delta \Pi_z^{\text{п}} \rightarrow \max \quad z \in Z, \quad (1)$$

где z – объект строительства; Z – количество объектов в составе промышленного комплекса; C_z – сметная стоимость строительства объекта z , $S_z^{\text{п}}$ – планируемая себестоимость строительства объекта z на начало строительства, $\Delta \Pi_z^{\text{п}}$ – планируемая прибыль строительной организации по z объекту.

$$S_z^{\text{н}} = \sum_i S_i, \quad (2)$$

где I – количество КЭ, на которое разбито строительство объекта z ; S_i – себестоимость i -ого КЭ объекта z .

При ограничениях:

- на сроки строительства:

$$T_z^{\text{р}} \leq T_z^{\text{д}} \quad z \in Z, \quad (3)$$

где $T_z^{\text{р}}$, $T_z^{\text{д}}$ – продолжительность строительства объекта расчетная и договорная (контрактная);

- на качество выполнения строительного-монтажных работ:

$$k_{i,z}^{\phi} \leq H_{i,z}, \quad (4)$$

где $k_{i,z}^{\phi}$ – фактическое качество i -ого КЭ; $H_{i,z}$ – нормативное значение качества i -ого КЭ.

Обсуждение

Разработка ИСУ «Строительство» ориентирована на создание совокупности программных модулей и соответствующих им так называемых автоматизированных рабочих мест (АРМ). Структура АРМ настраивается на организационную структуру и используемый функционал управления конкретной строительной организации [8].

Промышленное строительство имеет сложную логистическую модель, и от ее реализации во многом зависит успех внедрения информационной технологии управления ИСП. Проблема состоит в том, что при управлении ИСП необходимо синхронизировать процессы создания оборудования на машиностроительных заводах, поставки материалов, металлических и железобетонных конструкций и процессы производства строительного-монтажных работ на строительной площадке [9].

Заключение

Переход на новую цифровую платформу системы управления ИСП возведения промышленных объектов позволит:

- 1) обеспечить прозрачность протекания организационно-технологических и управленческих процессов на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта;
- 2) осуществить интеграцию процессов проектирования и строительства на основе единой информационной системы, обеспечивающей преемственность организационно-технологических решений с использованием методологии BIM [10];
- 3) повысить качество строительной продукции за счет применения ИСУ «Строительство» как фундаментальной основы снижения потерь в использовании ресурсов и числа строительных дефектов в процессе строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маляев, Н. Г. Аюбян, М. С. Шогенов // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 41–44.
2. Интеллектуальные системы управления в строительстве : монография / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маляев, М. С. Шогенов, И. Г. Трипута ; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2017. – 88 с.
3. Остроух, А. В. Интеллектуальные системы : монография / А. В. Остроух. – Красноярск : Научно-инновационный центр,

2020. – 316 с.

4. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2018), Rome, Italy, 2018. – Rome, 2018. – P. 141–146.
5. The Level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia / I. Othman, Y. Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y. H. M. Amran, M. A. M. Al-Bared. – DOI 10.1016/j.asej.2020.04.007 // Ain Shams Engineering Journal. – Vol. 12, Iss. 1. – 2021. – P. 455–463.
6. Интеграция смет и BIM-проектов / Л. Б. Зеленцов, Я. А. Кокарева, Н. Г. Аюбян, Д. В. Пирко. – DOI 10.54950/26585340_2020_2_29 // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 29–34.
7. Зеленцов, Л. Б. Прогнозирование временных и стоимостных

REFERENCES

1. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh protsessov v stroitel'stve s ispol'zovaniem sovremennykh tsifrovyykh tekhnologiy [Modeling of organizational and technological processes in construction using modern digital technologies] / L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, N. G. Akopyan, M. S. Shogenov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 1. – P. 41–44.
2. Intellektual'nye sistemy upravleniya v stroitel'stve : monografiya [Intelligent control systems in construction : monograph] / L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, M. S. Shogenov, I. G. Triputa ; Don State Technical University. – Rostov-on-Don : DSTU, 2017. – 88 p.
3. Ostroukh, A. V. Intellektual'nye sistemy : monografiya [Intelligent systems : monograph] / A. V. Ostroukh. – Krasnoyarsk : Scientific and Innovation Center, 2020. – 316 p.
4. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2018), Rome, Italy, 2018. – Rome, 2018. – P. 141–146.
5. The Level of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Malaysia / I. Othman, Y. Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y. H. M. Amran, M. A. M. Al-Bared. – DOI 10.1016/j.asej.2020.04.007 // Ain Shams Engineering Journal. – Vol. 12, Iss. 1. – 2021. – P. 455–463.

параметров при управлении инвестиционно-строительными проектами / Л. Б. Зеленцов, М. С. Шогенов, Д. В. Пирко. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_41 // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 41–45.

8. Amin, K. F. Building Information Modelling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda. – DOI 10.21315/jcdc2019.24.2.2 // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 23–61.
9. Ивакин, Е. К. Логистика капитального строительства / Е. К. Ивакин. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 1997. – 210 с.
10. Софриков, А. В. Методика подготовки организационной диагностики систем управления в строительных организациях / А. В. Софриков // Экономика строительства. – 2003. – № 3. – С. 28.

6. Integratsiya smet i BIM-proektov [Integration of estimates and BIM-projects] / L. B. Zelentsov, Ya. A. Kokareva, N. G. Akopyan, D. V. Pirko. – DOI 10.54950/26585340_2020_2_29 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – № 2. – P. 29–34.
7. Zelentsov, L. B. Prognozirovaniye vremennykh i stoimostnykh parametrov pri upravlenii investitsionno-stroitel'nyimi proektami [Forecasting of time and cost parameters in the management of investment and construction projects] / L. B. Zelentsov, M. S. Shogenov, D. V. Pirko. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_41 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – No. 3. – P. 41–45.
8. Amin, K. F. Building Information Modeling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda. – DOI 10.21315/jcdc2019.24.2.2 // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 23–61.
9. Ivakin, E. K. Logistika kapital'nogo stroitel'stva [Logistics of capital construction] / E. K. Ivakin. – Rostov-on-Don : RSSU, 1997. – 210 p.
10. Sofrikov, A. V. Metodika podgotovki organizatsionnoy diagnostiki sistem upravleniya v stroitel'nykh organizatsiyakh [Methods of preparation of organizational diagnostics of management systems in construction organizations] / A. V. Sofrikov // Ekonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2003. – № 3. – P. 28.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_123

Выбор средств механизации производства бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата

Selection of Means for Mechanization of Concrete Works Production in Hot, Dry Climate

Фахратов Мухаммет Аллазович

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, Fahrator@mail.ru

Fakhratov Mukhammet Allazovich

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, Fahrator@mail.ru

Аль-Джубури Хуссейн А. М. С.

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; Министерство высшего образования и научных исследований Ирака, Багдад, 10065, Hussainjuboori87@gmail.com

Al-Juboori Hussein A. M. S.

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; Ministry of Higher Education and Scientific Research of Iraq, Baghdad, 10065, Hussainjuboori87@gmail.com

Полосина Ксения Владимировна

Магистр кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; главный специалист группы технического контроля, Строительный холдинг АО «Концерн ТИТАН-2», Россия, 123100, Москва, Краснопресненская набережная, 6, polosina_95@mail.ru

Polosina Ksenia Vladimirovna

Master 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; Chief specialist of the technical control group, Construction Holding JSC «Concern TITAN-2», Russia, 123100, Moscow, Krasnopresnenskaya naberezhnaya, 6, polosina_95@mail.ru

Аннотация. В данной статье исследуются проблемы выбора средств механизации при выполнении бетонных работ и возведении монолитных конструкций в условиях сухого, жаркого климата. Анализ исследования и выбора факторов ориентирован с учетом используемых технологий и организации строительства, которые контролируют и минимизируют влияние внешних условий на изменение качества бетонной смеси. Природные условия и температурные особенности сухого, жаркого климата усложняют технологический процесс при выполнении бетонных работ.

Отсутствие комфортного климата значительно влияет на выбор техники, а также на дальнейший выбор метода выполнения работ. Внешние факторы оказывают существенное воздействие на состав, консистенцию бетонной смеси при ее транспортировке и доставке на строительную площадку. Учет и стратегически правильный выбор средств механизации позволяют заблаговременно избежать негативных последствий,

Abstract. This article examines the problems of choosing the means of mechanization when performing concrete works and the construction of monolithic structures in dry, hot climate. The analysis of the research and selection of factors is oriented taking into account the technologies used and the organization of construction, which control and minimize the influence of external conditions on the change in the quality of the concrete mix. Natural conditions and temperature features of dry, hot climate complicate the technological process when performing concrete works.

The lack of a comfortable climate significantly affects the choice of equipment, as well as the further choice of the method of work. The impact of external factors significantly affects the composition and consistency of the concrete mixture during its transportation and delivery to the construction site. When taking into account and strategically choosing the right means of

Введение

При проектировании и реализации инвестиционно-го строительного объекта важным фактором является завершение работ в плановые сроки с учетом согласованного бюджета. Характеристики материалов, методы выполнения работ и организация процесса на строительной площадке должны соответствовать международным стандартам и требованиям нормативных документов. Немаловажным является учет материально-технических ресурсов, в том числе автомобильной техники (автобетоносмесителей, вибраторов, автобадьевозов, бетононасосов).

Анализ проблемы рационального выбора средств механизации при выполнении бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата является актуальным и на сегодняшний день. Планирование потребности в технике на объекте, ее распределение с учетом календарного плана и графика производства работ являются важной задачей для всех участников строительного процесса. Количество и качество выбранных машин также определяют расходы

предотвратить появление проблем и транспортировать смеси в условиях сухого, жаркого климата.

Цель данного исследования – изучить и предложить основные параметры подбора средств механизации для бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата.

Для достижения поставленной цели исследования были идентифицированы основные параметры для подбора средств механизации бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата. Для решения поставленных в данном исследовании задач необходимо провести аналитические исследования и применить методы научного исследования, такие как теоретический анализ научно-технической литературы, синтез, дедукция, индукция.

Ключевые слова: организационно-технологические решения, производство бетонных работ, сухой и жаркий климат, факторы выбора средств механизации, прочность.

mechanization, it allows you to prematurely avoid negative consequences, prevent problems and transport mixtures in dry, hot climate.

The purpose of this study is to study and propose the main parameters of the selection of mechanization tools for concrete work in dry, hot climate.

To achieve the goal of the study, the main parameters for the selection of means of mechanization of concrete work in dry and hot climate were identified. To solve the tasks set in this study, it is necessary to conduct analytical research and apply scientific research methods, such as theoretical analysis of scientific and technical literature, synthesis, deduction, induction.

Keywords: organizational and technological solutions, production of concrete works, dry and hot climate, factors of mechanization selection, strength.

общего сводного сметного расчета и влияют на прибыль строительной компании.

Материалы и методы

Методы научного исследования: теоретический анализ научно-технической литературы, синтез, дедукция, индукция.

Основные факторы выбора средств механизации производства бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата

После определения видов и объемов выполняемых работ появляется необходимость произвести варианты подбора состава машин и механизмов для выполнения технологической последовательности проекта. Вышеуказанные показатели рассчитываются на стадии проектирования, что является максимально важной операцией при разработке проектной документации [1; 2].

Основные параметры для подбора средств механизации бетонных работ в условиях сухого и жаркого климата указаны на рисунке 1.

1. Стоимость комплекта машин и механизмов.

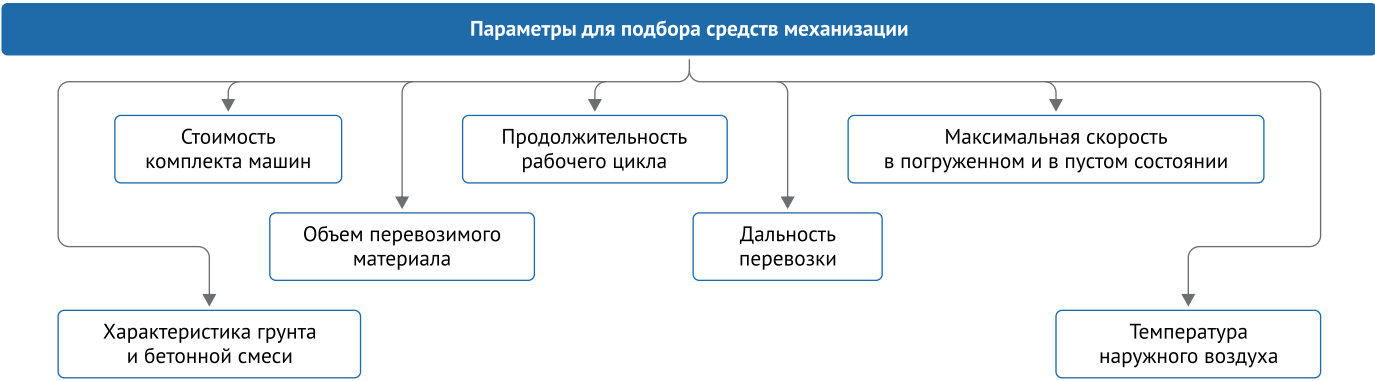


Рис. 1. Основные параметры для подбора средств механизации бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата
Fig. 1. The main parameters for the selection of means of mechanization of concrete works in dry, hot climate

Одной из главной задач при реализации строительного объекта является завершение инвестиционного проекта с максимальной прибылью и экономией. Для подачи бетонной смеси с целью возведения монолитных конструкций при выполнении бетонных работ используется различная техника: автобетоносмесители, автобадьевозы, бетононасосы [3]. При правильном расчете средств механизации проектировщик закладывает в раздел организации строительства проектной документации необходимое и достаточное количество машин. Это позволяет подобрать и заложить в смету необходимое технологическое оборудование, а также избежать дополнительных затрат.

2. Продолжительность рабочего цикла.

В климате, в котором преобладают высокие температуры воздуха, необходимо сделать акцент на обслуживании и амортизации техники. Обычно продолжительность рабочего цикла машин значительно меньше продолжительности технологического цикла. Время рабочего цикла – основная единица расчета производительности спецтехники. Поэтому при проектировании объекта капитального строительства в условиях сухого и жаркого климата необходимо уделять данному параметру особое внимание. Продолжительность рабочего цикла – интервал времени, через который производится подача смазки к поверхностям трения машин и механизмов.

На сегодняшний день при выполнении бетонных работ практически каждый раз задействованы средства механизации. Ущерб, наносимый строительному проекту при отказе средств механизации, оказывает существенное неблагоприятное воздействие на результат. Выполнение инструкции по эксплуатации машин позволяет избежать поломки техники и срыва сроков выполнения бетонных работ [4; 5].

3. Объем перевозимого материала.

Максимальный объем перевозимой смеси зависит от выбранной техники. Базовый ряд миксеров в текущий период расширяется за счет интенсивного развития производства большого количества модификаций. Основные модификации касаются применения различных автоном-

ных двигателей и гидравлических трансмиссий, водяных баков и смесительных барабанов. Современная конструкция модели обеспечивает однородное, равномерное перемешивание бетонной смеси во всех сегментах, сокращает время на загрузку и выгрузку [6]. Новое расположение лопастей автобетонного смесителя позволяет снизить массу смесительного барабана, увеличить объем загрузки смесителя. В стандартную комплектацию входят редукторы, маслоохладители, фара освещения рабочей зоны, прижимная лента барабана, автономный двигатель и дополнительный желоб к разгрузочному лотку. Качество изготавливаемой машинной продукции должно обеспечиваться согласно утвержденным международным стандартам и подтверждено сертификатами качества и декларациями соответствия [4; 7]. Грамотно составленный перечень требуемой специальной техники позволяет аналогичным образом избежать дополнительных затрат времени из-за простоя.

4. Характеристика грунта и бетонных смесей.

Перед тем как приступить к проектированию и дальнейшему выполнению строительных работ по устройству котлована, фундаментов и основных конструктивных элементов, необходимо учитывать характеристики грунта. При появлении в грунте касательных напряжений возникают сдвиги, которые могут привести к разрушению грунтового основания. Прочность грунта позволяет определить предельные значения неразрушающих грунт нагрузок, что дает возможность предотвратить разрушение монолитных конструкций.

При приготовлении, транспортировании и укладке бетонная смесь находится в подвижном состоянии. Частицы располагаются на расстоянии друг от друга так, что образуется свободное пространство, заполненное воздухом. Содержание воздушных пустот в смесях в условиях сухого, жаркого климата оказывает существенное влияние на их физико-механические свойства.

В зависимости от фазового состояния составляющих бетонных смесей энергетические затраты на процесс уплотнения могут отличаться. Разница давлений в сло-

Номер стадии	Характеристики стадии	Примечание
Первая стадия	Перекладка составляющих	Состояние системы с неустойчивой структурой, влияние сил трения
Вторая стадия	Сближение составляющих	Появление деструктивных процессов
Третья стадия	Компрессионное уплотнение путем обжатия статическим давлением	Незначительное приращение плотности смеси

Табл 1. Общий цикл уплотнения бетонной смеси
Tab. 1. The general compaction cycle of the concrete mix

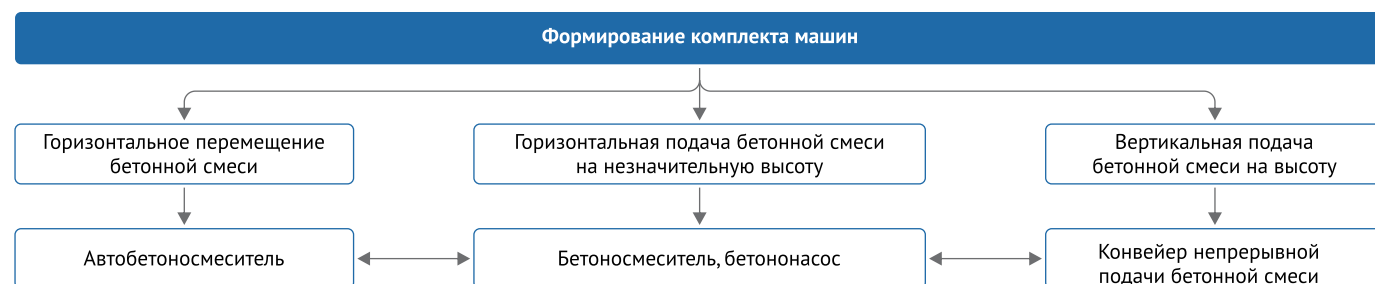


Рис. 2. Формирование комплекта машин при выполнении бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата
Fig. 2. Formation of a set of machines when performing concrete works in dry, hot climate

ях смеси способствует миграции воздушных включений. При динамическом воздействии силы внутреннего и внешнего трения существенно уменьшаются, и смесь переходит в состояние текучести.

Рассмотрим основные стадии цикла уплотнения бетонной смеси с основными дополнительными факторами, оказывающими влияние на свойства бетонной смеси (таблица 1).

Таким образом, технологический процесс «вибрирование» представляет собой сближение и отталкивание частиц с уменьшением внутреннего трения за счет перемещения тяжелых частиц вниз и всплывания легких вверх [8; 9]. Под действием нагрузки система легко переходит на следующую стадию путем перестройки расположения частиц внутри бетонной смеси. Современные методы уплотнения позволяют придать смеси волновой характер и смоделировать среду с высоким коэффициентом затухания. Благодаря поглощению энергий колебаний смесь приобретает высокую плотность и прочность.

5. Температура наружного воздуха.

В сухом и жарком климате низкая влажность и высокие температуры приводят к быстрому испарению с поверхности бетона. Испарение воды провоцирует усадку бетонной смеси, что впоследствии приводит к появлению трещин и снижению прочности и целостности монолитной конструкции. Данные факторы ускоряют гидратацию цементного теста и приводят к быстрому твердению и снижению его пластичности.

Также известно, что высокая температура и интенсивность солнечных лучей уменьшают тормозной путь машин, что приводит к увеличению аварийности на дороге. Косвенное влияние солнечного ослепления понижает уровень комфорта и повышает увеличение времени при транспортировке строительных материалов и бетонной смеси.

Такие методы, как организация затенения и учет температуры окружающей среды инновационными приборами, помогают контролировать негативное воздействие температуры на средства механизации.

6. Максимальная скорость машин в погруженном и в пустом состояниях.

После согласования и утверждения выбранной техники на этапе реализации строительного объекта перед началом эксплуатации техники необходимо производить приемно-сдаточные испытания. Испытания проводят на холостом ходу и под нагрузкой, также проводят визуальный контроль. Проверяют такие параметры, как скорость выгрузки, массу технологического оборудования, массу снаряженного автобетоносмесителя.

Визуальный контроль машины и ее составных частей проводят без снятия и разбора агрегатов. При этом прове-

ряют параметры: комплектность машины, комплектность сопроводительной документации; отсутствие видимых повреждений агрегатов, деталей, сварных швов и крепежных соединений; состояние уплотнений, отсутствие течи масла и других жидкостей; заправку машины топливом, рабочей и охлаждающей жидкостями, смазочными материалами в необходимых количествах; качество сборки и монтажа узлов и агрегатов, наличие маркировки, пульта управления, люков для осмотра внутренней поверхности барабана.

При проведении испытаний на холостом ходу проверяют работу привода смесительного барабана, системы подачи воды и механизма управления разгрузочным лотком. Исследуют и обеспечение возможности определения номерного знака в ночное время в ясную погоду на расстоянии не менее 20 м.

В процессе испытаний проводят обкатку автобетоносмесителя под нагрузкой. В смесительный барабан загружают дозированные компоненты бетонной смеси или аналог бетонной смеси подвижностью 10–12 см осадки конуса. Затем осуществляют пробег автобетоносмесителя на расстояние не менее 30 км с побуждением в пути следования при частоте вращения смесительного барабана 4 мин⁻¹, причем 12 км из них – по грунтовым дорогам, остальные – по дорогам с твердым покрытием. Скорость движения – в зависимости от условий дороги, но не более 60 км/ч [10; 11]. Оперативные затраты времени на выполнение ежедневного технического обслуживания включают в себя затраты, обусловленные конструкцией и техническим состоянием автобетоносмесителя, и не включают затраты, обусловленные организацией, материально-техническим обеспечением, квалификацией персонала, условиями окружающей среды.

7. Дальность перевозки.

Текущий параметр показывает, на какое расстояние необходимо перевезти строительный материал. В зависимости от дальности перевозки производится выбор вариантов машины по типу и мощности. При транспортировке бетонных смесей машины должны соответствовать определенным требованиям. Смесь должна быть защищена от попадания в нее атмосферных осадков, от высыхания солнечными лучами. Также недопустимо, чтобы смесь расслаивалась на отдельные компоненты и теряла свои характеристики. Продолжительность доставки смесей не должна превышать 1,5 ч.

В условиях сухого, жаркого климата применяются особые технологии перевозки бетонной смеси, например, необходимость использования пластиковых пленок или специальных химических добавок. Все это обеспечивает доставку бетона на строительную площадку в назначенное время, согласно технологической карте производства

работ, и помогает исключить его преждевременное твердение [12; 13].

Выполнение вышеперечисленных требований предопределяет выбор соответствующих машин для транспортирования смесей в условиях сухого и жаркого климата.

Косвенное негативное влияние повышенного солнечного излучения на водителя в условиях сухого, жаркого климата может привести к тепловому удару и увеличить время транспортировки. Кабина машины должна отвечать соответствующим нормам для работы в условиях жаркого климата и должна быть оборудована кондиционером, а также солнцезащитными козырьками.

На рисунке 2 показано формирование выбора средств механизации с учетом технологической операции.

Подбор материальных и технических ресурсов осуществляется, в первую очередь, согласно предъявляемым к возводимым монолитным конструкциям требованиям, которыми являются прочность, долговечность, коррозионная стойкость, сейсмостойкость, огнестойкость [14]. Также необходимо учитывать экономическую и техническую рентабельность используемых в рамках процесса строительства материалов, а также их гармоничность и эстетичность.

Результаты

В результате данного исследования изучены и предложены основные параметры подбора средств механизации для производства бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата.

В процессе работы выполнено следующее:

1. Идентифицированы основные параметры для подбора средств механизации бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата.
2. Проведены аналитические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доценко, А. И. Строительные машины : учебник для строительных вузов / А. И. Доценко, В. Г. Дронов. – Москва : ИНФРА-М, 2012. – 533 с.
2. Ефимов, В. В. Методы теории принятия решений, как инструмент выбора технологии производства работ / В. В. Ефимов, Н. Д. Чердниченко // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 38–40.
3. Соболев, В. И. Экономико-математическое моделирование организации строительных работ / В. И. Соболев, В. В. Соболев // Научная мысль Кавказа: сборник трудов. – Ростов-на-Дону : Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета, 2002. – С. 85–90.
4. Ибрагимов, Р. И. Мероприятия по обеспечению безопасности грузоподъемных механизмов в строительстве / Р. И. Ибрагимов, М. А. Фахратов // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 78–81.
5. Панченко, Н. М. Выбор рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 87, Ч. 3. – С. 70–74.
6. Ефимов, В. В. Выявление значимости параметров необходимых для выбора оптимального комплекта машин для производства земляных работ в условиях городской застройки / В. В. Ефимов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7 (79). – С. 320–328.
7. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. – 704 с.

REFERENCES

1. Docenko, A. I. Stroitelnye mashiny: uchebnik dlya stroitelnykh vuzov [Construction machines: textbook for construction uni-

3. Использованы методы научного исследования, такие как теоретический анализ научно-технической литературы, синтез, дедукция, индукция.

4. Выявлены параметры для подбора средств механизации бетонных работ в условиях сухого, жаркого климата:

- стоимость комплекта машин и механизмов;
- продолжительность рабочего цикла;
- объем перевозимого материала;
- характеристика грунта и бетонных смесей;
- температура наружного воздуха;
- максимальная скорость машин в погруженном и в пустом состоянии;
- дальность перевозки.

В таблице 1 рассмотрены основные стадии цикла уплотнения бетонной смеси с основными дополнительными факторами, оказывающими влияние на свойства бетонной смеси.

Заключение

Создание оптимального выбора средств механизации в условиях сухого, жаркого климата является процессом достаточно длительным и трудоемким. Применение и использование той или иной техники влечет за собой изменение технологии или замену парка машин, что увеличивает затраты на строительство конкретного объекта. Далеко не всегда большое количество техники на строительной площадке приводит к сокращению срока строительства и быстрому достижению желаемого результата. Поэтому решение данной проблемы может послужить обеспечению максимальной производительности работ и при этом эксплуатации техники с минимальными простоями в течение рабочего времени.

8. Гусев, Б. В. Вибрационная технология бетона / Б. В. Гусев, В. Г. Зазимко. – Киев, 1991. – 160 с.
9. Технология возведения жилых и общественных зданий из монолитного железобетона : учебное пособие / Б. Н. Пономаренко, В. Н. Мирсоянов, С. М. Резниченко, В. В. Чепурная ; Минсельхоз РФ ; Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар : КубГАУ, 2003. – 172 с.
10. Олейник, П. П. Система ограничений комплекта машин для земляных работ в условиях реновации городской застройки / П. П. Олейник, В. В. Ефимов // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 58–62.
11. 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.
12. Фахратов, М. А. Изготовление монолитных конструкций в условиях сухого, жаркого климата / М. А. Фахратов, Х. А. М. С. Аль-Джубури // Системные технологии. – 2023. – № 3 (48). – С. 167–176.
13. Фахратов, М. А. Проблемы технологии бетона в условиях сухого, жаркого климата и пути их решения / М. А. Фахратов, Х. А. М. С. Аль-Джубури // Components scientific and technological progress. – 2023. – № 6 (84). – С. 19–32.
14. Фахратов, В. М. Алгоритмизация моделирования организационно-технологических систем технического обслуживания парка строительных машин / М. А. Фахратов. – Москва : МГАКХиС, 2012. – 787 с.

- versities] / A. I. Docenko, V. G. Dronov. – Moscow : INFRA-M, 2012. – 533 p.
2. Efimov, V. V. Metody teorii prinyatiya reshenij, kak instrument

vybora tekhnologii proizvodstva rabot [Methods of the theory of decision-making as a tool for choosing the technology of work] / V. V. Efimov, N. D. Cherednichenko // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 1. – P. 38–40.

3. Sobolev, V. I. Ehkonomiko-matematicheskoe modelirovanie organizatsii stroitelnykh rabot [Economic and mathematical modeling of the organization of construction works] / V. I. Sobolev, V. V. Sobolev // Nauchnaya mysl Kavkaza : sbornik trudov [Scientific thought of the Caucasus: a collection of works]. – Rostov-on-Don : Severo-Kavkazskij nauchnyj tsentr vysshej shkoly Yuzhnogo federalnogo universiteta [North Caucasian Scientific Center of the Higher School of the Southern Federal University], 2002. – P. 85–90.

4. Ibragimov, R. I. Meropriyatiya po obespecheniyu bezopasnosti gruzopodjomnykh mekhanizmov v stroitelstve [Measures to ensure the safety of lifting mechanisms in construction] / R. I. Ibragimov, M. A. Fakhratov // Perspektivy nauki [Prospects of Science]. – 2019. – № 5 (116). – P. 78–81.

5. Panchenko, N. M. Vybora racionalnogo sochetaniya zemleroj i transportnoj tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot [The choice of a rational combination of earthmoving and transport equipment in the production of earthworks] / N. M. Panchenko // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. – 2022. – № 87, Iss. 3. – P. 70–74.

6. Efimov, V. V. Vyyavlenie znachimosti parametrov neobkhodimykh dlya vybora optimalnogo kompleksa mashin dlya proizvodstva zemlyanykh rabot v usloviyakh gorodskoj zastrojki [Identification of the significance of the parameters necessary to select the optimal set of machines for the production of earthworks in urban development] / V. V. Efimov // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2021. – № 7 (79). – P. 320–328.

7. Polovko, A. M. Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of reliability theory] / A. M. Polovko, S. V. Gurov. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2008. – 704 p.

8. Gusev, B. V. Vibratsionnaya tekhnologiya betona [Vibration technology of concrete] / B. V. Gusev, V. G. Zazimko. – Kiev, 1991. – 160 p.

9. Tekhnologiya vozvedeniya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona : uchebnoe posobie [Technology of construction of residential and public buildings from monolithic reinforced concrete : textbook] / B. N. Ponomarenko, V. N. Mirsoyanov, S. M. Reznichenko, V. V. Chepurnaya ; Minsel'khoz RF ; Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet [Ministry of Agriculture of the Russian Federation ; Kuban State Agrarian University]. – Krasnodar : Kuban SAU, 2003. – P. 89–104.

10. Olejnik, P. P. [Sistema ograničenij kompleksa mashin dlya zemlyanykh rabot v usloviyakh renovatsii gorodskoj zastrojki [The system of limitations of a set of machines for earthworks in the conditions of urban renovation] / P. P. Oleinik, V. V. Efimov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 4. – P. 58–62.

11. Olejnik, 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 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 2. – P. 42–45.

12. Faxratov, M. A. Izgotovlenie monolitnykh konstruksij v usloviyakh suxogo, zharkogo klimata [Production of monolithic structures in dry, hot climate] / M. A. Fakhratov, H. A. M. S. Al-Juburi // Sistemnye tekhnologii [System technologies]. – 2023. – № 3 (48). – P. 167–176.

13. Faxratov, M. A. Problemy tekhnologii betona v usloviyakh suxogo, zharkogo klimata i puti ikh resheniya [Problems of concrete technology in dry, hot climate and ways to solve them Components scientific and technological progress] / M. A. Fakhratov, Kh. A. M. S. Al-Dzhuburi // Components scientific and technological progress. – 2023. – № 6 (84). – P. 19–32.

14. Faxratov, V. M. Algoritmizatsiya modelirovaniya organizatsionno-tekhnologicheskikh sistem tekhnicheskogo obsluzhivaniya parka stroitelnykh mashin [Algorithmization of modeling of organizational and technological systems of maintenance of construction machinery park] / M. A. Fakhratov. – Moscow : MGAKHiS, 2012. – 787 p.

УДК 69.007: 331.101.6

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_128

Оперативное управление производительностью исполнительных ресурсов в течение жизненного цикла строительных проектов

Operational Productivity Management of Executive Resources During the Life Cycle of Construction Projects

Опарина Людмила Анатольевна

Доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, l.a.oparina@gmail.com

Oparina Ludmila Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Production Organization and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, l.a.oparina@gmail.com

Барзыгин Евгений Александрович

Кандидат технических наук, соискатель ученой степени, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, barzygin@mail.ru

Barzygin Evgeny Alexandrovich

Candidate of Engineering Sciences, Applicant for a degree in Technology, Associate Professor of the Department of Production Organization and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, barzygin@mail.ru

Аннотация. В статье приведены научное обоснование создания управленческого инструмента и разработка практических рекомендаций по контролю производительности труда при реализации инвестиционно-строительных проектов в течение их жизненного цикла.

За основу исследования взяты следующие методологии: Total Cost Management Framework an Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management Second Edition (AAACEI), Developing the Project Work Breakdown Structure (AAACEI), ISO 21508 Earned Value Management in Project and Programme Management, ISO 21511 Work Breakdown Structure for Project and Programme Management, PMBOK 6th (PMI), The Standard for Earned Value Management (PMI), Practice Standard for Work Breakdown Structure (PMI).

Abstract. The article presents the scientific justification for the creation of a management tool, and the development of practical recommendations for controlling labor productivity in the implementation of investment and construction projects during their life cycle.

The basis of the study is taken as the following methodologies: Total Cost Management Framework an Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management Second Edition (AAACEI), Developing the Project Work Breakdown Structure (AAACEI), ISO 21508 Earned Value Management in Project and Programme Management, ISO 21511 Work Breakdown Structure for Project and Programme Management, PMBOK 6th (PMI), The Standard for Earned Value Management (PMI), Practice Standard

Введение

Проблема управления производительностью труда при реализации инвестиционно-строительных проектов не теряет своей актуальности, особенно в настоящее время, когда происходит трансформация управленческих процессов при широком применении технологий информационного моделирования. Создание цифровых двойников объектов капитального строительства на этапах проектирования и их корректировка на этапах строительства и эксплуатации предполагают также и изменение процессов управления проектами на всех этапах их жизненного цикла. При этом цифровизация должна способствовать повышению производительности труда и сокращению организационных процедур, а не появлению дополнительных затрат ресурсов и времени на их реализацию.

Качество управленческих решений на некотором этапе жизненного цикла способствует (или способно повлиять) формированию качества управленческих решений и воздействий для последующих этапов, и в целом оказывает влияние на достижение установленных целей инвестиционно-строительных проектов [1]. Разработка эффективного инструмента для оценки производительности труда при реализации строительных проектов в течение их жизненного цикла в условиях цифровизации, а также оценки влияния управленческих решений на производительность труда является актуальной научной задачей.

Под управлением подразумевается алгоритм действий руководителя проекта в виде цикла процессов: планирование → действие → проверка → корректировка (PDCA от англ. plan – do – check – act), разработанный Уолтером Эндриу Шухартом [2] и усовершенствованный Уильямом Эдвардом Демингом [3]. Данный алгоритм повторяется на протяжении всего жизненного цикла реализации строительного проекта, а в настоящем исследовании применяется к параметрам производительности. Этапы жизненного цикла инвестиционно-строительного

В качестве методов и инструментов использованы методы моделирования, анализа, систематизации и стандартизации структуры содержания проекта в сочетании с использованием элементов моделирования контрактной модели (в частности, структура типового контракта ЕРС), многоуровневого планирования (в статье использованы три уровня планирования) и показателей методики освоенного объема.

В качестве результатов исследования представлены формулы расчета коэффициентов производительности и приведены примеры их использования на практике.

Ключевые слова: управление строительными проектами, производительность труда, структура содержания проекта, WBS, многоуровневая модель управления проектами, жизненный цикл строительного проекта.

for Work Breakdown Structure (PMI).

The methods and tools used are modeling, analysis, systematization and standardization of the project content structure combined with the use of contract modeling elements (in particular, the structure of a typical EPC contract), multi-level planning (three levels of planning are used in the paper) and the Earned Value Methodology indicators.

As the results of the study, the formulas for calculating the performance indexes are presented and examples of their use in practice.

Keywords: construction project management, labor productivity, WBS, multilevel project management model, construction project life cycle.

проекта (в соответствии с ГОСТ Р 58179–2018 «Инжиниринг в строительстве. Термины и определения») включают: фазу инициирования (предынвестиционный этап и предпроектный этап); фазу проектирования и планирования (предварительное проектирование (финансовые, экономические, технические, социальные, экологические и прочие аспекты), бизнес-планирование и моделирование жизненного цикла); фазу реализации проекта (включая поставку материально-технических ресурсов и оборудования, строительство, пусконаладочные работы и сдачу в эксплуатацию) [4].

В большинстве случаев при определении производительности труда используются традиционные подходы. Достаточно трудоемкий, но относительно точный – ресурсный (детерминистический) подход к оценке, который разделяется на стоимостной, натуральный и нормативный [5], используемые непосредственно на стадии реализации проекта, и параметрический (стохастический) подход, основанный на использовании статистических данных, экспертных оценок или неполных данных проектов-аналогов [6], имеющий высокую погрешность вычислений и используемый на ранних стадиях реализации.

Как детерминистический, так и стохастический подходы [7] к оценке производительности приводят к возникновению естественной проблемы управления – несвоевременному поступлению данных, необходимых для принятия управленческих решений, что, в свою очередь, вызывает возникновение системной проблемы – потери контроля над производительностью ресурсов.

Статистические исследования констатируют факт об отрицательной динамике показателя производительности в строительной отрасли. По данным РОССТАТа [8], динамика роста уровня производительности труда в строительстве за 2017–2020 гг. в России снизилась незначительно – на 0,8 %, при этом динамика объема строительных работ за этот же период показала рост на 25,3 % [9].

Мировая строительная отрасль также испытывает видимые затруднения: так, согласно исследованиям Глобального института McKinsey, за период 2000–2020 гг. рост производительности труда в строительной отрасли составляет не более 1 % в год – в то время как в промышленном производстве этот показатель растет почти в 4 раза быстрее [10].

Таким образом, описанные выше проблемы управления производительностью в строительной отрасли напрямую связаны с использованием сложных и трудоемких систем управления, планирования, актуализации, контроля и прогнозирования. По мнению авторов, для решения проблем управления производительностью труда необходимо использовать инструмент или метод, который не потребует дополнительных трудозатрат и может применяться на всех стадиях жизненного цикла проектов и на всех уровнях управления.

Материалы и методы

Анализ отечественных методов определения производительности труда показал, что они не вполне подходят к поставленной цели данного исследования. Так, например, натуральный метод измерения выработки, заключающийся в определении выработки в натуральных показателях по видам выполняемых работ либо в целом в единицах измерения конечного продукта, приходящегося на одного работающего, может быть использован для планирования и сравнения производительности труда рабочих или строительных бригад исключительно при выполнении однородных СМР, что не позволяет сопоставлять производительность труда на неоднородных работах и определять уровень производительности труда при строительстве объекта в целом. По этой причине было решено отказаться от использования данного метода в исследовании.

Стоимостный метод (товарная выработка), который наиболее часто применяется для расчета производительности труда по видам работ и обобщает уровень производительности труда по объекту, строительной организации или отрасли в целом, определяет количество выработанной строительной продукции (в денежном выражении), приходящейся на одного рабочего. Расчет показателя осуществляется путем деления сметной (договорной) стоимости строительства (по отдельной работе, объекту, организации или отрасли в целом, руб.) на среднесписочную численность рабочих, занятых на выполнении строительно-монтажных работ [11]. Однако стоимостной метод не имеет связи с количеством отработанных часов трудовых ресурсов, а также не использует информацию о количестве нетрудовых ресурсов (машин и механизмов), которые были задействованы при выполнении СМР, что послужило причиной обращения к другим методам измерения производительности.

В качестве критериев выбора методов измерения производительности были определены следующие:

1. Системность и простота использования.
2. Наличие прямой связи с измерителями стоимости и сроков строительства на разных уровнях планирования.
3. Возможность оперативной дифференциации и интеграции стоимостных и количественных данных по типам ресурсов.

4. Подтверждение эффективности использования в отечественной и международной практике реализации строительных проектов.

5. Возможность прогнозирования.

Методы, удовлетворяющие вышеперечисленным критериям, в настоящее время активно используются в практике строительства как в зарубежных, так и в отечественных компаниях, реализующих масштабные инвестиционно-строительные проекты, таких как Госкорпорация «Росатом», ПАО «Газпром», АО «Газстройпром», ПАО «Газпромнефть», ПАО «Лукойл», ПАО «Северсталь», Группа «НЛМК», ПАО «ГМК Норильский никель», ПАО «СИБУР Холдинг», ООО «Алабуга Девелопмент» и другие.

В качестве предлагаемого инструмента управления строительным проектом и основы для исследования взята Earned Value Method (EVM) – методика освоенного объема, которая была разработана в середине 50-х годов учеными из США [12; 13]. Достоинством данного метода является простой в применении набор метрик, инструментов анализа и прогнозирования, в т. ч. показателей производительности. Метод освоенного объема имеет некоторые недостатки, в частности, он содержит ряд ограничений своего применения и не является методом управления именно ресурсами. К тому же, для использования EVM необходим полностью заверченный график реализации проекта и бюджет.

Несомненным достоинством метода является то, что в качестве измерителя используется стоимость ресурсов, что позволяет и в данном исследовании рассчитать значение коэффициента производительности k_p , используя данные о стоимости ресурсов.

Методика освоенного объема базируется на трех основных измерителях: EV – earned value, т. е. освоенный объем – фактически выполненный объем работ на определенную отчетную дату; PV – planned value, т. е. плановый объем – плановый объем работ, выполненный на определенную отчетную дату; AC – actual cost, т. е. фактическая стоимость – фактическая стоимость всех использованных для выполнения работ ресурсов на определенную отчетную дату [14].

При реализации проекта без отклонений фактических данных от плановых показателей проекта все три показателя по достижении финиша проекта должны быть кумулятивно и суммарно равны значению показателя BAC – budget at completion, т. е. бюджет по завершении.

Вторым инструментом выбрана work breakdown structure (WBS) [15] – иерархическая структура работ (ИСР), инструмент, сущность которого зачастую неверно трактуется большинством руководителей проектов ввиду особенностей перевода с английского, поэтому для лучшего понимания термин «work» в аббревиатуре WBS, по мнению авторов, следует трактовать не как «работа», а как «результат», что меняет название и смысл термина на «иерархическую структуру результатов», оставляя аббревиатуру на русском без изменений – ИСР. Чаще всего используют три варианта декомпозиции WBS: декомпозиция по функциональным областям, пообъектная или продуктовая декомпозиция и смешанная декомпозиция, объединяющая первые два варианта [16].

У инструмента WBS существует много преимуществ, но есть и недостатки. Во-первых, не существует типовой структуры WBS ввиду уникальности каждого проекта, в

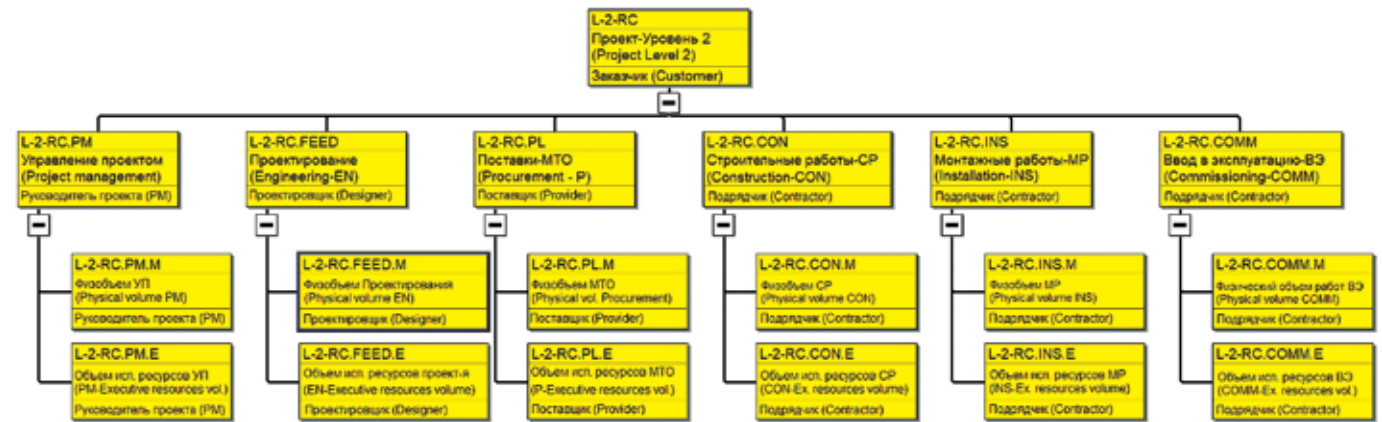


Рис. 1. Пример WBS с ресурсно-контрактной декомпозицией проекта
Fig. 1. Example of WBS with resource-contract breakdown of project

связи с чем многие руководители проектов не понимают, какой должна быть структура WBS для каждого конкретного проекта¹. Во-вторых, в числе критериев нет жесткого требования к оценке сроков для каждого узла WBS, тогда как стоимость должна быть определена на 100 %.

Третьим инструментом исследования является контрактная модель реализации проекта, позволяющая формализовать процессы реализации проекта с учетом правовых аспектов и решить одну из проблем разработки WBS – стандартизировать структуру содержания проекта. В качестве примера выбрана контрактная модель ЕРС, как наиболее часто встречающаяся и по своей структуре соответствующая контрактной модели Multi-Lot с той разницей, что функция управления в данном случае лежит на команде заказчика.

Четвертый инструмент исследования – многоуровневая модель планирования, позволяющая решить проблемы первых трех инструментов и планировать график реализации строительного проекта в условиях постоянно изменяющихся проектных данных в сочетании с изменяющимся числом участников проекта как на стратегическом, так и на операционном уровнях управления, что является примером открытой системы.

Результаты

В качестве дополнения к использованию общепринятых нормативных показателей определения производительности труда на самых низких уровнях – уровнях планирования отдельных ресурсов, для измерения производительности труда на более высоких уровнях планирования, с целью снижения трудоемкости процессов управления жизненным циклом строительства – в данном исследовании авторами предлагается использовать значения нового показателя – коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p , являющегося отношением суммарного количества материальных ресурсов V_M , использованных для получения определенного конечного результата реализации проекта в форме физического воплощения за некоторое количество времени T , и суммарного количества трудовых и нетрудовых ресурсов V_E .

$$k_p = \frac{V_M}{V_E}, \quad (1)$$

где k_p – коэффициент производительности исполнительных ресурсов, V_M – суммарное количество материальных

ресурсов (физический объем), V_E – суммарное количество трудовых и нетрудовых ресурсов.

Значение коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p уникально для каждого проекта или пакета работ и является плановой величиной.

Таким образом, под управлением производительности труда подразумевается циклично повторяющийся набор определенных действий руководителя проекта, направленный на удержание значения коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p в пределах плановых параметров.

В первую очередь, в исследовании было сделано уточнение о том, что показатель V_E – это суммарный объем трудовых и нетрудовых ресурсов, используемых для определения коэффициента производительности k_p . Затем в связи с использованием контрактного подхода было установлено, что суммарное значение количества трудовых и нетрудовых ресурсов связано с заключением договорных обязательств с субъектом или группой субъектов проекта, которые являются ресурсами проекта. Трудовые ресурсы, являясь физическими лицами, могут выступать субъектами договорных отношений, тогда как нетрудовые ресурсы не могут выступать субъектами договорных отношений ввиду своего правового статуса, при этом нетрудовые ресурсы могут быть использованы трудовыми ресурсами для выполнения работ при реализации проекта, т. е. для достижения результата.

В результате авторы предлагают ввести новое понятие «исполнительные ресурсы» (англ. executive resources) – суммарное количество трудовых и нетрудовых ресурсов:

$$V_E = \sum V_L + V_N, \quad (2)$$

где V_E – объем исполнительных ресурсов, V_L – объем трудовых ресурсов, V_N – объем нетрудовых ресурсов.

Поскольку использование контрактного подхода связано с распределением ответственности за отдельные результаты проекта, а оценка производительности – с новым распределением ресурсов, то данный подход влияет на формирование структуры WBS. Таким образом, получен «ресурсно-контрактный» принцип декомпозиции проекта – resource-contract principle breakdown of project (рисунок 1).

В примере структуры WBS, изображенной на рисунке 2, подход ресурсно-контрактной декомпозиции применяется ко всем узлам WBS независимо от того, можно ли

¹ Так, например, при решении задания № 1 «Определение содержания проекта» в номинации «Управление проектом сооружения» III Международного строительного чемпионата ни одна из 13 проектных команд не смогла дать правильного ответа.

Код / ID WBS	Название / Name WBS	Уровень / Level WBS	ВАС – Бюджет по завершении, руб. / Budget at completion, RUR	Плановый / Planned, КР план	PV – Плановая стоимость за период (накопительно), руб. / Planned value, RUR	АС – Фактическая стоимость за период (накопительно), руб. / Actual cost, RUR	Текущий – плановый / Current – planned, КР тек (за период)	Фактический / Actual, КР (за период)	% отклонения / % Deviations, ΔKp
№ колонки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L-2-RC	Проект – уровень 2 / Project level 2 / Ресурсно-контрактная декомпозиция / Resource and contract breakdown	1	214,193,393.85		39,607,850.08	40,754,160.00			
L-2-RC.PM	Управление проектом / Project management	2	20,746,845.47		10,647,437.68	11,000,000.00			
L-2-RC.PM.E	Объем исполнительных ресурсов по управлению проектом / Executive resources volume – PM	3	20,746,845.47	1.00	10,647,437.68	11,000,000.00	1.00	0.97	–3.2 %
L-2-RC.FEED	Проектирование / Engineering – EN	2	12,452,160.00		12,452,160.00	13,000,000.00			
L-2-RC.FEED.E	Объем исполнительных ресурсов по проектированию / Executive resources volume – EN	3	12,452,160.00	1.00	12,452,160.00	13,000,000.00	1.00	0.96	–4.2 %
L-2-RC.CON	Строительные работы (с учетом поставок) / Construction – CON & Procurement	2	69,114,988.38		16,508,252.40	16,754,160.00			
L-2-RC.CON.M	Физический объем строительных работ / Physical volume CON	3	49,000,855.05		12,204,160.33	12,204,160.00			
L-2-RC.CON.E	Объем исполнительных ресурсов строительных работ / Executive resources volume – CON	3	20,114,133.33	2.44	4,304,092.07	4,550,000.00	2.84	2.68	–5.4 %
L-2-RC.INS	Монтажные работы (с учетом поставок) / Installation – INS & Procurement	2	106,775,293.33		0.00	0.00			
L-2-RC.INS.M	Физический объем монтажных работ (результаты поставки материалов и оборудования для монтажа) / Physical volume INS	3	100,369,000.00		0.00	0.00			
L-2-RC.INS.E	Объем исполнительных ресурсов монтажных работ / Executive resources volume – INS	3	6,406,293.33	15.67	0.00	0.00			
L-2-RC.SP	Ввод в эксплуатацию / Commissioning – COMM	2	5,104,106.67		0.00	0.00			
L-2-RC.SPE	Объем исполнительных ресурсов для ввода в эксплуатацию / Executive resources volume – COMM	3	5,104,106.67	1.00	0.00	0.00			

Табл. 1. Пример расчета k_p для WBS комплексного графика 2-го уровня
Tab. 1. Example of k_p calculation for WBS of complex schedule of level 2

определить количество материальных ресурсов (физический объем) или нет, поэтому введено следующее правило: если сумма материальных ресурсов в узле WBS = 0, то для данного уровня количество уровней = 1, а показатель производительности $k_{P(l+1)}$ для этого уровня рассчитывается как отношение объема материальных ресурсов выше-лежащего уровня $V_{M(l)}$ к объему исполнительных ресурсов $V_{E(l+1)}$:

$$k_{P(l+1)} = \frac{V_{M(l)}}{V_{E(l+1)}},$$

(3)

где $k_{P(l+1)}$ – коэффициент производительности исполнительных ресурсов для уровня $l+1$,
 $V_{M(l)}$ – объем материальных ресурсов для уровня l (физический объем),
 $V_{E(l+1)}$ – объем исполнительных ресурсов для уровня $l+1$.
Кроме перераспределения значений объема ресурсов по уровням WBS, необходимо обязательно вносить корректировки в структуру WBS для определения физического объема, выполняемого исполнительными ресурсами. Данные для расчета коэффициента производительности

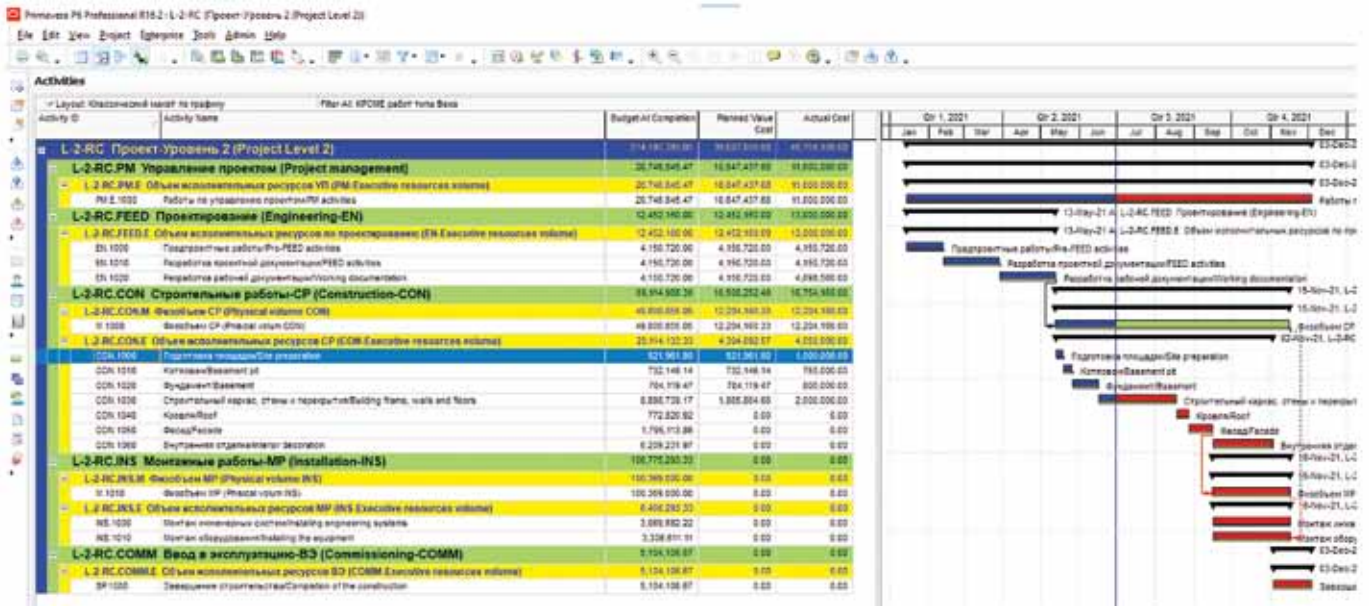


Рис. 2. Снимок экрана календарно-сетевого графика проекта 2-го уровня
Fig. 2. Screenshot of the second level project schedule

исполнительных ресурсов k_p аналогичны данным, полученным с помощью расчетов показателей ВАС, PV, АС по методике освоенного объема, т. к. измеряются в денежном выражении.

В случае выполнения пакетов работ только исполнительными ресурсами, например, в случае если контрактом предусмотрено выполнение услуг и не предусмотрен физический объем, то узел WBS, содержащий значение показателя $V_{M(l)}$ – объема материальных ресурсов (физического объема), необходимо исключить из структуры WBS проекта, т. к. значение показателя $V_{M(l)}$ будет равно нулю.

Для подтверждения возможности применения результатов исследования на практике – с использованием ИСУП Primavera P6 Professional был разработан экспериментальный многоуровневый календарно-сетевой график условного проекта строительства с использованием ресурсно-контрактной декомпозиции (рисунок 2).

Смоделированные плановые и фактические результаты реализации условного проекта строительства использованы для расчета k_p в таблице структуры WBS календарного графика 2-го уровня, которые представлены в таблице 1.

Как видно из примера таблицы 1, на данном уровне планирования количество контролируемых параметров производительности исполнительных ресурсов составляет всего три позиции.

Коэффициент производительности исполнительных ресурсов k_p можно применить к расчету плановых показателей, значение которых определяется на дату завершения проекта или пакета работ (колонка 4 таблицы 1), а также текущих и фактических значений показателей производительности исполнительных ресурсов на текущую дату (колонки 7 и 8 таблицы 1), а также можно рассчитать % отклонения текущей производительности исполнительных ресурсов на текущую дату – Δk_p (колонка 9 таблицы 1):

$$\Delta k_p = \left(\frac{k_{P\text{факт}}}{k_{P\text{тек}}} - 1 \right) \cdot 100\%,$$

(4)

где Δk_p – % отклонения текущей производительности исполнительных ресурсов,

$k_{p\text{ факт}}$ – коэффициент фактической производительности исполнительных ресурсов,
 $k_{p\text{ тек}}$ – коэффициент текущей производительности исполнительных ресурсов.

При этом отрицательное значение показателя Δk_p , отклонения текущей производительности исполнительных ресурсов указывает на снижение, а положительное значение – на увеличение уровня фактической производительности исполнительных ресурсов, что дает возможность для оперативного контроля с применением принципа Деминга–Шухарта с временным интервалом от одного дня и до завершения жизненного цикла проекта.

Возможность применения коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p на примере WBS директивного графика 1-го уровня представлена в таблице 2.

Как видно из примера таблицы 2, на данном уровне планирования количество контролируемых параметров производительности исполнительных ресурсов составляет всего одну позицию, что еще больше повышает возможность оперативности контроля.

Обсуждение

Как видно из примеров таблиц 1 и 2, использование коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p для директивного графика 1-го уровня технически возможно, но при этом важно учитывать трансформацию значений показателя k_p из-за суммирования значений объема исполнительных ресурсов $V_{E(l+1)}$ на верхние уровни WBS.

Аналогичным образом трансформируются значения коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p для календарно-сетевых графиков 3-го уровня и ниже, что приводит к выводу о том, что наиболее точные значения k_p можно получить именно на нижних уровнях управления.

Заключение

За счет существенного снижения количества контролируемых позиций производительности ресурсов, в случае использования коэффициента производительности исполнительных ресурсов k_p , руководитель проекта может оперативно контролировать параметры произво-

Код / ID WBS	Название / Name WBS	Уровень / Level WBS	ВАС – Бюджет по завершении, руб. / Budget at completion, RUR	Планный / Planned, КР план	РВ – Плановая стоимость за период (накопительно), руб. / Planned value, RUR	АС – Фактическая стоимость за период (накопительно), руб. / Actual cost, RUR	Текущий – плановый / Current – planned, КР тек (за период)	Фактический / Actual, КР (за период)	% отклонения / % Deviations, ΔКР
№ колонки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L-1-RC	Проект – уровень 1 / Project level 1 / Ресурсно-контрактная декомпозиция / Resource and contract breakdown	1	214,193,393.85		40,104,329.83	42,250,213.76			
L-1-RC.M	Физический объем работ по проекту / Project – physical volume	2	149,369,855.05		12,204,160.33	12,204,160.33			
L-1-RC.E	Объем исполнительных ресурсов по проекту / Project – executive resources volume	2	64,823,538.80	2.30	27,403,689.75	28,5500,000.00	0.45	0.43	–4,0 %

Табл. 2. Пример расчета k_p для WBS директивного графика 1-го уровня
Tab. 2. Example of k_p calculation for WBS of the decision schedule of Level 1

дительности всех ресурсов проекта вне зависимости от уровня графика. С учетом того, что коэффициент производительности исполнительных ресурсов k_p показывает производительность группы ресурсов, то в случае возникновения отклонений руководитель проекта может оказывать влияние на состав, численность, интенсивность и производительность как нетрудовых ресурсов, так и трудовых ресурсов.

Предлагаемый метод управления производительностью исполнительных ресурсов может применяться на всех этапах жизненного цикла реализации инвестиционно-строительных проектов с высокой степенью оперативности, т. к. возможность его использования закладывается на уровне структуры управления, а оценка отклонений

возможна с помощью производства быстрых расчетов на основании оперативных данных в стоимостном выражении – физического объема произведенной строительной продукции и объема использованных исполнительных ресурсов. Оперативность и простота использования полученного инструмента позволяет вовлечь в процесс управления производительностью исполнительных ресурсов руководителей всех уровней – от бригадира до руководителя компании – до того как аналитики получают всю необходимую информацию для использования существующих методов планирования производительности труда, что позволит управлять процессом вместо ведения статистических наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности организационной структуры на этапах жизненного цикла строительного проекта / С. В. Федосов, А. Б. Петрухин, В. Н. Федосеев, А. Н. Овчинников // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 63–68.

2. Shewhart, W. A. Statistical method from the viewpoint of quality control / W. A. Shewhart. – New York : Dover, 1939. – 155 p.

3. Деминг, Э. Менеджмент нового времени: Простые механизмы, ведущие к росту, инновациям и доминированию на рынке / Э. Деминг. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 192 с.

4. Липидус, А. А. Совершенствование организационной структуры инжиниринговой компании / А. А. Липидус, В. И. Пасканый // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 2–8.

5. Серов, В. М. Об оценке эффективности и интенсивности труда в строительстве / В. М. Серов // Экономика строительства. – 2010. – № 2 (2). – С. 25–30.

6. Андреева, Е. А. Анализ динамики производительности труда в строительной отрасли России / Е. А. Андреева // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 243–250.

7. Stephenson, L. H. Total Cost Management Framework: An Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management / L. H. Stephenson. – Second Edition. – USA : AACEI International, 2015. – 212 p.

8. Федеральная служба государственной статистики : [официальный сайт] / Росстат. – URL : <https://rosstat.gov.ru>.

9. Лихобабин, В. К. Основные проблемы в строительной отрасли, влияющие на экономическое развитие России и пути их решения / В. К. Лихобабин // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 11, часть 1. – С. 45–51.

10. McKinsey : [официальный сайт]. – URL : <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials>.

11. Производительность труда в строительной отрасли и методы ее измерения / В. Д. Ключев, С. Б. Щепанский, В. В. Панаева, Д. А. Зайцев // Инноватика и экспертиза. – 2022. – Вып. 1 (33). – С. 89–94.

12. Колосова, Е. В. Методика освоенного объема в оперативном управлении проектами / Е. В. Колосова, Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – Москва : ООО «НИЦ «Апостроф», 2000. – 156 с.

13. The Standard for Earned Value Management (PMI) : American National Standard ANSI/PMI 19-006-2019 : Posted on February 4, 2020 / The Project Management Institute. – USA : 2019.

14. ISO 21508:2018(E) Work Breakdown Structure for Project and Programme Management : International Standard / International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2018.

15. ISO/FDIS 21511:2018(E) Work Breakdown Structure for Project and Programme Management : International Standard : first edition 2018-05 / International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2018.

16. Practice Standard for Work Breakdown Structure : Third Edition July 2019 // International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2019.

REFERENCES

1. Osobennosti organizatsionnoy struktury na etapakh zhiznennogo tsikla stroitel'nogo proekta [Features of the organizational structure at the stages of the life cycle of a construction project] / S. V. Fedosov, A. B. Petrukhin, V. N. Fedoseev, A. N. Ovchinnikov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 3. – P. 63–68.

2. Shewhart, W. A. Statistical method from the viewpoint of quality control / W. A. Shewhart. – New York : Dover, 1939. – 155 p.

3. Deming, E. Management novogo vremeni: Prostyie mekhanizmy, vedushchie k rostu, innovatsiyam i dominirovaniyu na rynke [Management of modern times: Simple mechanisms leading to growth, innovation and market dominance] / E. Deming. – Moscow : Alpina Publisher, 2019. – 192 p.

4. Lapidus, A. A. Sovershenstvovanie organizatsionnoy struktury inzhiniringovoi kompanii [Improving the organizational structure of an engineering company] / A. A. Lapidus, V. I. Paskanny // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 3. – P. 2–8.

5. Serov, V. M. Ob otsenke effektivnosti i intensivnosti truda v stroitel'stve [On evaluating the effectiveness and intensity of labor in construction] / V. M. Serov // Ekonomika stroitel'stva [The economics of construction]. – 2010. – № 2 (2). – P. 25–30.

6. Andreeva, E. A. Analiz dinamiki proizvoditelnosti truda v stroitel'noy otrasli Rossii [Analysis of labor productivity dynamics in the construction industry of Russia] / E. A. Andreeva // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2017. – № 4 (63). – P. 243–250.

7. Stephenson, L. H. Total Cost Management Framework: An Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management / L. H. Stephenson. – Second Edition. – USA : AACEI International, 2015. – 212 p.

8. Federal State Statistics Service : [official website] / Rosstat. – URL : <https://rosstat.gov.ru>.

9. Likhobabin, V. K. Osnovnyie problemy v stroitel'noy otrasli, vliyuschie na ekonomicheskoe razvitiye Rossii i puti ikh resheniya [The main problems in the construction industry affecting the economic development of Russia and ways to solve them] / V. K. Likhobabin // Vestnik Altaiyskoii akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. – 2021. – № 11, Part 1. – P. 45–51.

10. McKinsey : [official website]. – URL : <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials>.

11. Labor productivity in the construction industry and methods of its measurement [Labor productivity in the construction industry and methods of its measurement] / V. D. Klyuev, S. B. Shchepansky, V. V. Panayetova, D. A. Zaitsev // Innovatika i expertiza [Innovation and expertise]. – 2022. – Iss. 1 (33). – P. 89–94.

12. Kolosova, E. V. Earned Value Method in Operational project management [Methodology of mastered volume in operational project management] / E. V. Kolosova, D. A. Novikov, A. V. Tsvetkov. – Moscow : SIC Apostrophe LLC, 2000. – 156 p.

13. The Standard for Earned Value Management (PMI) : American National Standard ANSI/PMI 19-006-2019 : Posted on February 4, 2020 / The Project Management Institute. – USA : 2019.

14. ISO 21508:2018(E) Work Breakdown Structure for Project and Programme Management : International Standard / International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2018.

15. ISO/FDIS 21511:2018(E) Work Breakdown Structure for Project and Programme Management : International Standard : first edition 2018-05 / International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2018.

16. Practice Standard for Work Breakdown Structure : Third Edition July 2019 // International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2019.

УДК 69.009

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_135

Разработка методов повышения эффективности организационно-технологической деятельности технического заказчика

Development of Methods for Increasing the Efficiency of Organizational and Technological Activities of a Technical Customer

Говоруха Пётр Анатольевич

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

Govoruha Petr Anatolievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, GovoruhaPA@mgsu.ru

Кириллова Марина Алексеевна

Магистр кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, kirillova2000@yandex.ru

Kirillova Marina Alekseevna

Master's student of the Department of Technologists and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, kirillova2000@yandex.ru

Аннотация. Технический заказчик занимает центральное место в организационной структуре строительного проекта. Его роль заключается в координации взаимодействия между участниками строительства, привлечении квалифицированных участников для эффективного решения задач, а также в обеспечении планирования и регулярного контроля соответствия параметрам проекта на всех этапах – начиная с разработки и заканчивая вводом объекта в эксплуатацию. Однако при реализации строительного проекта возникают проблемы, связанные с ключевой ролью технического заказчика.

Цель данного исследования – проанализировать текущие проблемы, выявить недостатки в организации взаимодействия участников, а также предложить методы для повышения эффективности деятельности технического заказчика при строительстве жилых зданий.

Методология исследования основана на анализе научной литературы, нормативно-технической документации и приме-

Abstract. A technical customer occupies a central place in the organizational structure of a construction project. Its role is to coordinate the interaction between construction participants, to attract qualified participants for effective problem solving, as well as to ensure planning and regular control of compliance with the project parameters at all stages, from design to commissioning. However, there are problems associated with the key role of a technical customer in the implementation of a construction project.

The purpose of this study is to analyze current problems, identify shortcomings in the organization of interaction between participants, and suggest methods to improve the efficiency of a technical customer in the construction of residential buildings. The research methodology is based on the analysis of scientific literature, regulatory and technical documentation and applica-

Введение

Неотъемлемой и развивающейся отраслью деятельности человека является строительство. При возведении зданий учитывается огромное количество факторов, от которых зависит реализация проекта, и для слаженной работы длительного процесса строительства необходимо грамотное управление в строительной деятельности. Для эффективного планирования, организации и контроля задействуется многочисленное количество организаций и предприятий, в которых деятельность всех участников строительства должна быть четко скоординирована.

Одним из основных организаторов производственного процесса во взаимодействии с участниками строительства является технический заказчик. Технический заказчик является главным звеном организационной структуры, который способствует организации обмена информацией между участниками строительства, занимается привлечением квалифицированных участников строительства для решения задач проекта, обеспечением планирования и регулярным контролем соответствия параметрам проекта – начиная с разработки проекта и заканчивая вводом объекта в эксплуатацию.

По итогам систематизации задач, функций и обязанностей технического заказчика, а также с целью улучшения качества и минимизации затрат в реализации стро-

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Количество введенных зданий, ед.	233319	216540	227242	241424	258119	304194	306391	278295	272615	261132	305492	326703	403100	434062
Здания и сооружения, находящиеся в незавершенном строительстве, ед.	106451	103107	108138	104772	103371	101601	97965	90342	86847	81274	77826	80758	82420	88007

Табл. 1. Количество введенных зданий и находящихся в незавершенном строительстве в Российской Федерации, измеряемое в единицах [3]

Tab. 1. Number of commissioned buildings and buildings under construction in the Russian Federation, measured in units [3]

нении метода классификации. Результатом исследования будет являться реструктуризация деятельности технического заказчика и внедрение дополнительных функций, направленных на повышение его уровня до инжиниринговой компании. Применение данного подхода должно привести к снижению связей между участниками, сокращению времени отклика при взаимодействии и повышению качества контроля и выполнения работ. Важным элементом успешной реализации предложенных изменений является внедрение информационных технологий для улучшения передачи данных. Решение поставленных задач позволит улучшить деятельность технического заказчика внутри компании и во взаимодействии с другими участниками строительства, а также повысит общую эффективность выполнения проектов.

Ключевые слова: технический заказчик, инжиниринг, инжиниринговая компания, организация строительства, функционал, строительство.

tion of the classification method. The result of the study will be the restructuring of a technical customer activity and the introduction of additional functions aimed at raising its level to that of an engineering company. The application of this approach should lead to a reduction in the links between the participants, a reduction in the response time in interaction and an increase in the quality of control and performance of work. An important element of successful implementation of the proposed changes is the introduction of information technologies to improve data transfer. The solution of these tasks will improve the activities of a technical customer within the company and in interaction with other construction participants, as well as increase the overall efficiency of project implementation.

Keywords: technical customer, engineering, engineering company, construction organization, functional, construction.

ительного проекта возникает потребность в разработке методов повышения эффективности организационно-технологической деятельности технического заказчика, что является актуальным и значимым в настоящее время.

Материалы и методы

На данный момент в строительной отрасли, в организации деятельности технического заказчика возникает ряд сложностей, связанных с несистемной деятельностью, разнородными потоками работ и недостаточным управлением процессами при строительстве жилых зданий. Основная задача состоит в устранении возникающих проблем и повышении эффективности деятельности технического заказчика.

Эффективность деятельности технического заказчика подразумевает способность управлять и контролировать строительные проекты таким образом, чтобы достичь определенных целей и результатов в рамках установленного бюджета и сроков, с минимизацией ошибок и недочетов. Технический заказчик должен ответственно подходить к контролю строительных работ для предотвращения возможных ошибок. Это включает в себя контроль качества материалов, оборудования, проверку выполнения проектных решений, а также регулярные инспекции и проверки на стройплощадке. Исправление ошибок на ранней стадии проекта способствуют экономии времени и

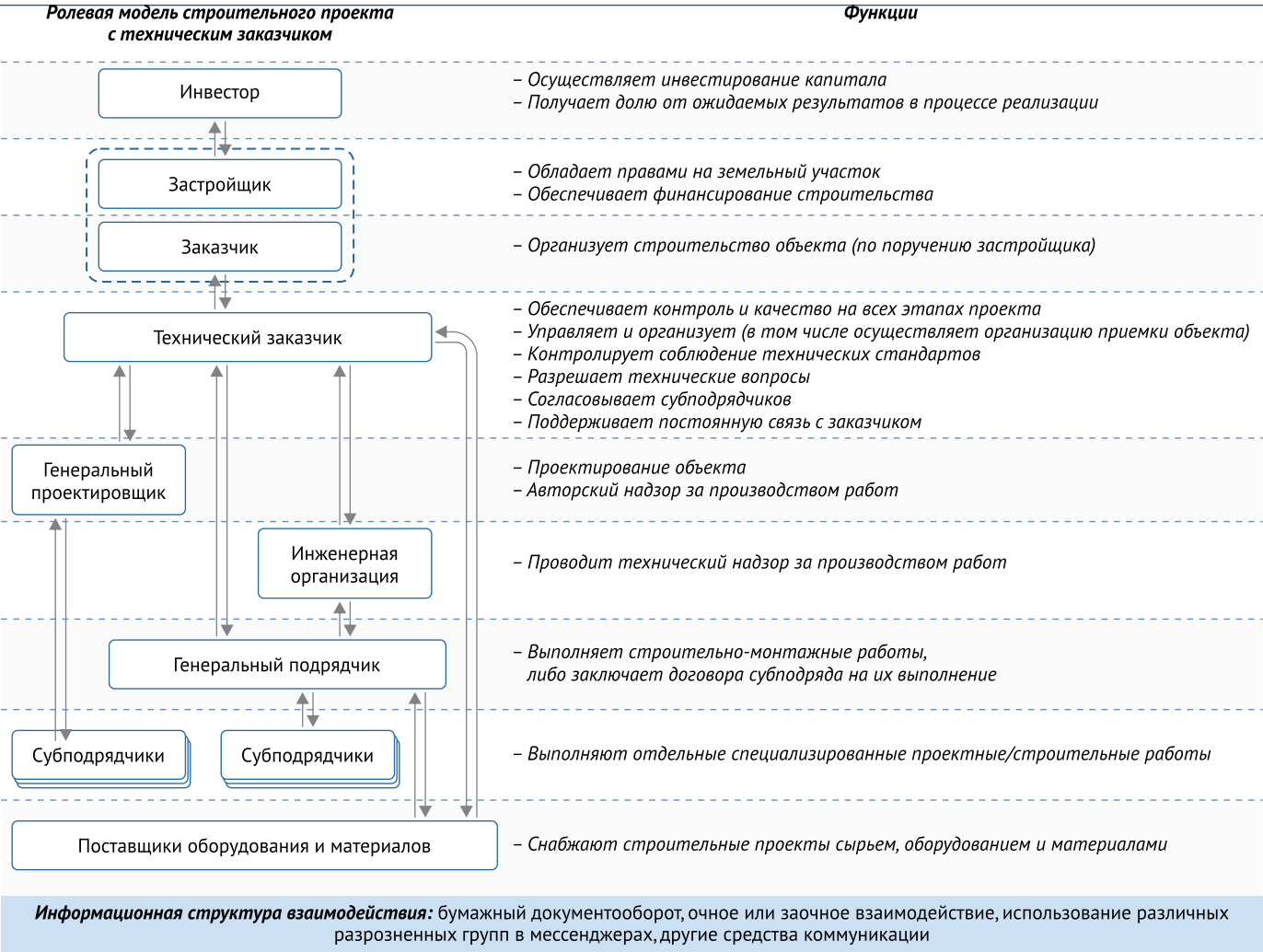


Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия управления проектом традиционной строительной компании (технического заказчика) с другими участниками строительства

Fig. 1. Functional scheme of interaction between project management of a traditional construction company (technical customer) and other construction participants

ресурсов. Также важен контроль соблюдения установленных сроков строительства [1].

Строительные проекты сталкиваются с финансовыми, правовыми и техническими проблемами [2], из-за которых объекты могут быть не введены в эксплуатацию. Используя метод классификаций, на основании данных Росстата проанализируем соотношение количества введенных зданий и находящихся в незавершенном строительстве на территории Российской Федерации (таблица 1).

Исходя из данных (таблица 1), видим, что 34 % объема строительства не введено в эксплуатацию.

Проанализировав данные по незавершенному строительству таких инжиниринговых компаний, как Росатом и Мосинжпроект, получили следующую информацию: количество не введенных в эксплуатацию зданий и сооружений составляет около 2 % от общего количества.

Отбросив проблемы с финансированием проектов и грубых ошибок в проектных решениях, приходим к выводу, что разница с применением инжиниринговой компании будет существенной.

Актуальность данного исследования заключается в необходимости предложить эффективное решение проблем, существующих в строительной отрасли в области организации и управления. В ходе нашего анализа выдвинута теория, что использование инжинирингового под-

хода в формировании организационных структур может уменьшить процент незавершенного строительства.

Результаты

Одним из решений проблемы повышения эффективности при строительстве жилых зданий может послужить реструктуризация роли технического заказчика, а именно превращение его в инжиниринговый центр или компанию, в которой услуги технического заказчика расширены большим количеством функций и обязанностей. Добавление функций контроля за финансами, проектами и авторским надзором позволит техническому заказчику более эффективно выполнять свои обязанности и управлять процессами строительства.

Рассмотрим организационную структуру традиционной строительной компании согласно ГОСТ Р 57363-2023 «Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)» (рисунк 1).

В использовании традиционной схемы взаимодействия технического заказчика с другими участниками строительства можно выделить следующие недостатки: не прямое взаимодействие с подрядчиками, приводящее к несвоевременному и некачественному выполнению работ, отсутствие эффективного выполнения надзора, замедление процесса при согласовании или утверждении изменений, а также ограничение своих обязанностей при



Рис. 2. Функциональная схема управления проектом техническим заказчиком с выполнением функций инжиниринговой компании

Fig. 2. Functional scheme of project management by a technical customer with the functions of an engineering company

взаимодействии с другими участниками строительства. Возникновение данных проблем обуславливает возможность рассмотреть такое решение, как укрупнение функционала и минимизация количества связей.

Для решения вышеописанной задачи предлагается разработать единую организационную структуру, занимающуюся этими функциями, примером такой структуры является инжиниринговая компания [4].

Инжиниринговая компания охватывает широкий спектр выполнения работ. Основное ее отличие в том, что помимо управления и организации ведения проекта в ее специализацию входит комплекс услуг в области проектирования и строительства, также она может включать в себя специализированные подразделения по поставке оборудования, монтажных работ, технического надзора [5; 6]. Важной чертой инжиниринговых компаний является готовность к комплексному выполнению задач – начиная с проектирования и заканчивая вводом объекта в эксплуатацию.

Выполним укрупнение функциональной деятельности для повышения эффективности и рассмотрим организационную структуру технического заказчика с внедрением в нее частичных функций инжиниринговой компании (рисунок 2).

Технический заказчик, в зависимости от условий договора (контракта), имеет разные функции управления участниками строительного процесса. Технический заказчик напрямую взаимодействует со всеми участниками строительства, а также может сам выполнять функции других участников строительного процесса. Это зависит от договора (контракта) с застройщиком (инвестором). Стоит заметить, что законодательство РФ не ограничивает

совмещение функций, а лишь накладывает обязательство на выполнение этих функций участниками строительства.

Согласно законодательству Российской Федерации, для получения статуса технического заказчика компании необходимо: наличие главного инженера (ГИП), членство в «Национальном объединении изыскателей и проектировщиков» (НОПИЗ), а также наличие второго инженера, также являющегося членом НОПИЗ.

Исходя из этого, компания может ограничиваться лишь двумя представителями – главным инженером и вторым инженером. В соответствии с законодательством Российской Федерации такая структура является правомерной. Однако при формировании организации технического заказчика необходимо предусмотреть наличие профильных специалистов в структуре компании, таких как главный инженер проекта (ГИП), главный архитектор проекта (ГАП), инженер по электроснабжению и слаботочным системам, инженер по отоплению и вентиляции, а также инженер по водоснабжению и отведению.

Добавление в организационную структуру дополнительных отделов, связанных с проектированием, строительством, поставкой оборудования, монтажными работами и техническим надзором, повысит эффективность работы технического заказчика. Разработанная организационная структура повысит качество строительных работ и уменьшит количество рисков деятельности технического заказчика.

В настоящее время крупные организации (Мосинжпроект, Росатом и другие) используют инжиниринговый подход. С учетом успешного опыта данных компаний, увеличение количества функций и ответственности технического заказчика может привести к высокому уровню

качества работ и сокращению сроков выполнения проектов.

Однако вышепредставленная структура внедрения инжиниринговой компании в деятельность технического заказчика предполагает собственное информационное пространство и конкретные сервера и шлюзы доступа [7; 8; 9]. Своевременное прослеживание актуальной информации становится ключевым элементом в повышении эффективности работы, уменьшении времени на поиск информации, улучшении коммуникации между участниками и обеспечении безопасного хранения конфиденциальных данных, что может послужить важным средством предотвращения ряда ошибок, которые возникают в ходе строительных работ.

Обсуждение

Строительные проекты часто сталкиваются с многочисленными трудностями и проблемами, влияющими на их успешное выполнение. В современном строительстве появляется необходимость в инновационных подходах к управлению проектами, направленных на сокращение рисков и повышение эффективности. Одним из таких подходов является интеграция услуг технического заказчика и функций инжиниринговой компании.

Внедрение дополнительных функций повысит эффективное взаимодействие между участниками, так как улучшится передача информации, что поможет обеспечить бесперебойность строительного процесса. Выявление потенциальных проблем и рисков на ранних этапах проекта способствовуют их оперативному решению и предотвращению задержек, уменьшит риск несогласованных действий различных исполнителей и повысит эффективность управления между всеми участниками проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмина, Т. К. Совмещение функций основных участников инвестиционно-строительной деятельности на современном этапе / Т. К. Кузьмина, С. А. Синенко, А. М. Славин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 6. – С. 71–75.
2. Медяник, Ю. В. Проблемы классификации и оценки объектов недвижимости незавершенного строительства / Ю. В. Медяник // Российское предпринимательство. – 2014. – № 19 (265). – С. 157–167.
3. Строительство : статистика / Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (дата обращения: 15.10.2023).
4. Кузьмина, Т. К. Основные формы реализации функций заказчика при организации и управлении масштабными инвестиционно-строительными проектами / Т. К. Кузьмина, С. А. Синенко // Научное обозрение. – 2016. – № 7. – С. 222–226.
5. Шинкарева, Г. Н. Модель инжиниринговой схемы организации строительства в перспективе жизненного цикла объектов / Г. Н. Шинкарева // Вестник МГСУ. – 2018. – № 9. – С. 1090–1105.

REFERENCES

1. Kuzmina, T. K. Sovmeshhenie funktsij osnovnykh uchastnikov investitsionno-stroitel'noj deyatel'nosti na sovremennom etape [Combination of functions of the main participants of investment and construction activity at the present stage] / T. K. Ku'mina, S. A. Sinenko, A. M. Slavin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2016. – № 6. – P. 71–75.
2. Medianik, Iu. V. Problemy klassifikatsii i otsenki obektov nedvizhimosti nezavershennogo stroitel'stva [Problems of classification and evaluation of real estate objects of unfinished construction] / Iu. V. Medianik // Rossiiskoe predprinimatel'stvo [Russian Entrepreneurship]. – 2014. – № 19 (265). – P. 157–167.
3. Stroitel'stvo : statistika / [Construction : statistics] //

Решится проблема с оперативным утверждением изменений. Единая организация сможет оперативно реагировать на изменения в проекте, утверждать их и внедрять, минимизируя временные задержки и избегая сложностей с согласованием между различными исполнителями.

Таким образом, данный метод повышения эффективности способен минимизировать риски, связанные с коммуникацией, координацией, управлением изменениями и обеспечением качества, что делает его привлекательным решением для современной строительной индустрии.

Заключение

В результате анализа текущей ситуации и выявления недостатков предлагается для улучшения деятельности технического заказчика внести изменения в организационную структуру с целью укрупнения функциональных элементов и добавления функций инжиниринговой компании в услуги технического заказчика. Результатом исследования будет являться модель организационной структуры с большим количеством функций технического заказчика. Данное решение приведет к уменьшению количества связей между участниками, сокращению времени отклика при взаимодействии и улучшению контроля работ. Однако для эффективного взаимодействия в рамках новой структуры необходимо наличие информационного пространства, обеспечивающего своевременное и точное взаимодействие между функциональными элементами.

Таким образом, дальнейшее исследование предполагает рассмотрение функционала новой модели организационной структуры деятельности технического заказчика и выявление конкретных методов и подходов, которые смогут обеспечить более системное управление процессами в строительной отрасли.

6. Медяник, Ю. В. Инжиниринг в строительстве / Ю. В. Медяник, Р. Р. Хафизов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – № 1. – С. 172–180.
7. Технический заказчик в условиях цифровой трансформации строительной отрасли : Учебно-практическое пособие / Комитет по подготовке и аттестации кадров для ТИМ Национального объединения организаций в сфере технологий информационного моделирования (НОТИМ). – Москва, 2023 г. – 314 с.
8. Liu, H. A Scientometric Review of Smart Construction Site in Construction Engineering and Management: Analysis and Visualization / H. Liu, J. Song, G. Wang // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, Iss. 16. – P. 8860.
9. From Industry 4.0 to Construction 4.0: Barriers to the Digital Transformation of Engineering and Construction Sectors / K. Wang, F. Guo, C. Zhang, D. Schaefer // Engineering Construction & Architectural Management. – 2022.

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal State Statistics Service : website]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (date of reference: 15.10.2023).
4. Kuzmina, T. K. Osnovnye formy realizatsii funktsii zakazchika pri organizatsii i upravlenii masshtabnymi investitsionno-stroitel'nymi proektami [Main forms of implementation of customer functions in the organization and management of large-scale investment and construction projects] / T. K. Kuzmina, S. A. Sinenko // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. – 2016. – № 7. – P. 222–226.
5. Shinkareva, G. N. Model' inzhiniringovoi skhemy organizatsii stroitel'stva v perspektive zhiznennogo tsikla obektov [Model of engineering scheme of construction organization in the perspective of the life cycle of objects] / G. N. Shinkareva // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2018. – № 9. – С. 1090–1105.

- P. 1090–1105.
- Medianik, Iu. V. Inzhiniring v stroitel'stve [Engineering in construction] / Iu. V. Medianik, R. R. Khafizov // Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2020. – № 1. – P. 172–180.
 - Tekhnicheskii zakazchik v usloviakh tsifrovoi transformatsii stroitel'noi otрасli : Uchebno-prakticheskoe posobie [Technical customer in the conditions of digital transformation of the construction industry : An educational and practical guide] / Komitet po podgotovke i attestatsii kadrov dlia TIM Natsional'nogo obedineniia organizatsii v sfere tekhnologii

- informaticsnogo modelirovaniia (NOTIM) [Committee for Training and Certification of Personnel for TIM of the National Association of Organizations in the Field of Information Modeling Technologies (NOTIM)]. – Moscow, 2023 – 314 p.
- Liu, H. A Scientometric Review of Smart Construction Site in Construction Engineering and Management: Analysis and Visualization / H. Liu, J. Song, G. Wang // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, Iss. 16. – P. 8860.
- From Industry 4.0 to Construction 4.0: Barriers to the Digital Transformation of Engineering and Construction Sectors / K. Wang, F. Guo, C. Zhang, D. Schaefer // Engineering Construction & Architectural Management. – 2022.

УДК 69:658

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_140

Анализ организационной структуры инжиниринговой компании с использованием имитационного моделирования

Analysis of the Organizational Structure of an Engineering Company Using Simulation Modeling

Пасканый Владимир Иванович

Соискатель ученой степени, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, paskanny@mail.ru

Paskanny Vladimir Ivanovich

Candidate for a scientific degree at the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, paskanny@mail.ru

Аннотация. Обоснована необходимость моделирования бизнес-процессов инжиниринговой компании, занимающейся реализацией инвестиционно-строительных проектов. Предложено использовать язык имитационного моделирования GPSS для реализации иерархической сети массового обслуживания. Двигаясь в направлении от простого к сложному, выполнено описание моделей нескольких бизнес-процессов: сначала бизнес-процесса, содержащего одну бизнес-функцию и одного исполнителя, затем – содержащего группу исполнителей, и, наконец, линейный бизнес-процесс, содержащий несколько бизнес-функций и групп исполнителей. Приведены результаты моделирования, и исследовано влияние факторов для бизнес-процесса, содержащего группу из трех функций с

Abstract. The necessity of modeling the business processes of an engineering company engaged in the implementation of investment and construction projects is substantiated. It is proposed to use the GPSS simulation language to implement a hierarchical queuing network. Moving in the direction from simple to complex, the models of several business processes are described: first, a business process containing one business function and one performer, then containing a group of performers and, finally, a linear business process containing several business functions and groups of performers. The results of modeling are presented and the influence of factors for a business process containing a group of three functions using the experiment planning method is in-

Введение

Чтобы оставаться прибыльным в условиях глобальной конкуренции, снизить издержки и преодолеть ряд препятствий, инжиниринговые компании должны продолжать пересматривать и совершенствовать свою организационную структуру управления (ОСУ) на протяжении всего жизненного цикла реализации инвестиционно-строительных проектов [1; 2]. Очень важно уделять пристальное внимание проектированию и внедрению бизнес-процессов, поскольку они являются ядром инжиниринговой компании [3]. Бизнес-процессы (БП) детально описывают все процессы, возникающие в контуре организационно-управленческого и технико-технологического инжиниринга. Следовательно, их совершенствование приводит

к повышению эффективности работы инжиниринговой компании [4–6]. Саму концепцию БП можно описать как набор действий, выполняемых таким скоординированным образом в организационной и технической среде, что эта деятельность обеспечивает достижение бизнес-целей [2]. БП также должен иметь конкретные функции B , необходимое обеспечение S и реализовываться через операции O : $BP=F(B,O,S)$ (рисунок 1).

Ключевые слова: бизнес-процессы, бизнес-функции, организационные структуры, инжиниринговая компания, имитационное моделирование, язык моделирования GPSS.

vestigated. Based on the results of the study of the influence of factors on the service time, a Pareto diagram is constructed. Using models of variance analysis, a comparative analysis of numerical values obtained with various combinations of parameters was performed. It is concluded that because of using the proposed approach to business process modeling, it is possible to calculate the required number of employees in each group of performers for the effective implementation of business processes in the presence of time constraints.

Keywords: business processes, business functions, organizational structures, engineering company, simulation modeling, GPSS modeling language.

к повышению эффективности работы инжиниринговой компании [4–6]. Саму концепцию БП можно описать как набор действий, выполняемых таким скоординированным образом в организационной и технической среде, что эта деятельность обеспечивает достижение бизнес-целей [2]. БП также должен иметь конкретные функции B , необходимое обеспечение S и реализовываться через операции O : $BP=F(B,O,S)$ (рисунок 1).

В компаниях моделирование бизнес-процессов представляет собой важную часть в процессе разработки и эволюции организационной структуры управления. Очевидно, что моделирование [7–9] является ключевым инструментом анализа эффективности ОСУ на протяжении всего жизненного цикла инвестиционно-строительного

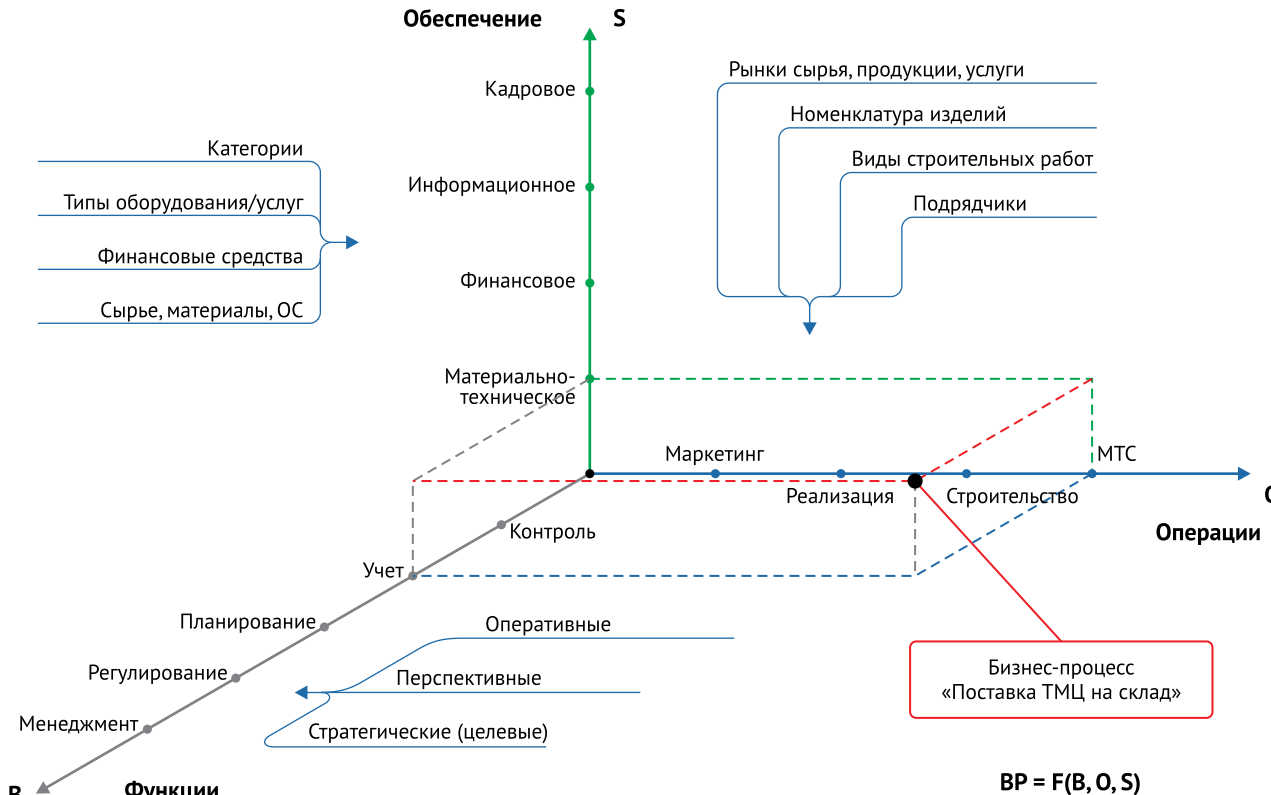


Рис. 1. Концепция бизнес-процессов
Fig. 1. Business process concept

проекта. Моделирование позволяет понимать, улучшать и автоматизировать существующие бизнес-процессы и ОСУ.

Моделирование БП является ключевым элементом в процессно-ориентированном развитии ОСУ инжиниринговой компании. В отличие от хорошо известного метода моделирования БП (BPMN – Business Process Management Notation) [10; 11], предусматривающего документирование и стандартизацию БП в виде графических моделей, в настоящей статье под методом моделирования БП понимается метод имитационного моделирования.

Моделирование БП является широко используемым методом для количественного анализа бизнес-процессов [12; 13]. Основная идея заключается в создании набора бизнес-функций (БФ) данного БП, характеризующихся такими параметрами, как скорость поступления новых бизнес-функций этого БП, время обработки каждой БФ и т. д.

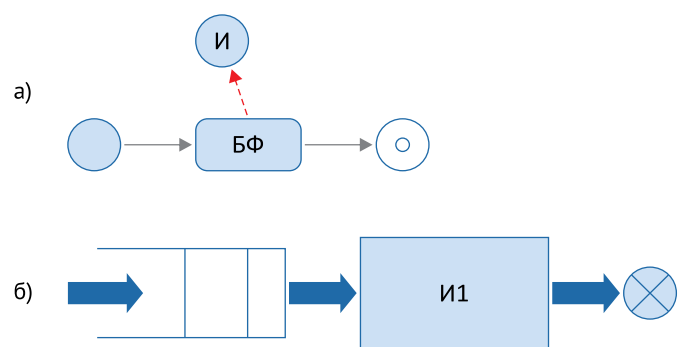


Рис. 2. Бизнес-процесс с одной бизнес-функцией и одним исполнителем
Fig. 2. Business process with one business function and one performer

Моделирование БП проводится с целью принятия решения о том, как улучшить бизнес-процесс в отношении одного или нескольких показателей производительности, связанных с затратами и временем [14]. Например, аналитик может использовать результаты моделирования для сравнения эффекта от добавления в БП нескольких сотрудников по сравнению с добавлением только одного дополнительного сотрудника или распараллеливанием нескольких действий, которые в настоящее время выполняются последовательно.

Материалы и методы

Среди всего множества подходов к оценке эффективности временных и качественных характеристик реализации технологического графа того или иного бизнес-процесса на первый план выходят методы имитационного моделирования. Аппарат иерархических сетей массового обслуживания (СеМО) позволяет описывать технологический граф бизнес-процесса и выполнять параметрическую настройку стандартных блоков как временными, так и качественными показателями, которые определяются привлеченным составом исполнителей. В терминологии СеМО исполнитель является обслуживающим аппаратом, который характеризуется случайным или нечетким временем обслуживания. В силу того, что в инжиниринговой компании одновременно выполняется множество бизнес-процессов, в которых могут быть задействованы одни и те же исполнители, то значительное влияние на эффективность выполнения всего множества БП оказывает распределение исполнителей по БП.

В иерархических СеМО обслуживающий аппарат верхнего уровня представляется в виде системы массового обслуживания (СМО) с неоднородными приоритетными заявками, с произвольным обслуживанием в узлах сети

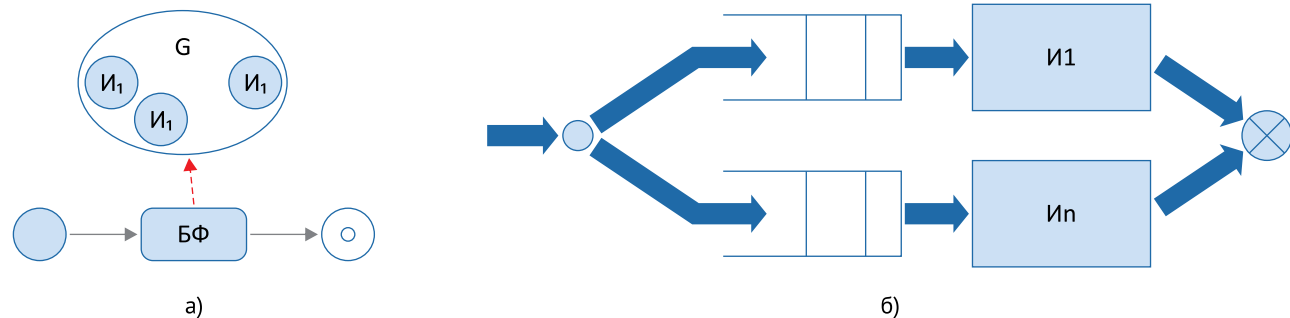


Рис. 3. Бизнес-процесс с одной бизнес-функцией и одной группой исполнителей
Fig. 3. Business process with one business function and one group of performers

и широким набором дисциплин обслуживания. Нижний уровень обычно представляется СМО с центральным обслуживающим прибором и каналами. СеМО детально описывает процесс выполнения БП (в терминологии имитационного моделирования – «заявки»), поступившего с верхнего уровня.

Одной из проблем при моделировании бизнес-процессов является большое количество языков для представления БП и учета их требований, что создает трудности для разработчиков моделей, когда им приходится выбирать один из них. Для моделирования БП инжиниринговых компаний на этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта будем использовать язык имитационного моделирования GPSS [15; 16].

Моделирование БП с одной бизнес-функцией и одним исполнителем

Пусть мы имеем элементарный бизнес-процесс, который состоит из единственной бизнес-функции (рисунок 2, а). При этом мы знаем параметры распределения случайного времени между моментами поступления заявок. Организационная структура также имеет вырожденный характер, то есть имеется единственный исполнитель. Такая ситуация возможна, когда в инжиниринговой компании имеется полная декомпозиция бизнес-процессов, когда за каждым бизнес-процессом закреплен единственный исполнитель, который ведет его от самого начала до завершения. В связи с этим нет смысла разбиения БП на БФ.

Моделирование реализации каждого БП в ОС выполняется в следующей последовательности:

1. Моделирование инициации начала выполнения БП в ОС (**GENERATE**).
2. Реализация выполнения единственной функции БП <Функция_1>, которая соответствует единственному исполнителю <Исполнитель_1>.
3. Моделирование завершения выполнения БП в ОС (**TERMINATE**).

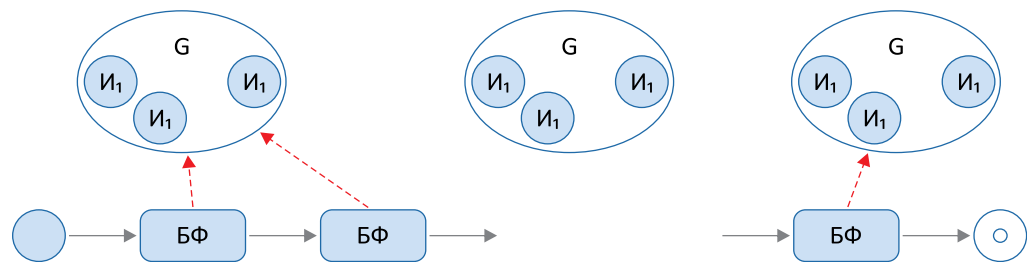


Рис. 4. Линейный бизнес-процесс с однородными группами исполнителей
Fig. 4. Linear business process with homogeneous groups of performers

При переходе к формализации в виде СМО будет иметь место достаточно простая структура (рисунок 2, б). Генерируется инициатор соответствующего БП, который передается в блок очереди <Очередь_1> исполнителя <Исполнитель_1>. Если очередь пуста и исполнитель свободен, то инициатор сразу передается в блок <Исполнитель_1>. Если исполнитель занят, то инициатор ждет его освобождения.

Моделирование БП с одной БФ и одной группой исполнителей

Пусть имеем элементарный бизнес-процесс, который состоит из единственной функции. При этом мы знаем параметры распределения случайного времени между приходами. Организационная структура также имеет упрощенный характер, когда имеется одна группа исполнителей и все могут участвовать в реализации данной БФ (рисунок 3, а). При переходе к формализации в виде СМО будет иметь место достаточно простая структура (рисунок 3, б). В данной ситуации необходимо использовать три оператора GPSS, а именно **STORAGE**, **ENTER** и **LEAVE**.

Для задания количества исполнителей используется оператор **STORAGE**, который имеет формат **<A> STORAGE [B]**. Операнд **A** определяет идентификатор группы сотрудников. Операнд **B** задает общее количество сотрудников в группе.

В данном случае для моделирования начала реализации БФ используется оператор GPSS **ENTER A, [B] (ВОЙТИ)**, который реализует вход соответствующего инициатора в многоканальный узел. Первый операнд **A** определяет идентификатор группы исполнителей (число или имя) многоканального узла, а операнд **B** задает необходимое число компонентов многоканального узла (количества исполнителей, которые сопровождают данную бизнес-функцию).

Для моделирования завершения бизнес-функции БП в многоканальном узле используется оператор GPSS

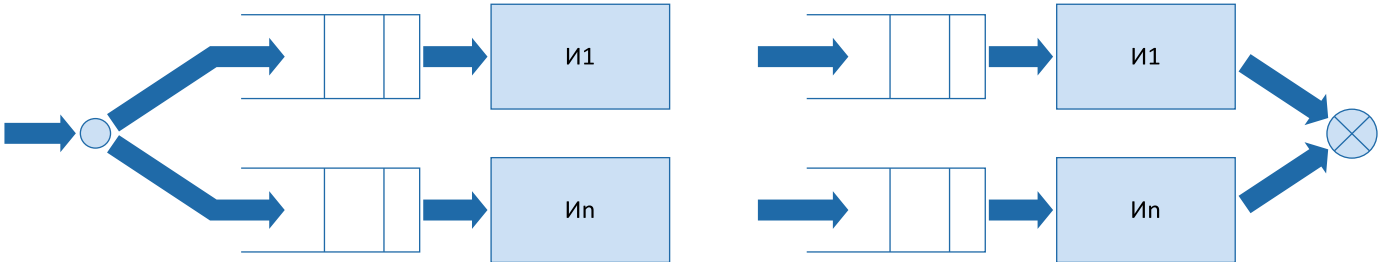


Рис. 5. Модель линейного бизнес-процесса с однородными группами исполнителей
Rise. 5. Model of a linear business process with homogeneous groups of performers

LEAVE A, [B] (ВЫЙТИ), который моделирует выход соответствующего инициатора БП из многоканального узла (группы исполнителей). Оператор также имеет два операнда. **A** определяет идентификатор (число или имя) многоканального узла (группа исполнителей), а операнд **B** – число освобождаемых компонентов многоканального узла (т. е. освобождаемых сотрудников). В основной массе моделей для одного и того же многоканального узла операнды **B** совпадают. Однако можно разрабатывать модели с разными значениями операндов. Например, для начала реализации заданной бизнес-функции используется **B** сотрудников, а по завершению – **B-1**. Так можно моделировать увольнение одного сотрудника после реализации данной БФ.

Моделирование реализации каждого БП в ОС выполняется в следующей последовательности:

1. Моделирование начала выполнения БП в ОС (**GENERATE**).
2. Реализация выполнения единственной функции БП <Функция_1>, для реализации которой необходимо задействовать некоторое количество сотрудников **B**, при этом параметр **B** должен быть меньше общего количества сотрудников в группе, то есть **Вмакс <Группа 1>**.
3. Моделирование завершения выполнения БП в ОС (**TERMINATE**).

Планир. план	План: 2**(6-3) план (Таблица данных 2)					
	A	B	C	D	E	F
7	-1	1	1	-1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1

Табл. 1. Дробный факторный план
Tab. 1. Fractional factorial design

База	G1	T1	G2	T2	G3	T3
1	7	800	11	700	11	1000
2	9	800	9	900	11	800
3	7	800	9	700	13	800
4	9	600	9	700	11	1000
5	7	600	11	900	11	800
6	9	600	11	700	13	800
7	7	600	9	900	13	1000
8	9	800	11	900	13	1000

Табл. 2. Реальные значения факторов в дробном факторном плане
Tab. 2. Real values of factors in a fractional factorial design

Генерируется инициатор соответствующего БП, который передается в блок очереди <Очередь_1> группы исполнителей <Группа 1>. Если очередь пуста и достаточное количество компонентов многоканального узла свободно, то инициатор сразу передается в блок <Группа 1>. Если достаточного количества свободных компонентов нет, то инициатор ждет их освобождения.

Моделирование линейного БП с однородными группами исполнителей

Более общий случай моделирования БП представляет линейную схему произвольного количества БФ, которые сопровождаются независимыми группами исполнителей (рисунок 4).

Данная схема имеет более общий вид, но для ее программной реализации достаточно приведенных выше операторов GPSS. При этом соответствующая схема СеМО также будет представлять линейную последовательность многоканальных узлов (рисунок 5).

Для формирования такой модели с возможностью задания произвольного количества групп исполнителей и произвольного количества бизнес-функций более предложено объединение операторов в параметризуемые блоки.

Так, программу линейного БП с однородными группами исполнителей (рисунок 5) предлагается разделить на три блока: **STORAGE** и **GENERATE**; **TERMINATE** и **START**; все остальные внутренние блоки, которые моделируют одну бизнес-функцию.

При этом операторы **STORAGE** можно объединить в один макрос **<ОС>**, который описывает организационную структуру перечислением количественного состава всех имеющихся групп, т. е. **ОС [N1], [N2], ..., [Ni]**. Предполагается, что ОС состоит из *i* независимых групп, у каждой из которых будет *Ni* исполнителей (сотрудников).

Остальные операторы также объединяются в один макрос **<БФ>**, который в качестве параметров имеет:

G – идентификатор группы,

1	2	3	4	5	6	7	8
37	24	1024	0	23,886	2592,172	2592,172	0
190	188	1188	0	106,209	10753,82	10753,82	0
102	78	1078	0	69,831	7076,32	7076,32	0
144	122	1122	0	83,451	8622,867	8622,867	0
59	38	1038	0	29,924	2986,482	2986,482	0
52	31	1031	0	27,108	2795,652	2795,652	0
42	24	1024	0	21,155	2173,486	2173,486	0
62	37	1037	0	34,848	3646,187	3646,187	0
57	37	1037	0	32,327	3338,987	3338,987	0

Табл. 3. Значения факторов в дробном факторном плане
Tab. 3. Factor values in a fractional factorial design

Имя / номер	Макс. содержимое очереди за период моделирования	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов тран. в очередь	Общее кол-во входов тран. в очередь с нулевым временем ожидания	Ср. значение содержимого очереди	Ср. время пребывания одного транзакта в очереди	Ср. время пребывания одного транзакта в очереди без учета 'нулевых' входов	Кол-во тран. ожидающих выполнения спец. условия
SYST	57	37	1037	0	32.327	3338.987	3338.987	0
QUEUE1	20	10	1037	439	2.753	284.367	493.124	0
QUEUE2	23	0	1018	564	2.571	270.537	606.622	0
QUEUE3	19	1	1013	732	1.142	120.771	435.378	0

Рис.6. Результаты моделирования линейного бизнес-процесса в GPSS
Fig.6. Results of modeling a linear business process in GPSS



Рис. 7. Численные значения интегрального критерия при различных вариациях факторов
Fig. 7. Numerical values of the integral criterion for various variations of factors

S – количество необходимых исполнителей из состава выбранной группы,
T – параметры случайного времени реализации дан- ной БФ данным составом данной группы.
Формальная запись будет иметь вид **БФ-[Группа i], [S], [T]**.
Результаты

В качестве факторов были выбраны количественные составы каждой группы (G1, G2 и G3) и их производи- тельность в минутах (T1, T2 и T3). Для этой шестифак- торной модели был сформирован дробный факторный план 2⁽⁶⁻³⁾ (таблица 3). То есть для оценки значимости всех шести факторов достаточно всего восьми экспериментов, причем первые три фактора варьируются на всех комби- нациях, представляя полный факторный план, а осталь- ные значения факторов рассчитываются на основании генерирующих соотношений. Значение –1 соответствует минимальному значению фактора, а значение +1 – мак- симальному.
Для сгенерированного дробного факторного плана (таблица 1) реальные значения варьируемых факторов, на комбинациях которых реализуются модельные экспе- рименты, представлены в таблице 2.
В результате проведенного моделирования на моде- ли GPSS по оценке интегральных показателей функцио- нирования систем массового обслуживания получены их числовые значения (рисунок 6, таблица 3).
При анализе результатов моделирования на осно- вании сформированного факторного плана в пакете Statistica имеется множество форм визуализации полу- ченных данных, которые помогают при исследовании по-

ведения полученной зависимости [17]. Удобным вариан- том представления полученных результатов является куб, вершины которого взвешиваются численными значения- ми оценок времен обслуживания (рисунок 7).
Из рисунка видно, что время реализации бизнес-про- цесса существенно уменьшается с 8319 единиц до 2028 при изменении факторов. Для отдельного фактора, на- пример, снижения количества сотрудников с 11 до 9, вре- мя повышается с 2028 до 4589. Таким образом, помимо значимости факторов возможна оценка абсолютных зна- чений интегрального критерия.
В результате предложенного подхода к моделирова- нию бизнес-процессов в ОС можно рассчитать необходи- мое количество сотрудников группы для реализации БП при временных ограничениях. Кроме того, имеет место множество возможных расширений этих моделей:
• для связной структуры и линейных БП;
• для множества различных БП с линейной структу- рой;
• для произвольной алгоритмической структуры БП и связной ОС.
Заключение
В то время как размер компании становится все менее существенным, способность быстро адаптироваться к ме- няющимся рыночным условиям и новым технологиям важна как никогда. Эта тенденция особенно применима к организационным структурам инжиниринговых компан- ний, когда отдельные БП должны быть интегрированы в ОС и должны постоянно обновляться в соответствии с постоянно растущими требованиями строительного про- изводства. С использованием аппарата имитационного моделирования инжиниринговая компания может рабо- тать с гораздо меньшими затратами, большей скоростью, большей точностью, меньшим набором проблем и повы- шенной гибкостью.
В силу того, что в инжиниринговой компании одно- временно выполняется множество бизнес-процессов, в которых могут быть задействованы одни и те же испол- нители, то значительное влияние на эффективность вы- полнения всего множества БП оказывает распределение исполнителей по БП. Это обстоятельство привело к не- обходимости использования иерархических СеМО, где обслуживающий аппарат верхнего уровня представляется в виде системы массового обслуживания (СМО) нижнего уровня, которая детально описывает процесс выполнения БП верхнего уровня.
Разработан ряд моделей реализации БП в виде СМО, получены результаты моделирования, позволяющие рас- считать необходимое количество сотрудников, необходи- мых для реализации БП при временных ограничениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dijkman, R. M. Advanced queueing models for quantitative business process analysis / R. M. Dijkman, I. Adan, S. P. F. Peters // Proceedings of the 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2018, 20-31 August 2018. – 2018. – P. 260–267.
2. Fundamentals of Business Process Management / M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, H. A. Reijers ; Second edition. – Springer, 2018. – 559 p.
3. Co-location specification for IoT-aware collaborative business processes / P. Grefen, N. Brouns, H. Ludwig, E. Serral // Proceedings of the International Conference : Information Systems Engineering in Responsible Information Systems, CAiSE 2019 ; C. Cappiello, M. Ruiz (Eds.). – Cham : Springer International Publishing, 2019. – P. 120–132.
4. Абрамс, Р. Бизнес-план на 100 %: Стратегия и тактика эф- фективного бизнеса / Р. Абрамс. – Москва : Альпина Пабли- шер, 2019. – 496 с.
5. Остервальдер, А. Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора / А. Остервальдер, И. Пинье ; пер. с англ. М. Кульневой. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 288 с.
6. Баринов, В. А. Организационное проектирование / В. А. Ба- ринов. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 384 с.
7. Орлов, А. К. Основы бизнес-инжиниринга в инвестиционно- строительной сфере / А. К. Орлов, А. П. Белякова. – Москва : Изд-во МГСУ, 2016. – 70 с.
8. Дафт, Р. Организационная теория и дизайн / Р. Дафт, Дж. Мер- фи, Х. Уилмотт. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 640 с.
9. Ермолаев, Е. Е. Инжиниринг инвестиционно-строительных проектов промышленного назначения / Е. Е. Ермолаев. – Москва : Стройинформиздат, 2014. – 264 с.
10. Foss, N. J. Business models and business model innovation: Between wicked and paradigmatic problems / N. J. Foss,

REFERENCES

1. Dijkman, R. M. Advanced queueing models for quantitative business process analysis / R. M. Dijkman, I. Adan, S. P. F. Peters // Proceedings of the 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2018, 20-31 August 2018. – 2018. – P. 260–267.
2. Fundamentals of Business Process Management / M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, H. A. Reijers ; Second edition. – Spring- er, 2018. – 559 p.
3. Co-location specification for IoT-aware collaborative busi- ness processes / P. Grefen, N. Brouns, H. Ludwig, E. Serral // Proceedings of the International Conference : Information Systems Engineering in Responsible Information Systems, CAiSE 2019 ; C. Cappiello, M. Ruiz (Eds.). – Cham : Springer International Publishing, 2019. – P. 120–132.
4. Abrams, R. Biznes-plan na 100 %: Strategiya i taktika ehffek- tivnogo biznesa [100 % business plan: Strategy and tactics of effective business] / R. Abrams. – Moscow : Alpina Publisher, 2019. – 496 p.
5. Osterwalder, A. Postroenie biznes-modelej. Nastol'naya kniga stratega i novatora [Building business models. The Strategist and Innovator's Handbook] / A. Osterwalder, I. Pinye ; trans- lated from the English by M. Kulneva. – Moscow : Alpina Pub- lisher, 2019. – 288 p.
6. Barinov, V. A. Organizatsionnoe proektirovanie [Organizational design] / V. A. Barinov. – Moscow : INFRA-M, 2019. – 384 p.
7. Orlov, A. K. Osnovy biznes-inzhiniringa v investitsionno- stroitel'noj sfere [Fundamentals of business engineering in the investment and construction sector] / A. K. Orlov, A. P. Belyakova. – Moscow: MGSU, 2016. – 70 p.
8. Daft, R. Organizatsionnaya teoriya i dizajn [Organizational theory and design] / R. Daft, J. Murphy, H. Wilmott. – Saint Pe- tersburg : Peter, 2013. – 640 p.
9. Ermolaev, E. E. Inzhiniring investitsionno-stroitel'nykh proek- tov promyshlennogo naznacheniya [Engineering of invest- ment and construction projects for industrial purposes] / E. E. Ermolaev. – Moscow : Stroyinformizdat, 2014. – 264 p.

T. Saebi // Long Range Plan. – 2018. – Vol. 51, Iss. 1. – P. 9–21.
11. Pufahl, L. Design of an extensible BPMN process simulator / L. Pufahl, T. Y. Wong, M. Weske // Proceedings of the International Conference on Business Process Management : Business Process Management Workshops, BPM 2017 ; E. Teniente, M. Weidlich (Eds.). – Springer, 2017. – P. 782–795.
12. Peters, S. P. F. Quantitative effects of advanced resource constructs in business process simulation / S. P. F. Peters, R. M. Dijkman, P. W. P. J. Grefen // Proceedings of the 22nd International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), IEEE 2018, 16-19 October 2018. – Stockholm, Sweden, 2018. – P. 115–122.
13. Michelfelder, D. P. The Routledge Handbook of the Philosophy of Engineering / D. P. Michelfelder, N. Doorn. – New York : Routledge Handbooks Online, 2020. – 792 p. – URL : <https://doi.org/10.4324/9781315276502>.
14. Шинкарева, Г. Н. Модель инжиниринговой схемы организа- ции строительства в перспективе жизненного цикла объек- тов / Г. Н. Шинкарева // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, вып. 9 (120). – С. 1090–1105. – URL : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.9.1090-1105>.
15. Megashnee, M. Business process centric energy modelling / M. Megashnee, T. Arnes, F. Johannes // Business Process Management Journal. – 2018. – Vol. 25 (7). – P. 1867–1890. – URL : <https://doi.org/10.1108/BPMJ-08-2018-0217>.
16. Бразжник, А. Н. Имитационное моделирование: возможно- сти GPSS World / А. Н. Бразжник. – Санкт Петербург : Реноме, 2006. – 439 с.
17. Боровиков, В. П. Популярное введение в современный ана- лиз данных и машинное обучение на Statistica / В. П. Боро- виков. – Москва : StatSoft, 2018. – 354 с.
18. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложе- ние / В. Феллер. – Т. 1. – Москва : RUGRAM, 2013. – 511 с.
10. Foss, N. J. Business models and business model innovation: Between wicked and paradigmatic problems / N. J. Foss, T. Saebi // Long Range Plan. – 2018. – Vol. 51, Iss. 1. – P. 9–21.
11. Pufahl, L. Design of an extensible BPMN process simulator / L. Pufahl, T. Y. Wong, M. Weske // Proceedings of the Interna- tional Conference on Business Process Management : Busi- ness Process Management Workshops, BPM 2017 ; E. Teniente, M. Weidlich (Eds.). – Springer, 2017. – P. 782–795.
12. Peters, S. P. F. Quantitative effects of advanced resource con- structs in business process simulation / S. P. F. Peters, R. M. Di- jkman, P. W. P. J. Grefen // Proceedings of the 22nd Interna- tional Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), IEEE 2018, 16-19 October 2018. – Stockholm, Swe- den, 2018. – P. 115–122.
13. Michelfelder, D. P. The Routledge Handbook of the Philoso- phy of Engineering / D. P. Michelfelder, N. Doorn. – New York : Routledge Handbooks Online, 2020. – 792 p. – URL : <https://doi.org/10.4324/9781315276502>.
14. Shinkareva, G. N. Model' inzhiniringovoj skhemy organizatsii stroitel'stva v perspektive zhiznennogo tsikla ob'ektov [Model of the engineering scheme of the organization of construction in the perspective of the life cycle of objects] / G. N. Shinkare- va // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2018. – Vol. 13, Iss. 9 (120). – P. 1090–1105. – URL : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.9.1090-1105>.
15. Megashnee, M. Business process centric energy modelling / M. Megashnee, T. Arnes, F. Johannes // Business Process Man- agement Journal. – 2018. – Vol. 25 (7). – P. 1867–1890. – URL : <https://doi.org/10.1108/BPMJ-08-2018-0217>.
16. Brazhnik, A. N. Imitatsionnoe modelirovanie: vozmozhnosti GPSS World [Simulation modeling: the possibilities of GPSS World]. – St. Petersburg : Renome, 2006. – 439 p.
17. Borovikov, V. P. [Popular introduction to modern data analysis and machine learning on Statistica] / V. P. Borovikov. – Mos- cow: StatSoft, 2018. – 354 p.
18. Feller, V. Introduction to Probability Theory and its Applica- tion / V. Feller. – Vol. 1. – Moscow : RUGRAM, 2013. – 511 p.

УДК 69.05
DOI: 10.54950/26585340_2023_4_146
Прогнозирование параметров инвестиционно-строительного проекта с использованием интеллектуальной информационной системы

Forecasting the Parameters of an Investment and Construction Project using an Intelligent Information System

Маилян Лия Дмитриевна

Кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1

Mailyan Liya Dmitrievna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1

Зеленцов Леонид Борисович

Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, l.zelencov@yandex.ru

Zelentsov Leonid Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, l.zelencov@yandex.ru

Пирко Дмитрий Владимирович

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, dmitwl2000@gmail.com

Pirko Dmitry Vladimirovich

Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, dmitwl2000@gmail.com

Тузлуков Кирилл Владимирович

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, 2435170@mail.ru

Tuzlukov Kirill Vladimirovich

Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, 2435170@mail.ru

Свитенко Дмитрий Витальевич

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, Dmsvit@mail.ru

Svitlenko Dmitry Vitalevich

Graduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, Dmsvit@mail.ru

Аннотация. Цель. В статье рассматриваются проблемы принятия организационно-технологических решений при управлении инвестиционно-строительными проектами (ИСП) с использованием интеллектуальных систем управления строительством (ИСУ «Строительство»).

Методы. Актуальность исследования обусловлена тем, что в условиях экономической нестабильности в РФ у строительных организаций возникает необходимость повышения эффективности принимаемых организационно-технологических решений с целью снижения затрат в сфере производства.

Результаты. Внедрение ИСУ «Строительство» позволяет осуществить интеграцию двух самостоятельных направлений принятия управленческих решений при реализации ИСП, основанных на правилах и прецедентах, относящихся к методам ге-

нерации нового знания, что позволяет получить новый импульс в развитии интеллектуальных систем управления.

Выводы. Наибольший интерес использования предлагаемой методики, формализованной при разработке ИСУ «Строительство», представляет возможность накопления знаний о возможном поведении системы управления ИСП, что с большей вероятностью позволит прогнозировать принятие правильного решения в случае возникновения каких-либо ситуаций, ранее не встречавшихся или ранее не явно распознававшихся.

Ключевые слова: база знаний, прецедент, интеллектуальная система управления строительством, инвестиционно-строительный проект, управленческие решения, информационная технология.

tion, construction organizations need to increase the efficiency of organizational and technological decisions made in order to reduce costs in the production sector.

Results. The implementation of the Construction IMS allows for the integration of two independent areas of managerial decision-making in the implementation of ISP based on the rules and

precedents related to the methods of generating new knowledge, which allows you to get a new impetus in the development of intelligent control systems.

Conclusions. The greatest interest in using the proposed methodology, formalized in the development of the IMS «Construction», is the possibility of accumulating knowledge about the possible behavior of the ICP management system, which is more

Введение

На текущий момент строительный рынок Российской Федерации испытывает некоторые изменения. Спрос на строительную продукцию среди населения снижается, количество инвестиционно-строительных проектов федерального и регионального значения сокращается, что, в свою очередь, приводит к более жесткой конкуренции между подрядчиками при изъявлении желания получить заказы. В этих условиях участники рынка строительных услуг проявляют интерес к использованию методологии управления временем и стоимостью на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, что, в свою очередь, позволяет сократить затраты при выполнении работ.

Материалы и методы

Суть предлагаемой модели управления заключается в следующем: наши знания о объекте управления – интеллектуальная система управления – и о среде, в которой она функционирует, являются неопределенными. Мы знаем только, к какому классу состояний принадлежит объект. Нашей целью является достижение оптимального поведения объекта, которое представляется в виде последовательности определенных состояний. Необходимо найти алгоритм управления, который обеспечит достижение цели в конечное число управляющих воздействий [1].

В ДГТУ ведется работа по созданию интеллектуальной системы управления строительством (ИСУ «Строительство»), одной из отличительных особенностей которой от существующих на рынке программных продуктов является возможность моделирования принятия решений как по технологии дедуктивного моделирования, так и с использованием базы знаний, основанной на прецедентах.

В ИСУ «Строительство» реализована технология, обеспечивающая фиксацию информации, возникающей в процессе производства на строительной площадке, и передачу ее прорабом в электронном виде в центральный офис строительной организации в конце рабочего дня [2].

Агрегирование детальной информации о выполненных объемах работ, затратах труда, использовании строительных машин и механизмов и материальных ресурсов по конструктивным элементам создает информационную основу для организации системы управленческого учета и принятия обоснованных управленческих решений.

Следует различать процедуры принятия решения и соответствующие им показатели на стадии оперативного и тактического управления. Интервал обзора (планирования): на стадии оперативного управления это месяц, неделя, сутки, а на стадии тактического управления – это квартал, год [3].

На стадии оперативного управления в ИСУ «Строительство» используется экспертная система принятия решений, которая направлена на недопущение нарушений в заданном ритме производства работ, локализацию причин, приводящих к возникновению непроизводительных потерь на строительной площадке [4].

likely to make it possible to predict the adoption of the right decision in the event of any situations that have not previously been encountered or have not previously been encountered. clearly recognizable.

Keywords: knowledge base, precedent, intelligent construction management system, investment and construction project, management decisions, information technology.

Детальная ежедневная информация о затратах труда и выполненных объемах работ, зафиксированная в таблице и журнале производства работ, группируется по конструктивным элементам и по исполнителям – бригадам рабочих. После этого осуществляется детальный анализ использования рабочего времени и выполняется расчет показателей производительности труда, коэффициента использования рабочих на основных работах и прогнозируется продолжительность выполнения работ. Аналогичный анализ осуществляется и по использованию строительных машин и механизмов [5].

Общий баланс фактически затраченного рабочего времени Q_z^0 (1) (в соответствии с таблицами учета рабочего времени) за определенный период времени t_i по объекту z включает затраты на выполнение основных работ в соответствии с проектом q_z^{np} , вспомогательных работ q_z^e и непроизводительные потери U_z .

$$Q_z^0(t_i) = q_z^{np} + q_z^e + U_z. \quad (1)$$

При принятии управленческих решений следует руководствоваться следующими показателями [6].

Коэффициент производительного использования рабочего времени (2):

$$K_z^q(t_i) = \frac{q_z^{np}(t_i) + q_z^e(t_i)}{Q_z^0(t_i)}. \quad (2)$$

Коэффициент, характеризующий потери рабочего времени (3):

$$K_z^{q(П)}(t_i) = \frac{U_z(t_i)}{Q_z^0(t_i)}. \quad (3)$$

Коэффициент выполнения запланированной нормы выработки – отношение фактических затрат труда к планируемым по законченным конструктивным элементам (4):

$$p_{z,k}^q = \frac{Q_{z,k}^{nz}}{Q_{z,k}^\phi} \quad k \in K_z, \quad (4)$$

где $Q_{z,k}^{nz}$ – соответственно планируемые и фактические затраты труда по k конструктивному элементу [7].

Выработка в натуральном выражении по законченной совокупности однородных конструктивных элементов по объекту строительства:

$$P_{z,k}^q = \frac{V_{z,k}^\phi}{Q_{z,k}^\phi} \quad k \in K_z, \quad (5)$$

где $V_{z,k}^\phi$ – объем ведущей работы j вида работ k конструктивного элемента.

Понятие ведущей работы необходимо для правильного выбора единицы измерения выработки. Так, например, при возведении монолитных железобетонных конструктивных элементов ведущей работой при расчете выработки выступает бетонирование. При этом фактическая трудоемкость включает трудоемкость всех работ и

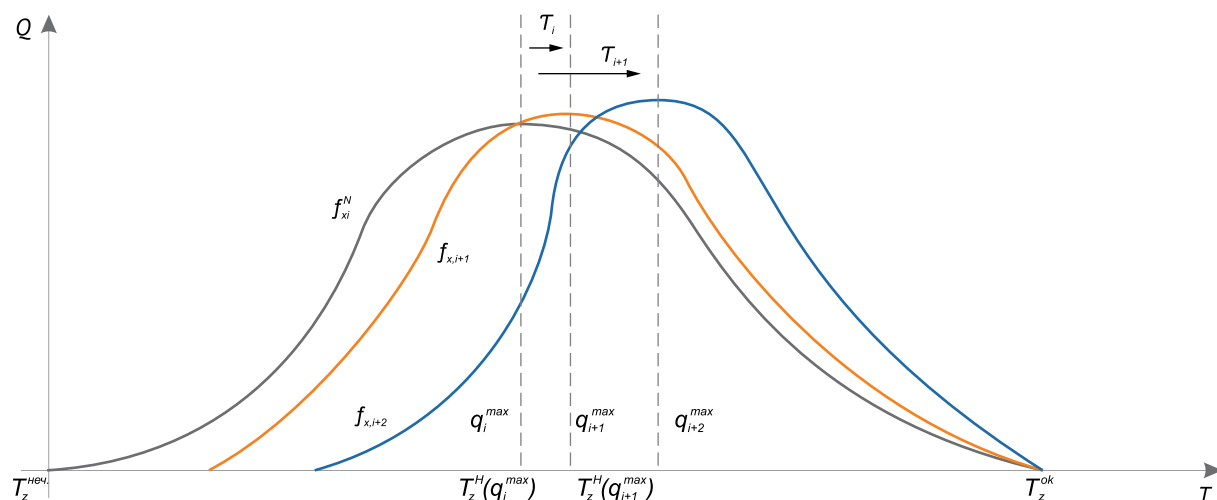


Рис. 1. Графики – эпюры потребности в трудовых ресурсах на различных временных интервалах строительства объекта: $f_{z,i}^N, f_{z,i+1}^N, f_{z,i+2}^N$

Fig. 1. Graphs – diagrams of the need for labor resources at various time intervals of the construction of the facility: $f_{z,i}^N, f_{z,i+1}^N, f_{z,i+2}^N$

процессов, выполняемых при создании рассматриваемого конструктивного элемента [8].

На тактическом уровне выработка и принятие управленческих решений в ИСУ «Строительство» осуществляется с использованием модели, позволяющей прогнозировать будущее состояние системы на основании макропоказателей и базы знаний – прецедентов.

База знаний предполагает накопление в систематизированном виде показателей, характеризующих в полном объеме вырабатываемые или уже принятые варианты управленческих решений [9].

Таковыми решениями на тактическом уровне управления ИСП могут быть изменения временных параметров выполнения отдельных работ или объекта строительства в целом за счет корректировки взаимосвязей работ (совмещения, запараллеливания), повышения или снижения интенсивности их выполнения. Каждому состоянию объекта строительства соответствует сетевая модель G , представляющая собой направленный граф, между работами (векторами) которого устанавливаются взаимосвязи, а по работам задаются характеристики: продолжительность, трудоемкость, интенсивность выполнения, потребность в ресурсах.

На стадии заключения контракта на строительство объекта z разрабатывается сетевая модель (G_z), которая задает организационно-технологическую нормаль, обеспечивающую строительство объекта в соответствии со сроками, зафиксированными в контракте, и на ее основе рассчитывается календарный план (КП). В процессе строительства параметры сетевой модели под воздействием различных факторов могут изменяться. Таким образом, каждому состоянию объекта строительства может соответствовать свой граф – сетевой график (6).

$$G_z(t_i) = \{G_z(t_i)_1 \rightarrow G_z(t_i)_2 \rightarrow G_z(t_i)_3 \rightarrow \dots \rightarrow G_z(t_i)_n\}, \quad (6)$$

где, $G_z(t_i)$ – вектор состояний объекта строительства в t_i момент времени дискретного интервала планирования.

На тактическом уровне управления ИСП база знаний представляет собой некоторое множество вариантов состояний системы на t_i интервалах планирования. В строительстве корректирующие управленческие решения, влияющие на сроки и себестоимость строительства, обычно принимаются в конце календарного месяца, поэтому в

качестве интервала планирования, на котором осуществляется оптимизация сетевой модели, нами принимается месяц.

База знаний состоит из множества вариантов организационно-технологических решений, отраженных в соответствующих сетевых графиках $G_z(t_i)$, и системы показателей, характеризующих состояние ИСП на t_i интервалах планирования.

В процессе принятия решения сначала, для анализа состояния ИСП, используется сетевая модель $G_z(t_i)_\phi$, откорректированная на основании фактической информации о ходе работ. По результатам анализа временных параметров КП и значений показателей эффективности ИСП принимается решение о внесении или нет корректирующих воздействий в сетевую модель с целью приведения ее к заданному сроку строительства. Если изменения в сетевой график необходимо внести, то в базу знаний заносится новый – оптимизированный – сетевой график $G_z(t_i)_{on}$ и соответствующие ему показатели эффективности ИСП.

Таким образом, в базу знаний на t_i интервале планирования заносятся показатели, характеризующие ИСП до и после оптимизации сетевого графика $G_z(t_i)_\phi$.

При оценке варианта состояния z объекта используются следующие интегрированные показатели, рассчитываемые на i день строительства:

- отклонение фактического срока строительства от планового ΔT_i ;
- отклонение фактической себестоимости от плановой по законченным конструктивным элементам в стоимостном $\Delta S_z(t_i)$ и относительном выражениях в %.

При возникновении значительных отклонений интегрированных показателей от базовых значений, рассчитанных на начало строительства объекта, у руководителя проекта существует дилемма: либо нарушить контрактный срок строительства и попасть на имиджевые и финансовые потери, или не менять срок строительства при прогнозируемом увеличении фактической себестоимости строительства.

Результаты

В процессе оптимизации временных параметров сетевой модели осуществляется сдвигка и запараллеливание работ, попадающих на критический путь. В этом случае

происходит концентрация трудовых ресурсов и строительных машин на конечной стадии строительства, что приводит к одновременному выполнению нескольких работ на одном пространственном участке (фронте работ). Такой режим работы может привести к нарушениям в технологии производства работ, к возникновению потерь рабочего времени, снижению качества работ – и все это будет способствовать росту издержек [10].

В этой ситуации нами для принятия обоснованных организационно-технологических решений предлагается использовать дополнительно два взаимосвязанных макропоказателя, характеризующие наиболее полно состояние строительства: коэффициент неравномерности использования рабочих $K_z^q(t_i)$ и величину τ_i – смещение «седловины» эпюры, соответствующей максимальному значению потребности в трудовых ресурсах в i день строительства относительно исходного – базового состояния, соответствующего началу строительства (рисунок 1).

Обсуждение

Коэффициент неравномерности использования рабочих – это отношение максимального значения трудоемкости в i день строительства к средней трудоемкости в сутки:

$$K_z^q(t_i) = \frac{\max q_{k,i}^{nn}}{\bar{E}_i}, \quad (7)$$

где $\max q_{k,i}^{nn}$ – максимальная трудоемкость работ в i день строительства;

$\bar{E}_i$ – средняя трудоемкость на i день строительства.

$$\bar{E}_{z,i} = \frac{Q_{z,i}}{T_{z,i}} \quad k \in K_i, \quad (8)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2018), Rome, Italy, 2018. – 2018. – P.141–146.
2. The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia / I. Othman, Y. Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y. H. M. Amran, M. A. M. Al-Bared. – DOI 10.1016/j.asej.2020.04.007 // Ain Shams Engineering Journal. – Vol. 12, Iss. 1. – 2021. – P. 455–463.
3. Amin, K. F. Building Information Modelling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda. – DOI 10.21315/jcdc2019.24.2.2 // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 23–61.
4. The organizational-technological decisions acceptance support system in the investment and construction projects management / L. B. Zelentsov, L. D. Mayilyan, N. G. Hakobyan, D. V. Pirko. – DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077052 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 7. – P. 077052.
5. Zelentsov, L. B. Organizational and technological simulation of the construction organization activity in the complex

REFERENCES

1. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2018), Rome, Italy, 2018. – 2018. – P. 141–146.
2. The level of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Malaysia / I. Othman, Y. Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y. H. M. Amran, M. A. M. Al-Bared. – DOI 10.1016/j.asej.2020.04.007 // Ain Shams Engineering Journal. – Vol. 12,

где $Q_{z,i}$ – совокупная трудоемкость работ по незаконченным конструктивным элементам на i день строительства по z объекту;

$T_{z,i}$ – остаточная продолжительность на i день строительства z объекта.

Смещение «седловины» эпюры τ_i рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau_i = T_z^H(q_i^{\max}) - T_z(q_{i+1}^{\max}), \quad (9)$$

где $T_z^H(q_i^{\max})$, $T_z(q_{i+1}^{\max})$ – координаты точек максимальной потребности в трудовых ресурсах соответственно на начало строительства и в $i+1$ день строительства.

Координаты точек определяются не от срока начала строительства, а от срока окончания строительства объекта, заданного в соответствии с контрактом.

Заключение

Интеграция двух независимых направлений, оперирующих правилами и прецедентами в области генерации новых знаний и их применения в управлении интеллектуальными системами в строительстве, подталкивает нас к реальной возможности вывести эту сферу на новый уровень развития. Оптимальное использование предлагаемой методики, сформированной при создании ИСУ «Строительство», состоит в способности сохранять информацию о потенциальных сценариях работы системы управления искусственного интеллекта. Это делает возможным более точную прогнозируемость правильных решений в неизвестных или прежде неизвестно распознаваемых ситуациях. Особой привлекательностью этого подхода является также способность сохранять внешнюю базу данных о ситуациях (прецедентах) и использовать ее другими объектами, подключенными к этой же базе.

- infrastructure projects implementation / L. B. Zelentsov, L. D. Mayilyan, M. S. Shogenov. – DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077048 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 7. – P. 077048.
6. Создание адаптивной модели управления строительным проектированием / Л. Б. Зеленцов, Д. В. Пирко, И. Г. Трипут, М. С. Шогенов, Н. Г. Аюпян. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_100 // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 100–103.
7. Интеграция смет и BIM-проектов / Л. Б. Зеленцов, Я. А. Кокарева, Н. Г. Аюпян, Д. В. Пирко. – DOI 10.54950/26585340_2020_2_29 // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 29–34.
8. Зеленцов, Л. Б. Прогнозирование временных и стоимостных параметров при управлении инвестиционно-строительными проектами / Л. Б. Зеленцов, М. С. Шогенов, Д. В. Пирко. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_41 // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 41–45.
9. Федоров, А. А. Анализ стратегий внедрения информационного моделирования в лидирующих странах // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 4. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5926.
10. Талапов, В. В. Внедрение BIM в Сингапуре: впечатляющий опыт / САПР и Графика. – 2016. – № 1 (6). – С. 60–63.

Iss. 1. – 2021. – P. 455–463.

3. Amin, K. F. Building Information Modeling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda. – DOI 10.21315/jcdc2019.24.2.2 // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 23–61.
4. The organizational-technological decisions acceptance support system in the investment and construction projects management / L. B. Zelentsov, L. D. Mayilyan, N. G. Hakobyan,

- D. V. Pirko. – DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077052 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 7. – P. 077052.
5. Zelentsov, L. B. Organizational and technological simulations of the construction organization activity in the complex infrastructure projects implementation / L. B. Zelentsov, L. D. Mayilyan, M. S. Shogenov. – DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077048 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Iss. 7. – P. 077048.
 6. Sozдание adaptivnoy modeli upravleniya stroitel'nykh proektirovaniem [Creation of an adaptive model for building design management] / L. B. Zelentsov, D. V. Pirko, I. G. Triputa, M. S. Shogenov, N. G. Hakobyan. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_100 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – № 1. – P. 100–103.
 7. Integratsiya smet i BIM-proektov [Integration of estimates and BIM-projects] / L. B. Zelentsov, Ya. A. Kokareva, N. G. Akopyan, D. V. Pirko. – DOI 10.54950/26585340_2020_2_29 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – No. 2. – P. 29–34.
 8. Zelentsov, L. B. Prognozirovaniye vremennykh i stoimostnykh parametrov pri upravlenii investitsionno-stroitel'nykh proektami [Forecasting of time and cost parameters in the management of investment and construction projects] / L. B. Zelentsov, M. S. Shogenov, D. V. Pirko. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_41 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – No. 3. – P. 41–45.
 9. Fedorov, A. A. Analiz strategiy vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya v lidiruyushhikh stranakh [Analysis of information modeling implementation strategies in leading countries] / A. A. Fedorov // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2019. – № 4. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2019/5926.
 10. Talapov, V. V. Vnedreniye BIM v Singapore: vpechatlyayushhiy opyt [Implementing BIM in Singapore: An Impressive Experience] / SAPR i Grafika [CAD and Graphics]. – 2016. – № 1 (6). – P. 60–63.

УДК 69.007: 331.101.6

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_150

Концептуальная схема управления крупномасштабными инвестиционно-строительными проектами в условиях цифровизации строительства

Conceptual Scheme for Managing Large-Scale Investment and Construction Projects in the Context of Digitalization of Construction

Опарина Людмила Анатольевна

Доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Организация производства и городское хозяйство», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, la.oparina@gmail.com

Oparina Lyudmila Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Production Organization and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, la.oparina@gmail.com

Гриднева Ярослава Александровна

Соискатель ученой степени, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21, yaroslava.la1@gmail.com

Gridneva Yaroslava Alexandrovna

Candidate for a scientific degree at the Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21, yaroslava.la1@gmail.com

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена системотехническим характером проблем, возникающих при использовании современных компьютерных информационных систем в организационном управлении крупномасштабными строительными проектами на протяжении жизненного цикла. Динамику развития данной предметной области отражает интенсивность принятия соответствующих нормативно-правовых актов федерального уровня, имеющих для участников строительства обязательный характер. Установлено, что, несмотря на множество программных продуктов, строительная отрасль в целом не имеет единой информационной (цифровой) платформы для эффективного использования мощных современных технических, математических и логических средств. Целью исследования является концептуальное осмысление предметной области информатизации управления крупномасштабным строительством в соответствии с трендом современного информационно-технологического развития. В качестве рабочей гипотезы принято предположение о возможности и необходимости концептуализации информатизации управления крупномасштабным строительством, выходящей на границу

своего качественного роста. Используется концептуальный метод С. П. Никанорова. Осуществлено выделение исследуемой предметной области, включающей в себя технологии информационного моделирования бизнес-процессов на всех стадиях жизненного цикла, а также логику и инструментарий управления проектами крупномасштабного строительства. Полученный в ходе исследования результат способствует дальнейшей разработке исследуемой темы, позволяющей перейти от информационного моделирования крупномасштабного строительного проекта на отдельных этапах его жизненного цикла к идее управления полным жизненным циклом крупномасштабного строительного проекта. Результаты исследования могут быть использованы при разработке единой цифровой платформы для системы организационного управления данной предметной областью.

Ключевые слова: информатизация управления, цифровизация, технология информационного моделирования, жизненный цикл крупномасштабного строительного проекта, управление проектами, концептуализация исследуемой предметной области, интегрирующая цифровая платформа.

Abstract. The relevance of the study is due to the system-technical nature of the problems that arise when using modern computer information systems in the organizational management of large-scale construction projects throughout the life cycle. The dynamics of the development of this subject area reflects the intensity of the adoption of relevant regulatory legal acts at the federal level which are mandatory for construction participants. It is established that, despite the multitude of software products, the construction industry as a whole does not have a single information (digital) platform for the effective use of powerful modern technical, mathematical and logical tools. The purpose of the study is to conceptually understand the subject area of informatization of large-scale construction management in accordance with the trend of modern information technology development. As a working hypothesis, we accepted the assumption that it is possible and necessary to conceptualize the informatization of large-scale construction management, which is reaching the border of its quali-

Введение

Стратегической базой эффективной деятельности организаций строительной отрасли является внедрение цифровых технологий [1]. Актуальность и динамику развития данной предметной области отражает интенсивность принятия соответствующих нормативно-правовых актов: с 2004 года в области технологий информационного моделирования (ТИМ) введено в действие 6 постановлений Правительства, 3 распоряжения Правительства, 6 приказов Минстроя РФ, 14 ГОСТов и 12 сводов правил. С 1 января 2022 года соответствующие участники строительства обязаны обеспечить формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства (ИМ ОКС), финансируемого с привлечением средств разных уровней бюджетной системы РФ. Требования к элементам информационной модели (в частности, ряд XML-схем, Глоссарий технологий информационного моделирования, классификатор строительной информации) утверждены и размещены на официальном сайте Минстроя России.

В настоящее время информатизация процессов управления инвестиционно-строительными проектами развивается очень активно. Информатизация – это применение информационных технологий для формирования и использования информационных ресурсов, электронного документооборота [2].

Внедрение в отечественную строительную практику информационного моделирования начало осуществляться с начала 2000-х годов с появлением BIM (Building Information Modeling) – технологии трехмерного моделирования, которая постепенно охватила все этапы жизненного цикла, трансформируясь в отечественной практике в ТИМ [3–10]. При этом происходили процессы информатизации процессов организации и управления инвестиционно-строительными проектами, а для каждой стадии жизненного цикла строительных объектов было разработано и внедрено соответствующее программное обеспечение (таблица 1).

Процессы цифровизации, внедрения технологий информационного моделирования ставят актуальные научные задачи разработки новых методов организации взаимодействия между участниками строительных проектов и управления строительством в целом. Особенно это касается крупномасштабных строительных проектов, характеризующихся сложностью организационной схемы, наличием множества участников, сложностью взаи-

мативного роста. The conceptual method of S. P. Nikanorov is used. The selection of the subject area under study is carried out, which includes technologies for information modeling of business processes at all stages of the life cycle, as well as logic and tools for managing large-scale construction projects. The result obtained during the study contributes to further conceptual development of the topic under study, which allows us to move from information modeling of a large-scale construction project at individual stages of its life cycle to the idea of managing the full life cycle of a large-scale construction project. The results of the study can be used in the development of a unified digital platform for the organizational management system of this subject area.

Keywords: management informatization, digitalization, information modeling technology, life cycle of a large-scale construction project, project management, conceptualization of the subject area study, integrating digital platform.

мосьеязей между ними, использованием ими различных программных комплексов.

Несмотря на достаточное количество уже имеющихся программных продуктов для моделирования различных стадий и уровней детализации жизненного цикла строительных объектов, представленных в таблице 1, строительная отрасль в целом в настоящее время не имеет единой информационной (цифровой) платформы для эффективного использования мощных современных технических, математических и логических средств, особенно для управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении полного жизненного цикла.

Разрабатываемая Минстроем России система единых цифровых решений в виде информационной системы управления проектами государственного заказчика (ИСУП) в настоящее время находится в стадии становления и практически не затрагивает вопросы цифровой трансформации бизнес-процессов и информатизации процессов управления проектами, особенно крупномасштабными. Действующая редакция ТИМ с точки зрения конечного результата, возможно, не имеет пока существенных технических преимуществ перед локальным ПО (архитектурным проектированием, строительным проектированием и т. п.).

Также всё ещё имеет место недостаточная координация между участниками проекта, а применение технологий информационного моделирования требует от участников проекта более тесного сотрудничества и координации. Если участники проекта не сотрудничают правильно, это может привести к ошибкам, коллизиям, задержке сроков проектирования и строительства и т. д., что негативно отразится на управлении жизненным циклом строительного объекта в целом.

Практически неразработанными остаются вопросы управления крупномасштабными строительными проектами, учитывающими цифровую трансформацию, обусловленную перестройкой бизнес-процессов, распределенным характером работы проектных команд, появлением новых требований к формату представления данных проектной документации для госэкспертизы, что определило актуальность данной темы исследования.

Материалы и методы

В качестве методов исследования авторами приняты системный подход, закон необходимого разнообразия У. Р. Эшби, концептуальное научно-техническое направление С. П. Никанорова, принципы системотехники стро-

Этап жизненного цикла	Программное обеспечение
Обоснование инвестиций	Project Expert, Альт-Инвест, ТЭО-Инвест, ABC-смета, Smeta WIZARD
Инженерные изыскания	Система ПИР, АРМ геолога
Архитектурно-строительное и организационно-технологическое проектирование	Microsoft Project, Primavera, продукты CAD, Model Studio CS, КОМПАС-3D, Renga, Revit, PLAN-R
Строительство	МТСК-13, Гектор-строитель, Spider Project, ПЛАН 2000 Управление проектными работами, 1С: Подрядчик строительства 3.0 «Управление строительным производством», Алтиус – Управление строительством, СМИС Эксперт, FARO BuildIT, SINCHRO
Консервация	1С: Бухгалтерия 8, СМИС Эксперт
Эксплуатация	СМИС Эксперт, Облачный сервис БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО 365, Элит – строительство 8, Управление строительными проектами, Renga Architecture
Текущий ремонт	IBS EAM, КТЦ-расчёт, СМИС Эксперт
Реконструкция	Adobe Photoshop, Corel Draw, AutoCAD или Autodesk 3D Max, Deep Exploration CAD, 3D Photo Browser, 3D Object Converter, PHOTOMOD 5, PHOTOMOD 5 GeoMosaic, MapEDIT PRO, Autodesk 123D Catch, AR/VR, СМИС Эксперт
Модернизация	РобоТОиР, openMAINT, ReClouds
Капитальный ремонт	1С: Бухгалтерия 8, 1С: Бухгалтерия 8 КОРП, ReClouds
Реставрация	Adobe Photoshop, Corel Draw, AutoCAD или Autodesk 3D Max, Deep Exploration CAD, 3D Photo Browser, 3D Object Converter, PHOTOMOD 5, PHOTOMOD 5 GeoMosaic, MapEDIT PRO, Autodesk 123D Catch, AR/VR, СМИС Эксперт
Вывод из эксплуатации	1С: Бухгалтерия 8
Снос и утилизация объекта	СМИС Эксперт

Табл. 1. Используемое ПО на различных стадиях (этапах) жизненного цикла
Tab. 1. Used software at various stages (stages) of the life cycle

ительства А. А. Гусакова, тензорная методология проектирования устойчивого развития П. Г. Кузнецова. Выбор данных методов обусловлен целью и задачами исследования – построить концептуальную систему управления крупномасштабными инвестиционно-строительными проектами в условиях цифровизации строительства.

Крупномасштабное строительство характеризуется большим количеством участников, ресурсов, материальных, информационных и финансовых потоков и, соответственно, сложностью управления. Рассматривая крупномасштабное строительство с позиций системотехники, А. А. Лапидус определяет его как сложную динамическую целенаправленную организационно-технологическую систему, состоящую из последовательных и взаимообуславливающих производственных этапов.

Согласно кибернетическому закону необходимого разнообразия У. Р. Эшби, разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия управляемого объекта. На практике это означает, что чем сложнее объект управления, тем сложнее должен быть и орган, который им управляет. Несоблюдение этого закона неизбежно приводит к построению редуцированной системы организационного управления любой предметной областью. Суть редукции управления заключается в сознательном упрощении реально создаваемой системы управления, вызванном невозможностью спроектировать сложную систему (в силу разных причин объективного или субъективного порядка). Результатом редукции управления является сведение развития предметной области к простому количественному росту произвольных выбранных показателей. Система управления перестает отвечать вызовам внешней среды и становится малоэффективной.

Ответом на проблемы создания и использования компьютерных информационных систем в организационном управлении явилось концептуальное научно-техническое направление С. П. Никанорова. Идея концептуальных методов была (и остается) оригинальной и заключается

в том, что крупномасштабные, сложные, динамично меняющиеся объекты полностью определяются операционально интерпретированными понятийными системами, описывающими предметные области организационного управления такими объектами. В рамках концептуальной методологии сложившаяся в нашей стране ситуация с информатизацией строительной отрасли квалифицируется как качественная слабосвязанная (слабоструктурированная) проблема, выходящая на границу своего качественного роста. Выделение и концептуализация исследуемой предметной области является основной операцией, предваряющей проектирование соответствующей системы организационного управления [11; 12].

Концептуальное требование полноты исходного описания исследуемой предметной области предполагает учет логики и инструментария управления проектами, которое в контексте настоящего исследования понимается как понятийный аппарат междисциплинарной коммуникации принимающих решения лиц в процессе реализации сложных крупномасштабных проектов строительства. В Российской Федерации проектная деятельность регулируется на федеральном уровне.

В международной практике управление проектами определяется как «общее планирование, координация и контроль реализации проекта от его начала и до завершения с целью удовлетворения требований заказчика и обеспечения осуществимости проекта с функциональной и экономической точек зрения, а также завершения строительства в заданный срок, в рамках утвержденной сметы и в соответствии с установленными стандартами качества» [13; 14; 15]. Полнота, логическая корректность и точность понятийного аппарата «Свода правил управления проектами строительства и развития» РМВоК 7 позволяет использовать его в качестве унифицированной системы базовых понятий в области управления любыми строительными проектами. По мнению авторов, в отечественной практике проектирования и строительства назрела

необходимость аналогичной разработки отечественного программного продукта для использования в РФ в рамках процессов импортозамещения.

Результаты

Концептуальная схема исследуемой предметной области изображена в виде ER-диаграммы (ERD – Entity-Relationship Diagram), отображающей сущности, атрибуты и связи изучаемого объекта. В качестве теоретико-системного конструкта выбрано представление о динамической целенаправленной системе.

В предлагаемой схеме жизненный цикл понимается как единый непрерывный многоэтапный технологический процесс, направленный на решение проектных за-

дач строительства в установленные сроки с соблюдением необходимых требований (в частности, требований энергетической эффективности). Осуществлено графическое изображение основных сущностей (S1, S2, S3) и их атрибутов, а также определяющих связей между ними. Такая форма представления, в частности, позволяет создать базу данных для интегрирующей цифровой платформы (ИЦП) (S3), которая представляет из себя синтез информационных структур ТИМ (BIM) (S1) и РМВоК (S2). В результате такого синтеза в полученной интегрирующей структуре появляется возможность выводить производные понятия (термы) и формулировать утверждения, недоступные в исходных синтезируемых информационных

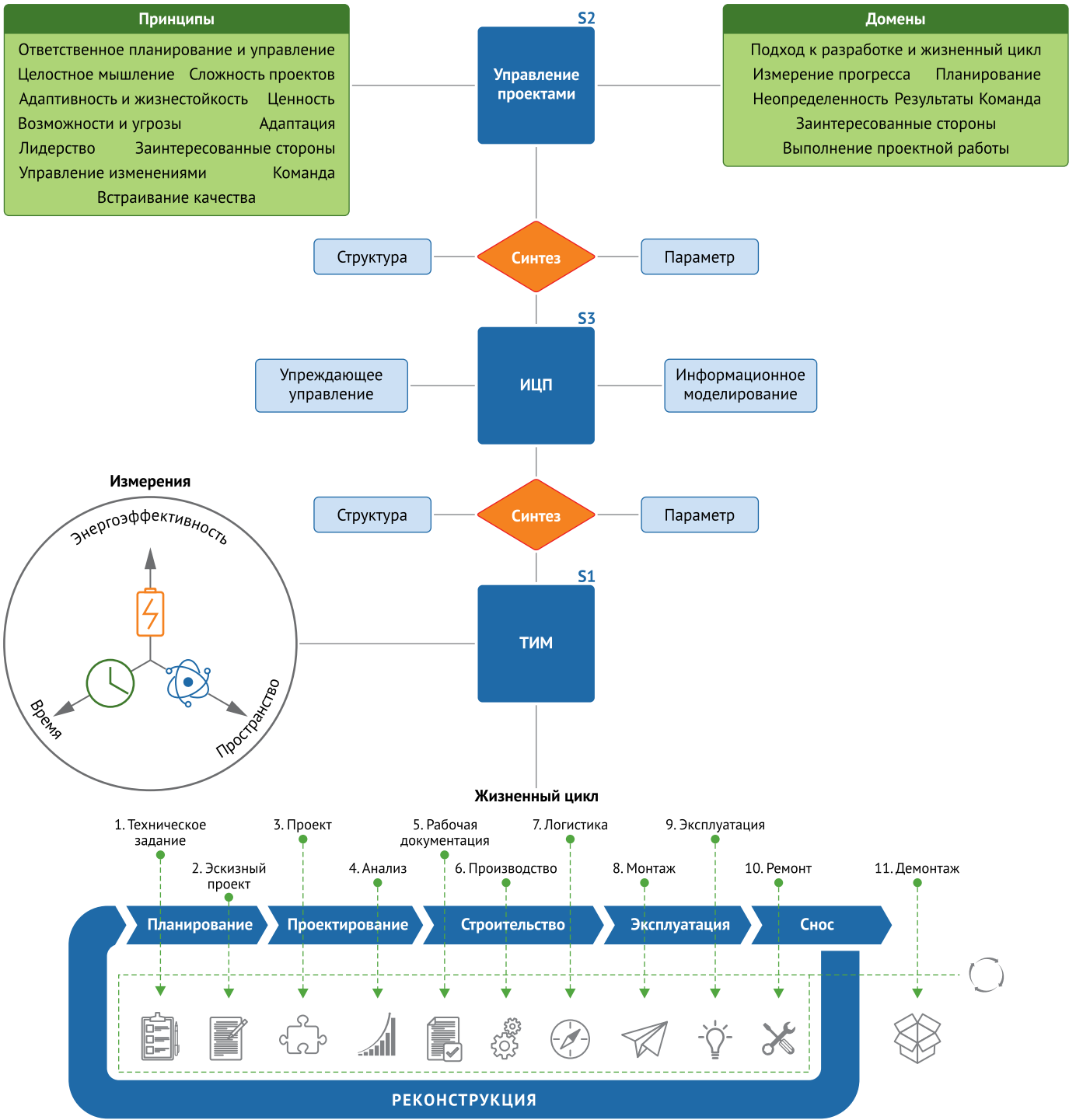


Рис. 1. Концептуальная схема управления крупномасштабными инвестиционно-строительными проектами в условиях цифровизации строительства
Fig. 1. Conceptual scheme for managing large-scale investment and construction projects in the context of digitalization of construction

структурах. Таким образом, разнообразие управляющей системы будет заведомо превышать разнообразие управляемого объекта (рисунок 1).

Обсуждение

Из представленной схемы следует, что концептуализация исследуемой предметной области является необходимой и возможной, способствующей переходу от информационного моделирования отдельных бизнес-процессов жизненного цикла к управлению собственно жизненным циклом любого строительного проекта на базе единой цифровой платформы, позволяющей преодолеть функциональную и алгоритмическую ограниченность используемого множества программных продуктов и решить не решенную до сих пор проблему их системной интеграции.

Предложенная авторами концептуальная система управления крупномасштабными инвестиционно-стро-

ительными проектами представляет собой целостное человеко-машинное образование, детерминирующее формирование новых организационно-правовых форм управления, существенно отличающихся от традиционных форм отраслевого администрирования, которые игнорируют экологическую, социальную и прогрессивную составляющие современного мира.

Заключение

В силу того, что все современные проблемы крупномасштабного строительства являются сугубо системотехническими проблемами, – обретенные информационные возможности могут послужить определяющим фактором формирования новой парадигмы строительной деятельности, основным содержанием которой станет упреждающее управление будущими улучшающими системными изменениями реализуемых проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – Вып. 4 (85). – С. 305–313.

2. Большая Российская энциклопедия 2014–2017 : [электронный ресурс]. – URL: https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/2015729 (дата обращения: 09.12.2023).

3. Барабаш, М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства : монография / М. С. Барабаш. – Киев : Издательство Сталь, 2014. – 301 с.

4. Лapidус, А. А. Информационное моделирование зданий как фактор риска проекта / А. А. Лapidус, О. Д. Чапидзе, В. С. Ратомская // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 80–87.

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

6. Лобырева, Я. А. Логико-методологический анализ «Технологии информационного моделирования зданий BIM» / Я. А. Лобырева // Сборник научных трудов кафедры ИСТАС НИУ МГСУ. – 2015. – С. 114–117.

7. Овчинников, А. А. Методические основы формирования организационно-управленческой модели деятельности заказчика при реализации крупномасштабного инвестиционно-строительного проекта / А. А. Овчинников, А. А. Лapidус //

REFERENCES

1. Sistema upravleniya zhiznennym tsiklom ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva s ispol'zovaniem tsifrovyykh tekhnologiy [Life cycle management system for capital construction projects using digital technologies] / S. G. Abramyan, O. V. Burlachenko, O. V. Oganessian, A. O. Burlachenko // 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]. – 2021. – Iss. 4 (85). – P. 305–313.

2. Bol'shaya Rossiyskaya ehntsiklopediya 2014–2017 [Great Russian Encyclopedia 2014–2017] : [Electronic resource]. – URL: https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/2015729 (Access date: 12/09/2023).

3. Barabash, M. S. Komp'yuternoe modelirovanie protsessov zhiznennogo tsikla ob'ektov stroitel'stva : monografiya [Computer modeling of the life cycle processes of construction objects : monograph] / M. S. Barabash. – Kiev : Izdatel'stvo Stal', 2014. – 301 p.

4. Lapidus, A. A. Informatsionnoe modelirovanie zdaniy kak faktor riska proekta [Information modeling of buildings as a risk

Строительное производство. – 2021. – № 1. – С. 2–6.

8. Опарина, Л. А. Развитие технологий моделирования жизненного цикла зданий / Л. А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 12. – С. 45–46.

9. BIM for intelligent buildings / G. E. Okolnikova, R. A. A. Al-Sahlany, A. S. Al-Khuzai, G. G. K. Al-Shammari // Системные технологии. – 2022. – № 1 (42). – P. 41–46.

10. Honnappa, D. BIM-based framework to quantify delays and cost overruns due to changes in construction projects / D. Honnappa, S. P. S. Padala. – DOI <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00451-x> // Asian Journal of Civil Engineering. – 2022. – № 23. – P. 707–725.

11. Иванов, А. Ю. Справочник по теоретико-системным конструктам / А. Ю. Иванов, С. П. Никаноров, Ю. Р. Гараева. – Москва : Концепт, 2008. – 314 с.

12. Никаноров, С. П. Концептуализация предметных областей / С. П. Никаноров. – Москва : Концепт, 2009. – 268 с.

13. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) : The Standard for Project Management / Project Management Institute, Inc. – Seventh Edition. – Chicago, USA : Independent Publishers Group, 2021. – 370 p.

14. Morris, P. W. G. Managing the Institutional Context for Projects / P. W. G. Morris, J. Geraldi // Project Management Journal. – 2011. – № 42 (6). – P. 20–32.

15. Obradovića, V. Rethinking Project Management – Did We Miss Marketing Management? / V. Obradovića, K. S. Cicvarić, Z. Mitrovića // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2016. – № 226. – P. 390–397.

factor for a project] / A. A. Lapidus, O. D. Chapidze, V. S. Ratoms-kaya // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2022 – № 1. – P. 2–6.

5. Lapidus, A. A. Formirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh platform v stroitel'stve [Formation of organizational and technological platforms in construction] / A. A. Lapidus // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2023 – № 3. – P. 80–87.

6. Lobyreva, Ya. A. Logiko-metodologicheskij analiz «Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdaniy BIM» [Logical and methodological analysis of «Building information modeling technologies BIM»] / Ya. A. Lobyreva // Sbornik nayhnykh trudov kafedry ISTAS NIY MGSU [Collection of scientific papers of the ISTAS Department of the National Research University of MGSU]. – 2015. – P. 114–117.

7. Ovchinnikov, A. A. Metodicheskie osnovy formirovaniya organizatsionno-upravlencheskoj modeli deyatel'nosti zakazchika pri realizatsii krupnomasshtabnogo investitsionno-stroitel'nogo proekta [Methodological basis for the formation of an organizational and managerial model of the customer's activities during the implementation of a large-scale investment and construction project] / A. A. Ovchinnikov, A. A. Lapi-

dus // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2021. – № 1. – P. 2–6.

8. Oparina, L. A. Razvitie tekhnologiy modelirovaniya zhiznennogo tsikla zdaniy [Development of technologies for modeling the life cycle of buildings] / L. A. Oparina // Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2011. – № 12. – P. 45–46.

9. BIM for intelligent buildings / G. E. Okolnikova, R. A. A. Al-Sahlany, A. S. Al-Khuzai, G. G. K. Al-Shammari // Системные технологии. – 2022. – № 1 (42). – P. 41–46.

10. Honnappa, D. BIM-based framework to quantify delays and cost overruns due to changes in construction projects / D. Honnappa, S. P. S. Padala. – DOI <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00451-x> // Asian Journal of Civil Engineering. – 2022. – № 23. – P. 707–725.

11. Ivanov, A. U. Spravochnik po teoretiko-sistemnym konstruk-tam [Handbook of system-theoretic constructs] / A. Yu. Ivanov,

УДК 69

Выявление факторов и негативных последствий на этапах реализации капитального ремонта многоквартирных домов

Identification of Factors and Negative Consequences at the Stages of Implementation of Capital Repairs of Apartment Buildings

Кузьмина Татьяна Константиновна

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, kyzmina_tk@mail.ru

Kuzmina Tatiana Konstantinovna

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, Yaroslavskoe shosse, 26, kyzmina_tk@mail.ru

Абрегов Мухажир Альбертович

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

Abregov Mukhazhir Albertovich

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, Yaroslavskoe shosse, 26, m-abregov@bk.ru

Бабушкина Диана Дмитриевна

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

Babushkina Diana Dmitrievna

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

Федоров Сергей Владимирович

Студент, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), Россия, 119454, Москва, проспект Вернадского, 78, nikexd2003@mail.ru

Fedorov Sergey Vladimirovich

Student of the MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Russia, 119454, Moscow, prospekt Vernadskogo, 78, nikexd2003@mail.ru

Аннотация. Одним из инструментов повышения качества жизни населения страны является реализация капитального ремонта многоквартирных домов. Однако на все этапы реализации капитального ремонта воздействуют внешние факторы, оказывающие влияние на качество, сроки производства работ

капитального ремонта и рациональность расходования средств (далее – факторы). Целью исследования является выявление и комплексный анализ факторов с учетом специфики капитального ремонта. Исследование охватывает различные аспекты на каждом этапе реализации капитального ремонта: подготовка

и проведение аукциона; обследование и планирование работ; приемка и завершение работ. В качестве метода исследования применяется системный анализ практического опыта при реализации капитального ремонта. В статье также подробно изучаются факторы, влияющие на процесс выполнения работ, включая взаимодействие с жильцами, доступность нежилых помещений и условия для размещения материалов. Особое внимание уделено вопросам сдачи и приемки работ, среди которых выделены некомпетентность жильцов, отсутствие опыта у технического надзора и отсутствие четкого регламента при-

Abstract. One of the tools to improve the quality of life of the country's population is the implementation of major renovations of apartment buildings. However, all stages of the implementation of capital repairs are affected by external factors that influence the quality, timing of capital repairs and the rationality of spending funds (hereinafter referred to as factors). The purpose of the study is to identify and comprehensively analyze factors taking into account the specifics of major repairs. The study covers various aspects at each stage of the implementation of capital repairs: preparation and conduct of the auction; survey and work planning; acceptance and completion of work. A systematic analysis of practical experience in the implementation of major repairs is used as a research method. The article also examines in detail the factors influencing the work process, including in-

Введение
Капитальный ремонт многоквартирных домов представляет собой одну из актуальных социальных проблем населения. Возникающие сложности на этапах реализации капитального ремонта оказывают влияние не только на сферу интересов подрядных организаций и управляющих структур, но и на благополучие резидентов данных объектов [1]. Поэтому цель данной работы заключается в выявлении и анализе факторов, оказывающих влияние на проведение капитального ремонта многоквартирных домов, для дальнейшего поиска способов предотвращения их возникновения.

Актуальность данного исследования обусловлена существенной социальной значимостью капитального ремонта как способа повышения качества жизни в городских условиях, а также наличием ряда проблем, которые возникают на различных этапах этого процесса [2]. Результаты этой работы могут быть применены на практике для улучшения организации и проведения ремонтных работ многоквартирных домов.

Новизна работы заключается в комплексном анализе факторов, влияющих на процесс капитального ремонта, включая стадии аукциона, выполнения работ и этап приемки. В то время как большинство существующих исследований сосредоточивается на отдельных аспектах этого процесса [3–5], наша работа предлагает общий взгляд на проблему, объединяя различные факторы в единую систему.

емки выполненных работ. Выявление и комплексный анализ факторов и возможных негативных последствий позволит пересмотреть процедуру реализации капитального ремонта, повысить эффективность принятых организационно-технологических решений, обеспечить качественное выполнение капитального ремонта в установленные сроки и рациональное использование средств.

Ключевые слова: капитальный ремонт, многоквартирные дома, факторы, качество работ, сроки реализации, техническое обследование, приемка работ.

teraction with residents, accessibility of non-residential premises and conditions for placing materials. Particular attention is paid to the issues of delivery and acceptance of work, among which the incompetence of residents, the lack of experience of technical supervision and the lack of clear regulations for the acceptance of completed work are highlighted. Identification and comprehensive analysis of factors and possible negative consequences will make it possible to revise the procedure for implementing major repairs, increase the efficiency of organizational and technological decisions taken, ensure high-quality implementation of major repairs on time and rational use of funds.

Keywords: overhaul, apartment buildings, factors of influence, quality of work, technical inspection, acceptance of work.

В рамках данного исследования мы предполагаем, что успешность проведения капитального ремонта многоквартирных домов зависит не только от технических и экономических факторов [5], но и от взаимодействия всех участников процесса, а также от качества предварительной подготовки и планирования работ.

Материалы и методы
В современной жизни значимость капитального ремонта многоквартирных домов трудно переоценить. Обеспечение безопасности и комфорта проживания в домах старого фонда, а также сохранение исторического облика городов – все это вопросы, актуальность которых не угасает. Вместе с тем процесс проведения капитального ремонта имеет свои особенности и сложности, которые требуют подробного рассмотрения и анализа.

Проведение капитального ремонта многоквартирных домов состоит из нескольких основных этапов, начиная от подготовки и проведения аукционов на выполнение работ и заканчивая сдачей выполненного объекта. Каждый из этих этапов имеет свои специфические особенности, которые могут стать причиной возникновения трудностей [6].

При проведении капитального ремонта важно взаимодействовать с различными сторонами процесса [7]. Здесь мы имеем дело не только с подрядчиками, которые непосредственно выполняют работы, но и с жителями дома, управляющими компаниями и другими заинтересованными сторонами [8].

Для эффективной реализации капитального ремонта необходимо принимать во внимание множество различ-

ных факторов. В нашем исследовании мы предлагаем системный подход к анализу этих факторов, рассматривая их в рамках трех основных этапов: подготовка и проведение аукциона; обследование и планирование работ; приемка и завершение работ (рисунок 1). Подробный анализ каждого из этих этапов позволит нам не только выявить проблемы, но и в дальнейшем предложить возможные пути их решения.

Результаты
В результате исследования на этапах реализации капитального ремонта выявлены факторы:

1. Этап подготовки и проведения аукциона:
• **Сезонность производства работ**

Организация процедур аукциона (закупки) в контексте сезонно-ориентированных работ в соответствующий временной период представляет собой задачу существенной сложности. Возникающий диссонанс между расписанием аукционов и сезонностью определенных видов работ может вызывать проблемы в процессе капитального ремонта многоквартирного дома. Примером служит ситуация, когда тендерные процедуры на строительные работы запланированы в зимний период, в результате чего некоторые работы, оптимально проводимые в теплый сезон (например, монтаж кровельных систем или утепление фасада), могут быть отложены до начала теплого периода. Такая ситуация способна вызвать перенос сроков реализации проекта на следующий год, что негативно отражается на использовании трудовых ресурсов и оборудования, а также влияет на стоимость банковских гарантий.

• **Низкий уровень проработки обследования здания**

Перечень работ, указанных в закупке, не соответствует реальным потребностям многоквартирного дома и его жильцов. Этот фактор отражает расхождение между планируемыми и необходимыми работами. Иногда в списке работ, запланированных для проведения, могут быть пропущены важные задачи или, наоборот, включены ненужные или дублирующие друг друга процедуры. Такое расхождение может привести к неэффективному использованию ресурсов, увеличению сроков ремонта и уменьшению удовлетворенности жильцов итогами работ.

• **Низкая осведомленность жителей в стоимостных характеристиках ремонтных работ**

Потребности и пожелания жильцов не укладываются в предельную стоимость работ по объекту. Жители многоквартирного дома не обладают достаточной информацией о стоимостных характеристиках отдельных работ и ограничениях бюджетных ассигнований, вследствие чего их требования к ремонту превосходят доступный бюджет. Низкая осведомленность может послужить источником недовольства среди жителей, а также может привести к некорректному определению приоритетов в ходе выполнения ремонтных работ, что приведет к нерациональному расходованию средств.

• **Отсутствие системы централизованного информирования подрядных организаций об актуализации региональных программ**

Ежегодная актуализация в региональной программе может включать в себя изменение перечня или объемов работ, требований к качеству материалов и оборудования, изменение сроков. Недостатки в системе взаимодействия

между государственными организациями, участвующими в разработке и реализации программы капитального ремонта, и подрядными организациями связаны с недостаточной стандартизацией процедур актуализации информации, отсутствием четко определенных каналов коммуникации или недостаточностью ресурсов для оперативного уведомления всех заинтересованных сторон о наступивших изменениях. Без своевременного уведомления подрядчики могут столкнуться с неожиданными трудностями, приводящими к перерасходу ресурсов, нарушению сроков и общему снижению качества работ.

2. Этап обследования и планирования ремонтных работ:

• **Низкое качество технического паспорта здания**

Информация в технических паспортах не отражает реальную ситуацию с жилым домом. Технический паспорт многоквартирного дома является ключевым документом, содержащим информацию о состоянии здания, его конструктивных элементах, инженерных системах и других аспектах. Недостатки в процессе начального составления технического паспорта: ошибки в измерениях, некорректное применение норм и стандартов, устаревшие или некачественные данные; недостаточная периодичность актуализации технического паспорта; потеря документов, их некорректное использование, несоответствие между бумажными и электронными версиями – все неточности или ошибки в данных могут серьезно затруднить процесс планирования и проведения капитального ремонта, приводя к перерасходу ресурсов, увеличению сроков выполнения работ и снижению их качества.

• **Слабое взаимодействие (отказ) жильцов со специалистами подрядных организаций**

Отказ от взаимодействия со стороны жильцов многоквартирного дома со специалистами подрядных организаций в ходе обследования оказывает влияние на качество процесса и приводит к тому, что проектировщики опираются на данные, записанные в технических паспортах. Отказ от взаимодействия со стороны жильцов многоквартирного дома в ходе обследования затрудняет проведение качественной диагностики здания, выявление всех необходимых для ремонта работ. Как следствие, проектировщики могут опираться на недостаточно точные или устаревшие данные из технических паспортов, что увеличивает риск непредвиденных сложностей и ошибок в процессе ремонта.

• **Отсутствие доступа специалистов подрядной организации в нежилые помещения многоквартирных домов**

Наличие нежилых помещений на первых этажах многоквартирных домов – распространенная ситуация, встречающаяся в современном городском строительстве. Эти помещения могут использоваться под офисы, магазины, аптеки, салоны красоты и другие общественные или коммерческие организации. При этом доступ в них для проведения ремонтных работ может быть ограничен в связи с режимом работы этих организаций, условиями аренды или собственности, требованиями охраны и конфиденциальности. Возможная корректировка графиков работы, временное ограничение доступа клиентов или даже временная реорганизация пространства могут привести к возникновению конфликтных ситуаций со стороны поль-

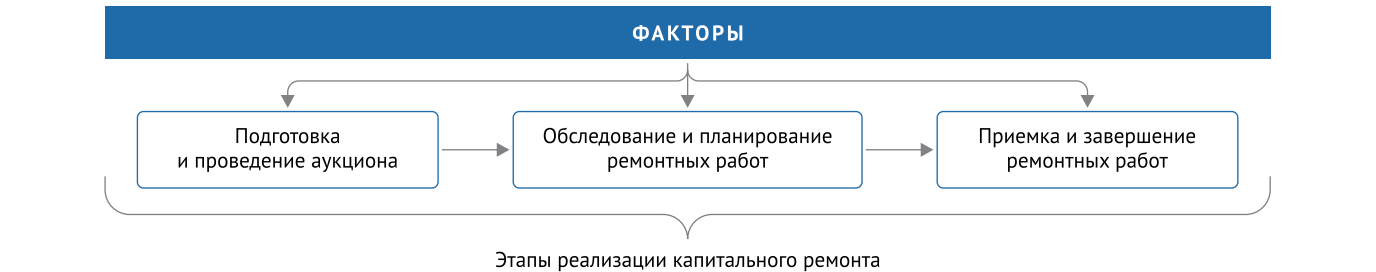


Рис. 1. Воздействие факторов на этапы реализации капитального ремонта
Fig. 1. Impact of factors on the stages of implementation of major repairs

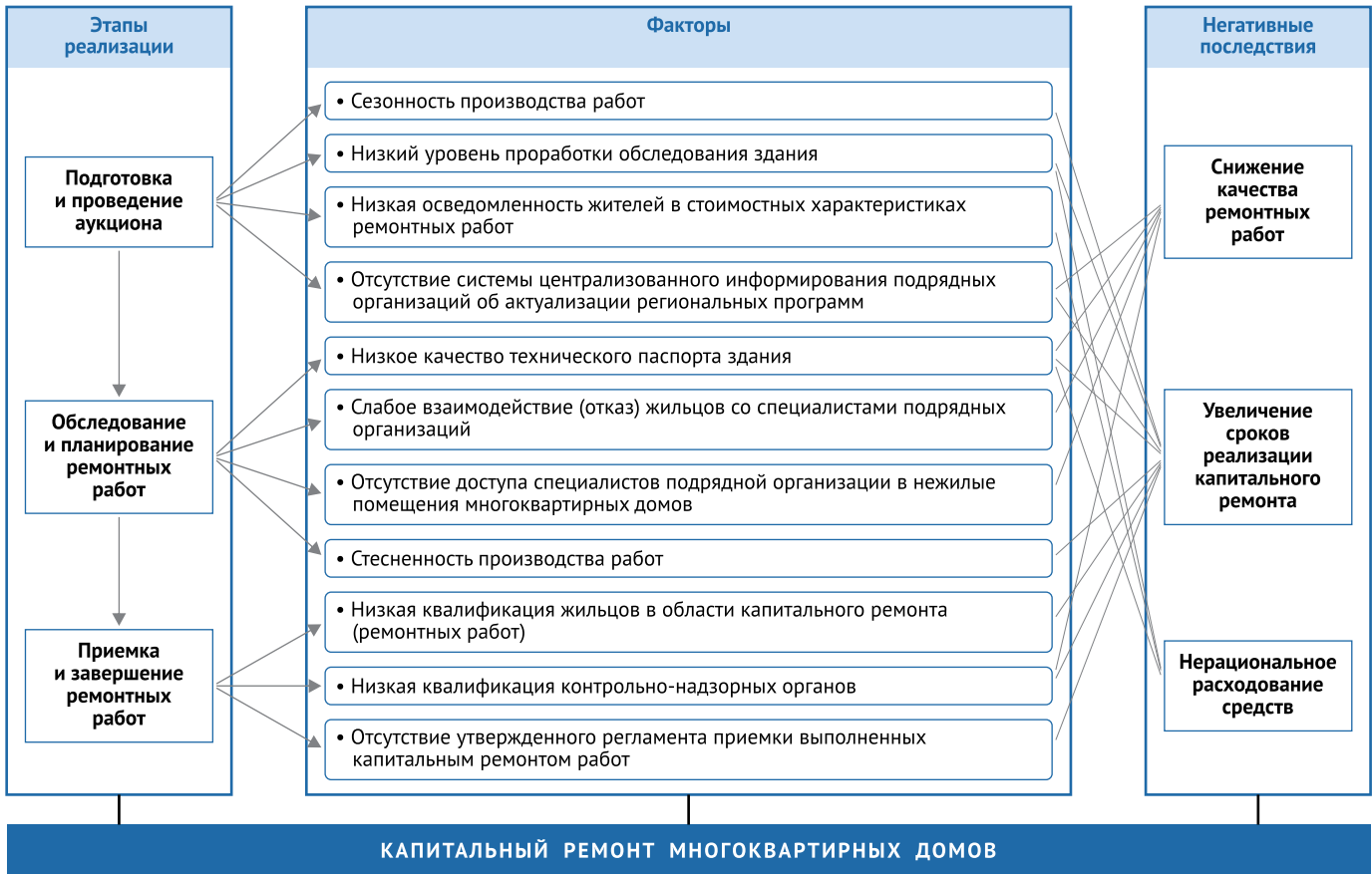


Рис. 2. Схема реализации капитального ремонта многоквартирных домов с возможным воздействием совокупностей факторов, приводящих к негативным последствиям

Fig. 2. Scheme for the implementation of capital repairs of apartment buildings with the possible impact of a combination of factors leading to negative consequences

зователей помещений, что повлечет за собой нарушение сроков производства работ капитального ремонта, дополнительные расходы на организацию доступа.

• **Стесненность производства работ**

При проведении капитального ремонта многоквартирного дома требуется место для размещения строительной техники, складирования строительных материалов и обустройства временного бытового городка для рабочих. Стесненные условия местности, такие как отсутствие свободных площадей, ограниченность парковочных зон, близость к дорогам и другим объектам инфраструктуры, а также высокая плотность застройки, могут оказывать существенное влияние на организацию и проведение работ. Дополнительное планирование и логистические расчеты для эффективного использования доступного пространства и обеспечения своевременной доставки и хранения строительных материалов, а также обустройства комфортных условий для работников могут привести к задержкам в сроках выполнения работ, увеличению стоимости работ из-за необходимости использования специального оборудования для подъема и перемещения материалов, повышению рисков безопасности и комфорта рабочих.

3. Этап приемки и завершения работ:

• **Низкая квалификация жильцов в области капитального ремонта (ремонтных работ)**

При проведении капитального ремонта в многоквартирных домах важнейшей стадией является приемка выполненных работ, в процессе которой осуществляется оценка качества ремонта со стороны жильцов или представителей управляющей компании. Недостаточная информированность жильцов о стандартах и нормах каче-

ства проводимых ремонтных работ и отсутствие опыта в сфере капитального ремонта и строительства могут стать причиной неправильной оценки качества работ и, как следствие, отказа в приемке, что приведет к увеличению сроков реализации капитального ремонта многоквартирного дома.

• **Низкая квалификация контрольно-надзорных органов**

Технический надзор играет критическую роль в процессе капитального ремонта многоквартирных домов, осуществляя контроль качества выполненных работ и соблюдения сроков. Бюджетные ограничения, недостаток времени для профессиональной подготовки или недооценка значимости роли технического надзора в процессе капитального ремонта приводит к неправильной оценке работы подрядчиков, пропуску некачественно выполненных работ и, как результат – к снижению общего качества капитального ремонта.

• **Отсутствие утвержденного регламента приемки выполненных капитальным ремонтом работ**

Отсутствие стандартизированного регламента по приемке выполненных работ капитального ремонта и исполнительной документации может привести к трудностям в контроле качества ремонта и управлении проектом в целом. Все участники процесса, включая подрядчиков, технический надзор и жильцов, должны иметь четкое понимание требований и процедур приемки работ. Отсутствие данного компонента может привести к возникновению спорных ситуаций, что повлечет за собой увеличение про-

должительности реализации работ капитального ремонта.

Каждый из выделенных факторов может привести к возникновению негативных последствий, таких как:

- снижение качества ремонтных работ;
- увеличение сроков реализации капитального ремонта;
- нерациональное расходование средств.

На рисунке 2 приведена схема реализации капитального ремонта многоквартирных домов с возможным воздействием совокупностей факторов, приводящих к негативным последствиям.

Заключение

В ходе исследования выявлены и подробно проанализированы факторы, оказывающих влияние на реализацию капитального ремонта многоквартирных домов. Это исследование проливает свет на разнообразные аспекты – от организационных и технических вопросов до взаимоотношений между подрядчиками, органами власти и жителями домов.

Основываясь на проведенном анализе, можно прийти к выводу, что выбор эффективных организационно-технологических решений и грамотная разработка проекта капитального ремонта на стадии проектирования – это сложная системная задача, требующая учета многочисленных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганзен, Е. В. Актуальные вопросы организации работ по капитальному ремонту и реконструкции общественных зданий / Е. В. Ганзен, А. А. Липидус. – DOI 10.54950/26585340_2020_4_44 // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 44–50.
2. Ганзен, Е. В. Выбор значимых факторов для принятия решений по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий / Е. В. Ганзен. – DOI 10.54950/26585340_2021_4_10_62 // Строительное производство. – 2021. – № 4. – С. 62–69.
3. Голотина, Ю. И. Факторы, влияющие на сроки строительства / Ю. И. Голотина, А. А. Рыжкова, М. С. Арутюнян // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 9. – С. 65–73.
4. Сефeryан, Л. А. Организация фонда капитального ремонта, как решение проблем развития жилищного фонда в Ростовской области / Л. А. Сефeryан, Е. Е. Пингин // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1 (40). – С. 54.
5. Mishchenko, V. Ya. Foreign and Russian Experience Conducting Major Repairs of Housing Fund Taking Into Account Energy-

REFERENCES

1. Ganzen, E. V. Aktual'nye voprosy organizatsii rabot po kapital'nomu remontu i rekonstruktsii obshchestvennykh zdaniy [Current issues of organizing work on capital repairs and reconstruction of public buildings] / E. V. Ganzen, A. A. Lapidus. – DOI 10.54950/26585340_2020_4_44 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 4. – P. 44–50.
2. Ganzen, E. V. Vybory znachimykh faktorov dlya prinyatiya resheniy po kapital'nomu remontu i rekonstruktsii administrativnykh zdaniy [Selection of significant factors for making decisions on major repairs and reconstruction of buildings improvement] / E. V. Ganzen. – DOI 10.54950/26585340_2021_4_10_62 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – № 4. – P. 62–69.
3. Golotina, Yu. I. Faktory, vliyayushchiye na sroki stroitel'stva [Factors influencing construction time] / Yu. I. Golotina, A. A. Ryzhkova, M. S. Arutyunyan // Nauchnye trudy KubGTU [Scientific works of KubSTU]. – 2018. – № 9. – P. 65–73.

Своевременный контроль и предупреждение выявленных факторов со стороны ответственных лиц на каждом этапе – от начала разработки проекта до окончания работ – способны значительно повысить эффективность принятых организационно-технологических решений и обеспечить качественное выполнение капитального ремонта в установленные сроки с рациональным использованием средств.

Данный материал может стать фундаментом для дальнейшего исследования в этой области. Применение метода экспертных оценок с ранжированием выявленных факторов позволит определить относительное влияние факторов на реализацию капитального ремонта. Это в свою очередь позволит разработать и внедрить наиболее эффективные организационно-технологические решения на различных этапах капитального ремонта.

Разработанный подход может значительно упростить процесс принятия решений на всех уровнях, увеличить прозрачность и предсказуемость процесса, а также улучшить взаимодействие между всеми участниками. Таким образом, все факторы будут учтены, а выбранные организационно-технологические решения окажутся наиболее эффективными для успешного выполнения работ капитального ремонта.

Efficient Measures / V. Ya. Mishchenko, E. P. Gorbaneva, K. S. Sevryukova. – DOI 10.25987/VSTU.2020.45.1.003 // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2020. – No. 1(45). – P. 28–41.
6. Суворова, С. П. Современное состояние системы капитального ремонта жилищного фонда в Орловской области: проблемы и пути решения / С. П. Суворова, М. Е. Ханенко, А. Ю. Фетисова // Вестник ОрелГИЭТ. – 2019. – № 1 (47). – С. 71–75.
7. Петрова, Л. С. Капитальный ремонт жилищного фонда как элемент его воспроизводства / Л. С. Петрова // Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых : Сборник докладов, Томск, 25 апреля 2019 года. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 1050–1051.
8. Елюкина, Ю. В. Проблемы капитального ремонта многоквартирных жилых домов в Удмуртской республике / Ю. В. Елюкина // Фотинские чтения. – 2017. – № 1 (7). – С. 60–63.

4. Seferyan, L. A. Organizatsiya fonda kapital'nogo remonta, kak resheniye problem razvitiya zhilishchnogo fonda v Rostovskoy oblasti [Organization of a capital repair fund as a solution to the problems of housing development in the Rostov region] / L. A. Seferyan, E. E. Pingin // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2016. – № 1 (40). – P. 54.
5. Mishchenko, V. Ya. Foreign and Russian Experience Conducting Major Repairs of Housing Fund Taking Into Account Energy-Efficient Measures / V. Ya. Mishchenko, E. P. Gorbaneva, K. S. Sevryukova. – DOI 10.25987/VSTU.2020.45.1.003 // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2020. – No. 1 (45). – P. 28–41.
6. Suvorova, S. P. Sovremennoye sostoyaniye sistemy kapital'nogo remonta zhilishchnogo fonda v Orlovskoy oblasti: problemy i puti resheniya [Current state of the housing capital repair system in the Oryol region: problems and solutions] / S. P. Suvorova, M. E. Khanenko, A. Yu. Fetisova // Vestnik OreLGIEHT [Bulletin of OreLGIEHT]. – 2019. – № 1 (47). – P. 71–75.
7. Petrova, L. S. Kapital'nyy remont zhilishchnogo fonda kak el-

ement yego vosproizvodstva [Major repairs of the housing stock as an element of its reproduction] / L. S. Petrova // Izbrannye doklady 65-j Yubilejnoj universitetskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh : Sbornik dokladov, Tomsk, 25 aprelya 2019 goda [Selected reports of the 65th Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists : Collection of reports, Tomsk, April 25, 2019]. – Tomsk : Tomsk State

University of Architecture and Civil Engineering, 2019. – P. 1050–1051.
8. Elyukina, Yu. V. Problemy kapital'nogo remonta mnogokvartirnykh zhilykh domov v Udmurtskoy respublike [Problems of capital repairs of apartment buildings in the Udmurt Republic] / Yu. V. Elyukina // Fotinskie chteniya [Fotin readings]. – 2017. – № 1 (7). – P. 60–63.

УДК 658.2 DOI: 10.54950/26585340_2023_4_160
Практикоориентированная система подготовки строительного персонала как фактор развития кадрового потенциала
A Practice-Oriented Training System for Construction Personnel as a Factor in the Development of Human Resources

Морозенко Андрей Александрович

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

Morozenko Andrey Aleksandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

Швец Наталья Сергеевна

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

Shvets Natalia Sergeevna

Graduate student of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, lam@nsergeevna.ru

Аннотация. Усиливающийся в последние несколько лет дефицит квалифицированных рабочих оказывает значительное влияние на реализацию производственных программ строительных предприятий в Российской Федерации. Рекордно низкий уровень безработицы в целом по стране, а также высокая степень напряженности рынка труда создают значительные вызовы для компаний, в особенности тех, что стоят на пороге наращивания численности для реализации взятых на себя производственных обязательств.

Для того, чтобы поддерживать производительность труда на целевом уровне, а также обеспечить приемлемый уровень конкурентоспособности на рынке, строительные предприятия должны пересмотреть подходы к приему и подготовке строительно-монтажного персонала, отдав предпочтение фор-

мированию системы подготовки персонала внутри компании на основании принятого технологического процесса, что позволит с максимальной степенью оперативности реагировать на изменения рынка труда и формировать высокопрофессиональные трудовые коллективы под запросы производства. Вместе с тем развитие внутрикорпоративного обучения позволит организовывать подготовку персонала, требующего минимального периода профессиональной адаптации на производстве, а также осуществлять развитие кадрового потенциала работников с учетом их профессиональных навыков и производственных результатов.

Ключевые слова: кадровый потенциал, АЭС, квалификация персонала, корпоративное обучение, строительно-монтажных персонал, напряженность рынка труда.

within the company based on the adopted technological process, which will allow responding to market changes with the maximum degree of efficiency to form highly professional labor collectives according to the demands of production. At the same time, the development of internal corporate training will make it possible to organize the training of personnel requiring a minimum period of professional adaptation at work, as well as to develop the personnel potential of employees taking into account their professional skills and production results.

Keywords: human resources potential, nuclear power plants, personnel qualifications, corporate training, construction and installation personnel, labor market tension.

для потенциальных работодателей оборачиваются востребованной острой конкуренцией за трудовые ресурсы.

Одним из значимых проектов сооружения в Российской Федерации является станция замещения «Курская АЭС-2» в Курской области, на строительстве которой за-

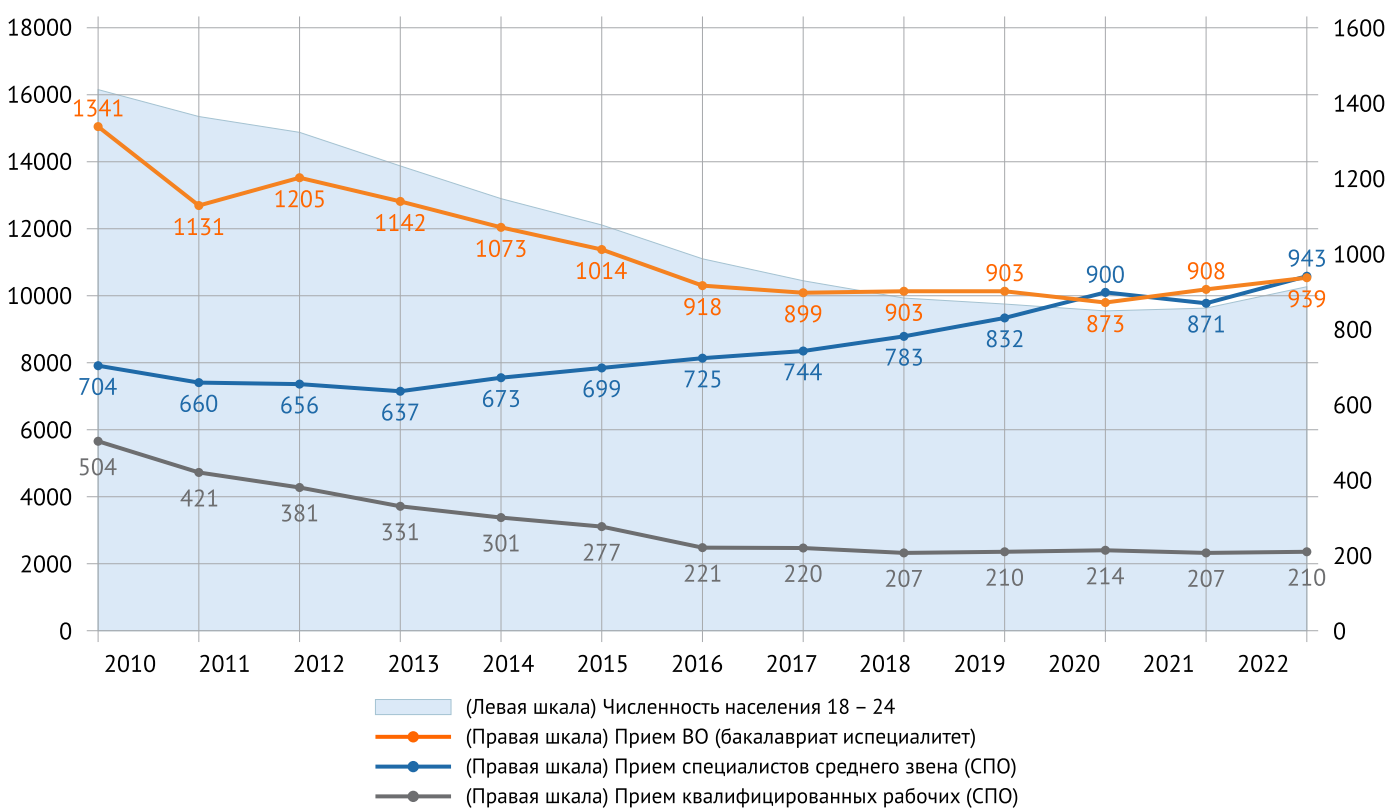


Рис. 1. Прием в образовательные организации ВПО и СПО РФ, тыс. чел.
Fig. 1. Admission to educational institutions of higher education and vocational education of the Russian Federation, thousand people

няты на текущий момент порядка 9,5 тыс. человек. По итогам проведенных в марте 2023 г. обсуждений, общественностью было поддержано сооружение новых энергоблоков.

Это означает, что в ближайшие годы до 12 тысяч высококвалифицированных рабочих общестроительного и тепломонтажного профиля понадобится для сооружения двух новых энергоблоков Курской АЭС-2.

Принимая во внимание ограниченный объем выпуска молодых специалистов в учебных заведениях высшего, среднего и начального профессионального образования в регионе сооружения и в соседних с ним субъектах Федерации, руководителям строительных организаций необходимо быть готовыми к организации процедуры профессиональной подготовки и переподготовки персонала, в т. ч. по вопросам обеспечения безопасности, которая помимо требуемого уровня квалификации позволит сформировать вектор развития кадрового потенциала строительно-монтажного персонала.

Научная новизна исследования состоит в создании учебно-методического комплекса для подготовки строительно-монтажного персонала и ИТР на базе строительных предприятий атомной отрасли, основанного на требованиях нормативных документов, принятых в отрасли, и с учетом специфики технологического процесса, как инструмента развития кадрового потенциала работников.

Материалы и методы

Анализом подходов к непрерывному корпоративному обучению занимались А. Ю. Андрианов [2] и А. А. Гилев [3].

Вопросы напряженности рынка труда изучали Ф. С. Муминов [4], Е. А. Ефимова [5].

Был изучен ряд методик, затрагивающих вопросы обучения персонала в строительной отрасли. Их в своих тру-

дах рассматривали такие авторы, как В. Н. Пуляева [6] и С. В. Тевлина [7].

Среди зарубежных публикаций вопросы развития кадрового потенциала и профессиональной подготовки рабочих рассматривали Е. Ц. Чимитдоржева [8], Д. Димитров [9], О. Мамателашвили [10], Е. Каштанова, Д. Захарова [11].

По результатам изучения материалов, опубликованных вышеприведенными авторами, можно сделать вывод, что тема подготовки персонала, несомненно, находится в фокусе внимания авторов-ученых, при этом остаются неисследованными вопросы подготовки на производстве строительно-монтажного персонала, а также развития кадрового потенциала рабочих, участвующих в сооружении объектов использования атомной энергии.

Описанные в приведенных источниках варианты подготовки строительно-монтажного персонала для атомного строительства основываются на целесообразности обучения персонала в сторонних учебных центрах, не входящих в контур управления Госкорпорации «Росатом». Данный подход при практической реализации показал свое несовершенство: преподавательский состав подобных учебных центров не обладает достаточной квалификацией для обучения персонала используемым на производстве технологиям, а оборудование, используемое при обучении работников, отличается от применяемого на производстве, что вызывает необходимость дополнительной адаптации работников к рабочему процессу и предопределяет неудовлетворительное качество подготовки персонала.

Значимым аргументом в части сформировавшейся напряженности рынка труда рабочего персонала являются результаты исследований, представленных Высшей школой экономики (далее – ВШЭ) [12] на рисунке 1.

№	Категория специалистов	3 кв., %	4 кв., %	Разница, %
1	Представители рабочих профессий (сварщик, токарь, электрик, разнорабочий и т. п.)	56	58	2
2	Представители массовых профессий (курьер, продавец, официант, кассир и т. п.)	28	33	5
3	Инженеры и технические специалисты	22	28	6
4	Менеджеры по продажам	26	26	0
5	IT-специалисты	24	24	0
6	Врачи и медицинский персонал	8	12	4

Табл. 1. Рейтинг востребованности специалистов в 3–4 кварталах 2023 г.
Tab. 1. The rating of demand for specialists in the 3–4 quarters of 2023

Анализ данных исследования ВШЭ свидетельствует о значительном сокращении приема в учебные учреждения и, как следствие, выпуска квалифицированных рабочих – в 2,4 раза (на 294 тыс. чел.) в период с 2010 по 2022 гг. При этом в последние 7 лет (с 2016 г.) не наблюдается восходящего тренда в части популярности рабочих профессий среди молодежи, что свидетельствует об актуальности вопроса напряженности рынка труда в части рабочего персонала на протяжении ближайших, как минимум, 5 лет.

Вместе с тем на 238 тыс. чел. за аналогичный период увеличилось число поступающих в СПО на позиции специалистов среднего звена.

При этом важно отметить еще один тренд – а именно сокращение доли молодежи в Российской Федерации в возрасте от 18 до 24 лет. Так, по данным ВШЭ, количество молодежи за анализируемый период в этом возрастном диапазоне сократилось более чем на 37 %.

При этом о высоком спросе на представителей рабочих профессий свидетельствуют данные опроса более 400 респондентов (руководителей предприятий, HR-директоров и рекрутеров), проведенного порталом Rabota.ru [13], представленные в таблице 1.

Рабочие профессии в 1,8 раза более востребованы, чем массовые профессии, и в 2,4 раза – чем IT-специалисты, поддержке в части трудоустройства и образования которых в последние годы в государстве уделяется большое внимание.

Таким образом, принимая во внимание ежегодное сокращение объемов подготовки квалифицированных рабочих, рекордно низкий уровень безработицы в стране, а также недостаточную квалификацию рабочих после прохождения обучения в сторонних учебных центрах, возрастает необходимость в профессиональной подготовке работников силами предприятия – для целей развития кадрового потенциала сотрудников, удержания их в штате

и осуществления взятых на себя производственных обязательств с требуемым уровнем производительности труда.

Результаты

Росатом, как мировой технологический лидер, крайне ответственно относится к вопросам допуска персонала для работы на ОИАЭ.

Атомный энергоблок входит в особую категорию строительных объектов: согласно ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ объекты использования атомной энергии первые в списке особо опасных и технически сложных.

Формально требования к профессиональным навыкам строительно-монтажного персонала установлены теми же профессиональными стандартами, ГОСТами, которые применяются и в других отраслях промышленности и строительной отрасли в целом. Однако повышенные требования к безопасности объектов, установленные Ростехнадзором, технологическая сложность и ответственность атомного строительства определяют принципиально иной уровень профессионального мастерства и владения навыками. Во многом это обостряет проблему нехватки квалифицированных кадров, которая является основным вызовом для всех атомных строек в мире.

Рассмотрим значимость присутствия высококвалифицированных рабочих при строительстве АЭС на примере сварщиков. Надежность и безопасность атомных реакторов в очень большой степени определяется качеством сварных соединений, особенно в первом контуре, где происходит съем тепла с активной зоны реактора, а давление достигает 250 и более атмосфер. И именно качество сварки является критически важным параметром безопасности. Сварщики 5-6 разрядов, способные варить специальные швы, – уникальные профессионалы.

Значительную роль в формировании высокого уровня профессионализма играет комплексная подготовка персонала. Так, для целей профессиональной подготовки и повышения квалификации авторами был предложен к

Направление	Общестроительное		Тепломонтажное	
Вид обучения	Профессиональное	Обязательное	Профессиональное	Обязательное
Количество программ, курсов	42	13	24	14
Профессии, должности	Арматурщик Бетонщик Монтажник СижБК Сварщик Бригадир Мастер СМР Производитель работ Начальник участка	Для СМП и ИТР руководители, специалисты, ответственные за выполнение работ по охране труда	Монтажник ТТ Сварщик Дефектоскопист Контролер сварочных работ Бригадир Мастер ТМР Производитель работ Начальник участка	Для СМП и ИТР руководители, специалисты по охране труда
Продолжительность, часов	24–160	12–40	20–120	8–40
Формат проведения	Очный	Очный дистанционный	Очный	Очный дистанционный

Табл. 2. Учебно-методический комплекс для подготовки СМП и ИТР
Tab. 2. Educational and methodological complex for the training of CIP and LM

Этап технологического процесса	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Дополнительные программы / модули	
	Монтаж	Термообработка	Сварка	Дефектоскопия		
Наименование специализированных программ	Монтажник технологических трубопроводов и связанных с ними конструкций Монтажник основного и технологического оборудования	Оператор-термист на передвижных термических установках	Электросварщик РЭДС	Повышение квалификации по ВИК	Повышение культуры безопасности при выполнении ТМР	Общий курс по устройству АЭС с ВВР
			Электросварщик РАДС	Дефектоскопист капиллярного метода контроля		Основы неразрушающего контроля (общий курс)
			Электросварщик полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов	Дефектоскопист по газовому и жидкостному контролю		Основы сварочных работ (общий курс)
			Электросварщик автоматической сварки	Дефектоскопист рентгеногамма-графирования Дефектоскопист по ультразвуковому контролю		
Целевая аудитория	Монтажник т/т 4–6 разряда	Термист	Сварщик 4–6 разряда	Дефектоскопист, контролер СТК	Все рабочие специальности	Линейные ИТР

Табл. 3. Подходы к формированию учебно-методического комплекса тепломонтажного профиля
Tab. 3. Approaches to the formation of an educational and methodological complex of a thermal installation profile

внедрению и реализации учебно-методический комплекс образовательных программ, представленный в таблице 2, на основании которого был подготовлен штат преподавателей из числа опытных работников «с линии».

Данный учебно-методический комплекс представляет собой портфель программ для целей обучения профессии, повышения квалификации, профессиональной переподготовки и курсов целевого назначения, подготовки по нормам и правилам в области обеспечения всех видов безопасности и охраны труда. Все программы построены на основании профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов. Требования, заложенные в программы, соответствуют ISO, ГОСР Р ИСО и ПНАЭ, а сам учебно-методический комплекс разработан на основании технологического процесса сооружения АЭС, что позволяет считать его уникальной разработкой, аналоги которой отсутствуют в сторонних образовательных организациях.

К примеру, для разработки программ тепломонтажного профиля за основу были взяты 4 ключевых этапа технологического процесса, а именно: монтаж, термообработка, сварка, дефектоскопия, представленные в таблице 3.

Помимо нормативной, а также теоретической подготовки, по итогам каждой программы предусмотрена обязательна отработка практических навыков, которая позволит работодателю быть уверенным в требуемом уровне квалификации обучающегося и позволит сформировать дальнейший трек развития кадрового потенциала работника.

Таким образом, учебно-методический комплекс, разработанный и адаптируемый для реализации стоящих перед производством задач, позволяет максимально оперативно, с требуемым уровнем качества и в соответствии с требованиями атомного строительства осуществлять подготовку квалифицированных рабочих, помогая повысить уровень кадровой защищенности строительных предприятий в условиях острого дефицита рабочих кадров на рынке.

Обсуждение

Программы обучения, входящие в учебно-методический комплекс, прошли многоуровневую экспертизу среди линейных руководителей, руководителей филиалов, главных инженеров. Программы были апробированы как на площадках сооружения АЭС в России, так и за рубежом (с требуемой адаптацией под законодательные, а также климатические условия, в которых осуществляется сооружение АЭС).

По итогам процедуры входного контроля квалификации – проведенного обучения – выходного контроля квалификации, 86 % обучающихся смогли освоить материал на уровне, достаточном для прохождения тестовых и практических испытаний, что говорит о доступном языке изложения материала, большом количестве практикоориентированных задач, а также достаточной степени детализации описываемых операций.

На текущий момент перечень программ в составе учебно-методического комплекса утвержден к использованию в качестве обучающих материалов для всех строительных компаний, участвующих в сооружении АЭС в контуре управления Инжинирингового дивизиона ГК «Росатом».

Выводы

Вызовы рынка труда, проявляющиеся в остром дефиците квалифицированных рабочих, требуют пересмотра подходов к подготовке персонала с погружением в производственную специфику.

Практическое применение представленного учебно-методического комплекса предоставило возможность развития кадрового потенциала строительных предприятий исходя из квалификационной составляющей, а также позволило восполнить дефицит квалифицированных рабочих для целей реализации производственной программы как в России, так и на зарубежных стройках при условии адаптации программ подготовки к условиям и требованиям локального законодательства в части требований к квалификации строительно-монтажного персонала (при наличии), а также с учетом климатических особенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальные статистические показатели / ЕМИСС : государственная статистика : [официальный сайт]. – URL : <https://www.fedstat.ru/>.

2. Андрианов, А. Ю. Решение проблемы управления персоналом: непрерывное обучение / А. Ю. Андрианов // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2023. – № 2. – С. 197–199.

3. Гилев, А. А. Современные тенденции развития корпоративного образования / А. А. Гилев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – № 3-3. – С. 600–602.

4. Муминов, Ф. С. Проблема дифференциации уровней экономического потенциала российских регионов / Ф. С. Муминов // Стратегия устойчивого развития регионов России : сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции, 17 апреля 2010 г. / Центр развития науч. сотрудничества ; под общ. ред. С. С. Чернова. – Новосибирск : СИБПРИНТ, 2010.

5. Ефимова, Е. А. Рынок труда моногородов: состояние и перспективы / Е. А. Ефимова // Пространственная экономика. – 2011. – № 1. – С. 119–135.

6. Пуляева, В. Н. Обучение и развитие персонала в строительной отрасли / В. Н. Пуляева // Российское предпринимательство. – 2019. – Т. 20, № 1. – С. 207–221.

7. Тевлина, С. В. Обучение и сертификация управленческого персонала при внедрении инвестиционных проектов в строительных компаниях / С. В. Тевлина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2008. –

REFERENCES

1. Ofitsial'nye statisticheskie pokazateli [Official statistical indicators] / EMISS : gosudarstvennaya statistika [EMISS : state statistics : official website]. – URL : <https://www.fedstat.ru>.

2. Andrianov, A. Yu. Reshenie problemy upravleniya personalom: nepreryvnoe obuchenie [Solving the problem of personnel management: continuous training] / A. Yu. Andrianov // Gumanitarnye, sotsial'no-ehkonomicheskie i obshchestvennye nauki [Humanities, socio-economic and social sciences]. – 2023. – № 2. – P. 197–199.

3. Gilev, A. A. Sovremennye tendentsii razvitiya korporativnogo obrazovaniya [Modern trends in the development of corporate education] / A. A. Gilev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. – 2010. – № 3-3. – P. 600–602.

4. Muminov, F. S. Problema differentsiatsii urovnej ehkonomicheskogo potentsiala rossijskikh regionov [The problem of differentiation of the levels of economic potential of Russian regions] / F. S. Muminov // Strategiya ustojchivogo razvitiya regionov Rossii : sbornik materialov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, 17 aprelya 2010 g. [Strategy for sustainable development of Russian regions : collection of materials of the second All-Russian scientific and practical conference, April 17, 2010] / Tsentr razvitiya nauch. sotrudnichestva ; pod obshh. red. S. S. Chernova [Center for Scientific Development. cooperation ; under the general editorship of S. S. Chernov]. – Novosibirsk : SIBPRINT, 2010.

5. Efimova, E. A. Rynok truda monogorodov: sostoyanie i perspektivy [The labor market of single-industry towns: state and prospects] / E. A. Efimova // Prostranstvennaya ehkonomika [Spatial economics]. – 2011. – № 1. – P. 119–135.

6. Pulyaeva, V. N. Obuchenie i razvitie personala v stroitel'noj otrasli [Training and development of personnel in the construction industry] / V. N. Pulyaeva // Rossijskoe predprinimatel'stvo [Russian Entrepreneurship]. – 2019. – Vol. 20, № 1. – P. 207–221.

7. Tevlina, S. V. Obuchenie i sertifikatsiya upravlencheskogo personala pri vnedrenii investitsionnykh proektov v stroitel'nykh kompaniyakh [Training and certification of management per-

№ 5 (64). – С. 168–172.

8. Исследование динамики кадрового потенциала сельского хозяйства в Российской Федерации / Е. Ц. Чимитдоржиева, Н. Я. Бамбаева, Д. П. Карпова, Е. Н. Ванчикова, И. Г. Сангадиева // Государственная служба. – 2022. – Т. 24, № 5 (139). – С. 43–48.

9. Dimitrov, D. About the need for performing training and increasing the qualification of dispatchers and movement managers in railway transport / D. Dimitrov, Z. Trendafilov // International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – No. 5 (17). – P. 68–72.

10. Mamatelashvili, O. Corporate training as a strategic factor of competitiveness / O. Mamatelashvili, E. Mukhamadiyeva, T. Khisamova // E3S Web of Conferences : First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020) – 2020. – Vol. 208. – P. 09026.

11. Каштанова, Е. В. Цифровая трансформация корпоративной системы обучения / Е. В. Каштанова, Д. К. Захаров // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2021. – № 1 (52). – С. 37–43.

12. Российский рынок труда: новые реалии и перспективы / TenChat.ru : социальная сеть для деловых знакомств.

13. Сварщики, токари и электрики: работодатели рассказали, какие специальности будут востребованы на рынке труда: Исследование Работа.ру / Пресс-служба сервиса Работа.ру. – URL : <https://press.rabota.ru/rabotodateli-rasskazali-kakie-spetsialnosti-budut-vostrebovany-na-rynke-truda?ysclid=loyee5uqib783803386>.

sonnel in the implementation of investment projects in construction companies] / S. V. Teylina // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ehkonomicheskie nauki [Scientific and technical bulletin of SPbPU. Economic sciences]. – 2008. – № 5 (64). – P. 168–172.

8. Issledovanie dinamiki kadrovogo potentsiala sel'skogo khozyajstva v Rossijskoj Federatsii [Study of the dynamics of the human resource potential of agriculture in the Russian Federation] / E. Ts. Chimitdorzhieva, N. Ya. Bambaeva, D. P. Karpova, E. N. Vanchikova, I. G. Sangadiyeva // Gosudarstvennaya sluzhba [State Service]. – 2022. – Vol. 24, №5 (139). – P. 43–48.

9. Dimitrov, D. About the need for performing training and increasing the qualification of dispatchers and movement managers in railway transport / D. Dimitrov, Z. Trendafilov // International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – No. 5 (17). – P. 68–72.

10. Mamatelashvili, O. Corporate training as a strategic factor of competitiveness / O. Mamatelashvili, E. Mukhamadiyeva, T. Khisamova // E3S Web of Conferences : First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020) – 2020. – Vol. 208. – P. 09026.

11. Kashtanova, Ye. Tsifrovaya transformatsiya korporativnoy sistemy obucheniya [Digital transformation of the corporate training system] / Ye. Kashtanova, D. Zaharov // Upravlenie personalom i ntellektual'nymi resursami v Rossii. – 2021 [Management of the personnel and intellectual resources in Russia]. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 37–43.

12. Rossijskij rynek truda: novye realii i perspektivy [The Russian labor market: new realities and prospects] / TenChat.ru : sotsial'naya set' dlya delovykh znakovstv [a social network for business acquaintances].

13. Svarshhiki, tokari i ehlektriki: rabotodateli rasskazali, kakie spetsial'nosti budut vostrebovany na rynke truda: Issledovanie Rabota.ru [Welders, turners and electricians: employers told which specialties will be in demand in the labor market: Rabota.ru research] / Press-sluzhba servisa Rabota.ru [Press Service of Rabota.ru]. – URL : <https://press.rabota.ru/rabotodateli-rasskazali-kakie-spetsialnosti-budut-vostrebovany-na-rynke-truda?ysclid=loyee5uqib783803386>.

УДК 005:69.07

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_165

Развитие технологии торкретирования с применением БПЛА

Development of Shotcrete Technology Using UAVs

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@gic.mgsu.ru

Topchiy Dmitry 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, Yaroslavskoe shosse, 26, TopchiyDV@gic.mgsu.ru

Касьяненко Наталья Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ), Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21

Kasyanenko Natalia Sergeevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Technosphere Safety, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Ivanovo, Sheremetevsky prospekt, 21

Сокорева Евгения Викторовна

Старший преподаватель кафедры «Архитектурно-строительное проектирование и физика среды», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, sokoreva_ev@mail.ru

Sokoreva Evgeniya Viktorovna

Senior Lecturer of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, sokoreva_ev@mail.ru

Акимова Евгения Александровна

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

Akimova Evgeniya Aleksandrovna

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, Yaroslavskoe shosse, 26, AkimovaEA@mgsu.ru

Аннотация. В последние годы интенсивно развиваются различные технологии беспилотных систем. Традиционным драйвером технологического прорыва стал военно-производственный комплекс, выведя как компонентную, так и программную составляющие на качественно новый уровень.

На этом фоне интерес представляет синергетический эффект, который может быть сформирован с применением интонационных решений совместно с традиционными технологиями. Очевидно, что подобные комбинации смогут повысить технологичность строительного производства и производительность труда как на отдельных производственных операциях,

Abstract. In recent years, various technologies of unmanned systems have been intensively developed. The military-production complex has become the traditional driver of technological breakthroughs, bringing both component and software to a qualitatively new level.

Against this background, the synergistic effect that can be formed using intonation solutions together with traditional technologies is of interest. It is obvious that such combinations can increase the manufacturability of construction production and labor productivity both in individual production operations and in

ях, так и различных видов работ.

Одним из наиболее наглядных примеров сочетания современных и классических технологий является применение торкрет-бетона совместно с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА).

Подобный симбиоз технологий должен значительно расширить область применения торкретирования, а также повысить технологичность отдельных видов работ.

Ключевые слова: торкрет, торкрет-бетон, инновации в строительстве, технология строительного производства.

various types of work.

One of the most obvious examples of the combination of modern and classical technologies is the use of shotcrete in conjunction with unmanned aerial vehicles (UAVs).

Such a symbiosis of technologies should significantly expand the scope of application of shotcrete, as well as increase the manufacturability of certain types of work.

Keywords: shotcrete, shotcrete, innovations in construction, technology of construction production.

Введение

Наибольшее распространение торкретирование приобрело при выполнении ремонтно-восстановительных работ в ходе реконструкций промышленных и гражданских зданий, а также усиления и ремонта подводных частей различных сооружений (причалные стенки, опоры мостов и др.) [1]. Массовое применение подобная технология приобрела в 50-х годах прошлого века как одно из наиболее эффективных решений при восстановлении железобетонных конструкций.

Материалы и методы

Сама технология предусматривает несколько основных этапов, которые формируют основные предпосылки



Рис. 1. Нанесение торкрет-бетона
Fig. 1. Application of shotcrete concrete

По степени воздействия	По физическому состоянию
• Неагрессивные • Слабоагрессивные • Среднеагрессивные • Сильноагрессивные	• Газообразные • Твердые • Жидкие

Рис. 2. Воздействие агрессивных физико-химических факторов на строительные конструкции

Fig. 2. Impact of aggressive physical and chemical factors on building structures

Виды торкрет-бетона	Состав торкрет-бетона	Свойства торкрет-бетона	Технология приготовления и нанесения торкрет-бетона
• Мокрый – готовится непосредственно на строительной площадке при помощи специального оборудования. • Сухой – заранее приготовленная смесь, которую перед применением смачивают водой. • Пластифицированный – с добавлением пластификаторов для улучшения удобоукладываемости. • Мелкозернистый – с максимальной фракцией заполнителя до 5 мм. • Крупнозернистый – с фракцией заполнителя свыше 5 мм.	• Вяжущее – обычно цемент, реже известь или гипс. • Заполнители – песок, щебень, гравий различной фракции. • Фиброволокно – металлическое, базальтовое, полимерное. • Химические добавки – пластификаторы, ускорители твердения. • Вода в необходимом количестве.	• Высокая адгезия к основанию, в том числе к каменным и кирпичным поверхностям. • Повышенная механическая прочность и износостойкость. • Высокая морозо- и влагостойкость. • Небольшая усадка при твердении. • Трещиностойкость. • Технологичность нанесения на вертикальные и сложные поверхности.	• Приготовление сухой смеси или мокрого торкрет-бетона с помощью специальной установки. • Нанесение торкрет-бетона методом торкретирования под высоким давлением. • Уплотнение торкрет-бетона при нанесении за счет высокой скорости выброса. • Нанесение нескольких слоев для получения нужной толщины. • Уход за уложенным торкрет-бетоном в процессе твердения.

Рис. 3. Основные характеристики торкретирования
Fig. 3. Main characteristics of shotcrete

к качественному выполнению работ и получению расчетных эксплуатационных показателей (рисунок 1). Как и при любой иной технологической последовательности, связанной с восстановлением эксплуатационных характеристик, для начала необходимо провести комплексное обследование объекта с определением уровня влияния дефектов, а также локализовать их.

Также необходимо определить наличие внешних агрессивных факторов воздействия на конструкцию (рисунок 2).

На следующем этапе происходит выбор и проектирование применяемой смеси для торкретирования (рисунок 3). Вариативность данного процесса позволяет определить уровень эксплуатационной надежности конструкции в зависимости от различных факторов.

И завершающий, но не менее важный этап – определение самой технологии торкретирования. Существует два основных метода торкретирования.

Мокрый метод распыления смеси представляет собой метод пневматического распыления, при котором затворенная бетонная смесь посредством специального бетононасоса подается к сопловому блоку для непрерывного набрызга под давлением в виде направленной струи.

Сухой метод распыления смеси представляет собой метод распыления, при котором цемент и заполнитель предварительно дозируются и перемешиваются перед подачей в специальный пневматический аппарат, из которого под высоким давлением вводятся в поток сжатого воздуха и через систему шлангов и трубопроводов подаются на сопловой блок, где смачиваются впрыскиваемой под давлением водой и распыляются в виде направленной струи на место укладки.

Стоит отметить, что за прошедшие десятилетия массового применения технологии она получила значительное развитие и разнообразие применения различных элементов оборудования, не только формирующие возможность ее широкого применения, но и повышающие общую производительность процесса.

Один из наиболее значимых вкладов в развитие торкретирования внесли отечественные ученые и рационализаторы, разработавшие методологию применения



Рис. 4. Применение сельскохозяйственных беспилотных средств в сельском хозяйстве
Fig. 4. Application of agricultural unmanned vehicles in agriculture

данной технологии при повышении огнестойкости конструкций, в том числе при ремонте футеровок в металлургических печах.

Стоит также отметить создание технологий по закреплению горных выработок и проходок на основе набрызга с применением торкрет-бетона, что привело не только к развитию строительной техники и методов производства работ, но и фактически дало импульс развития всей горнодобывающей отрасли [2; 4; 5; 6].

На 2023 год в России насчитывается 370 железобетонных градирен. Подавляющее количество их было построено в период Советского Союза и в настоящее время требует особого внимания и своевременного ремонта.

Конструктивной особенностью подобных сооружений являются их высотность и отсутствие возможности устройства систем подмащивания для создания промежуточных технологических уровней при ремонтных работах [3; 7].

Результаты

В развитие лучших традиций отечественной науки стоит рассмотреть возможность совершенствования существующих торкрет-технологий с применением имеющегося беспилотного оборудования.

Стоит отметить, что в настоящее время БПЛА широко применяются не только для осуществления динамических видеосъемок. Они хорошо себя зарекомендовали и



Рис. 5. Беспилотные летательные аппараты со взлетной массой более 100 кг: а) почтовые перевозки; б) перевозка грузов; в), г) беспилотное такси
Fig. 5. Unmanned aerial vehicles with a take-off weight of more than 100 kg: a) postal transportation; b) transportation of goods; c), d) unmanned taxi



Рис. 6. Применение БПЛА при пожаротушении
Fig. 6. Use of UAVs in firefighting

в сельском хозяйстве при обработке больших территорий от вредителей [4] (рисунок 4).

Транспортно-логистические и почтовые компании начали массовое применение коптеров для доставки различных товаров в указанные точки по заданному маршруту [8]. Интересны научно-технические разработки по созданию беспилотного такси, способного поднять одного или нескольких пассажиров и безопасно доставить их по нужному адресу (рисунок 5).

Еще одна разновидность использования коптеров – применение БПЛА при тушении пожаров. При этом взлетная масса обеспечивает подъем не только собственного веса коптера, но и пожарного рукава, подающего необходимое количество воды или пены в зону тушения (рисунок 6).

Стоит отметить, что собственный вес шлангов для подачи воды в пожарный БПЛА и раствороподающий рукав для торкрета сопоставимы. Для подачи воды применяется пожарный рукав высокого давления с наружным диа-

метром 68,1 мм, при этом его вес составляет 4,63 кг. Рукав для торкретирования при наружном диаметре 83 мм весит 3,3–3,8 кг/пог. м [9; 10].

Однако существенным отличием является масса подающейся смеси, которая составляет 2350–2480 кг/м³. Именно это и является существенным ограничением, влияющим на взлетную массу БПЛА.

Заключение

Подобные разработки создают предпосылки для создания различных технологических комбинаций, дающих возможность поднимать в воздух при помощи БПЛА шланг для подачи смеси торкретбетона практически на любую высоту. При этом возможно осуществление визуального контроля при помощи установленных камер.

Вариации подобной технологии могут заключаться в закреплении шланга с торкрет-бетоном с внешней части градилен и подаче его сверху, что значительно снизит взлетную массу БПЛА и даст возможность работы на значительных высотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями / Г. П. Тонких, О. А. Симаков, А. Б. Симаков, О. В. Кабанцев, С. М. Баев, П. С. Панфилов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2014. – № 6. – С. 57–69.
2. Вовк, А. И. «Реламикс торкрет»: механизм действия и особенности набора прочности торкрет-бетоном / А. И. Вовк // Технологии бетонов. – 2011. – № 11-12 (64-65). – С. 25–27.
3. Фам, Д. Т. Применение мелкозернистого торкрет-бетона для строительства туннелей метро / Фам Д. Т., Б. И. Булгаков, Танг В. Л. // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 81–90.
4. Воржева, Д. П. Установление рациональных параметров базальтофибробетонной смеси для торкрет-нанесения / Д. П. Воржева, Д. А. Казаков // Студент и наука. – 2019. – № 1. – С. 78–82.
5. Elwyn, H. King. Бê tông phun (Shotcrete) / Elwyn H. King, Nguyễn Đức Toàn // Tạp chí cầu đường Việt Nam. – 2002. – Tr. 17. (Нгуен Дык Тоан. Торкретбетон / Нгуен Дык Тоан, Elwyn H. King // Дорожный мост Вьетнама. – 2002. – С. 17.)
6. Phùng Mạnh Đắc. Bê tông phun trong xây dựng mỏ với quá trình tăng trưởng của ngành than / Phùng Mạnh Đắc // Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002. – 2002. – Tr. 1–3. (Фунг Мань Дак. Торкрет-бетонирование в горном строительстве в связи с процессом роста угольной промышленности / Фунг Мань Дак // Конференция «Технология торкрет-бетонного строительства в шахтах и при производстве подземных работ», Ханой, 2002. – 2002. – С. 1–3.)
7. Nguyễn Quang Phích. Khả năng sử dụng bê tông phun trong xây dựng công trình ngầm và mỏ / Nguyễn Quang Phích // Hội thảo: Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002. – 2002. – Tr. 5–12.
8. Tăng Văn Lâm. Bê tông công trình Ngầm và Mỏ / Tăng Văn Lâm, Đào Viết Đoàn. – Hà Nội : NXB Xây Dựng, 2015. – 378 tr. (Танг Ван Лам. Бетоны, предназначенные для строительства метро и шахт / Танг Ван Лам, Дао Виет Доан. – Ханой : Строительное издательство, 2015. – 378 с.)
9. Павлова, И. П. Экспериментальные исследования влияния расширяющейся добавки сульфаталюминатного типа на свойства торкрет-бетона / И. П. Павлова, К. Ю. Беломесова // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию научно-педагогической деятельности профессора Н. М. Бобковой, Минск, 25–27 октября 2017 г. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 32–35.
10. Đặng Trung Thành. Bài giảng môn học Đào chống lò, dùng cho sinh viên ngành khai thác hầm lò / Đặng Trung Thành ; Bộ môn Công trình Ngầm và Mỏ. – Hà Nội, 2015. – 135 tr. (Данг Чунг Тхань. Курс лекций для студентов высших учебных заведений горнодобывающей промышленности / Данг Чунг Тхань ; Департамент общественных работ и подземных шахт. – Ханой, 2015. – 135 с.)

REFERENCES

1. Ehksperimental'nye issledovaniya sejsmousileniya kamennoj kladki naruzhnymi betonnymi applikatsiyami [Experimental studies of seismic reinforcement of masonry with external concrete applications] / G. P. Tonkikh, O. A. Simakov, A. B. Simakov, O. V. Kabantsev, S. M. Baev, P. S. Panfilov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'nye konstruksii, zdaniya i sooruzheniya [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. Building structures, buildings and structures]. – 2014. – № 6. – P. 57–69.
2. Vovk, A. I. «Relamiks torkret»: mekhanizm dejstviya i osobennosti nabora prochnosti torkret-betonom [«Relamix shotcrete»: mechanism of action and features of strength gain with shotcrete] / A. I. Vovk // Tekhnologii betonov [Technologies of concrete]. – 2011. – № 11-12 (64-65). – P. 25–27.
3. Pham, D. Th. Primenenie melkozernistogo torkret-betona dlya stroitel'stva tunnelej metro [The use of fine-grained shotcrete for the construction of subway tunnels] / Pham Duc Thang, B. I. Bulgakov, Tang Van Lam // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – № 7. – P. 81–90.
4. Vorzheva, D. P. Ustanovlenie ratsional'nykh parametrov bazal'tofibrobetonnoj smesi dlya torkret-nanoseniya [Establishment of rational parameters of a basalt-fiber concrete mixture for shotcrete application] / D. P. Vorzheva, D. A. Kazakov // Student i nauka [Student and science]. – 2019. – № 1. – P. 78–82.
5. Elwyn, H. King. Bê tông phun (Shotcrete) / Elwyn H. King, Nguyễn Đức Toàn // Tạp chí cầu đường Việt Nam. – 2002. – Tr. 17.
6. Phùng Mạnh Đắc. Bê tông phun trong xây dựng mỏ với quá trình tăng trưởng của ngành than / Phùng Mạnh Đắc // Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002. – 2002. – Tr. 1–3.
7. Nguyễn Quang Phích. Khả năng sử dụng bê tông phun trong xây dựng công trình ngầm và mỏ / Nguyễn Quang Phích // Hội thảo: Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002. – 2002. – Tr. 5–12.
8. Tăng Văn Lâm. Bê tông công trình Ngầm và Mỏ / Tăng Văn Lâm, Đào Viết Đoàn. – Hà Nội : NXB Xây Dựng, 2015. – 378 tr.
9. Pavlova, I. P. EHksperimental'nye issledovaniya vliyaniya rasshiryayushhejsya dobavki sul'foaluminatnogo tipa na svojstva torkret-betona [Experimental studies of the effect of an expanding sulfoaluminate type additive on the properties of shotcrete] / I. P. Pavlova, K. Yu. Belomesova // Nauka i tekhnologiya stroitel'nykh materialov: sostoyanie i perspektivy ikh razvitiya : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashhennoj 60-letiyu nauchno-pedagogicheskoy deyatel'nosti professora N. M. Bobkovej, Minsk, 25–27 oktyabrya 2017 g. [Science and technology of building materials: state and prospects of their development : materials of the International scientific and technical conference dedicated to the 60th anniversary of the scientific and pedagogical activity of Professor N. M. Bobkova, Minsk, October 25–27, 2017]. – Minsk : BSTU, 2017. – P. 32–35.
10. Đặng Trung Thành. Bài giảng môn học Đào chống lò, dùng cho sinh viên ngành khai thác hầm lò / Đặng Trung Thành ; Bộ môn Công trình Ngầm và Mỏ. – Hà Nội, 2015. – 135 tr.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_4_169

Сравнительный анализ нормативной трудоемкости работ по капитальному ремонту в России и за рубежом

Comparative Analysis of the Standard Labor Intensity of Major Repairs in Russia and Abroad

Фатуллаев Рустам Сейфуллаевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», старший научный сотрудник Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, FatullaevRS@mgsu.ru

Fatullaev Rustam Seifullayevich

Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Research Fellow of the Scientific and Educational Center «Constructions, Technologies and Organization of Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, FatullaevRS@mgsu.ru

Ледовских Людмила Ивановна

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

Ledovskikh Lyudmila Ivanovna

Postgraduate student, Lecturer of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, LedovskikhLI@mgsu.ru

Боровкова Анастасия Евгеньевна

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, anastasik24@mail.ru

Borovkova Anastasia Evgenievna

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, anastasik24@mail.ru

Седов Дмитрий Сергеевич
Магистр кафедры «Технологии и организация строительного производства»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 9427744@mail.ru

Sedov Dmitry Sergeevich
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, Yaroslavskoe
shosse, 26, 9427744@mail.ru

Аннотация. Для устойчивого развития строительного комплекса России необходимо увеличить производительность труда. Все исследования, связанные с производительностью труда, являются актуальной задачей для компаний и государства в целом. Для анализа показателей эффективности производительности труда при капитальном ремонте были проанализированы данные о нормативной трудоемкости Германии и Австрии, которые занимают лидирующие позиции по производительности труда на один рабочий час времени. В настоящем исследовании рассмотрены затраты труда рабочих-строителей, задействованных в различных технологических процессах при капитальном ремонте в России и странах ЕС. Также в данной работе проведен сравнительный анализ фактических и нор-

мативных показателей производительности труда в России и странах ЕС. В итоге данной работы получен результат, показывающий отсутствие устойчивой корреляционной связи между трудоемкостями по совокупности рабочих процессов. В связи с полученными результатами было выдвинуто предположение о возможности выявления устойчивых связей в результате группирования технологических процессов по различным параметрам, что, в свою очередь, позволит выявить наличие и уровни влияния предполагаемых факторов на изменение производительности для разных стран.

Ключевые слова: производительность труда, затраты труда, технологические процессы, капитальный ремонт.

Abstract. For the sustainable development of the Russian construction complex, it is necessary to increase labor productivity. All research related to labor productivity is an urgent task for companies and the state as a whole. To analyze the efficiency indicators of labor productivity during major repairs, data on the standard labor intensity of Germany and Austria, which occupy leading positions in labor productivity per working hour, were analyzed. This study examines the labor costs of construction workers involved in various technological processes during major repairs in Russia and EU countries. As a result of this work, a result was obtained

showing the absence of a stable correlation between labor intensity for a set of work processes. In connection with the results obtained, it was suggested that it is possible to identify stable relationships as a result of grouping technological processes according to various parameters, which in turn will make it possible to identify the presence and levels of influence of the expected factors on changes in productivity for different countries.

Keywords: labor productivity, labor costs, technological processes, major repairs.

– провести обработку полученных данных, их сравнительный анализ, а также сопоставить полученные результаты.

Материалы и методы

Производительность труда определяется количеством продукции, вырабатываемой в единицу времени, или количеством рабочего времени, затрачиваемого на единицу продукции. Уровень производительности труда в строительной организации определяется следующими основными показателями: трудоемкостью, выработкой.

Для оценки уровня производительности труда в зарубежной статистике используют два показателя: валовый внутренний продукт (ВВП) на количество отработанных часов и ВВП на количество занятых.

В соответствии с методологией Международной организации труда (МОТ) показатель производительности труда определяется как объем произведенной продукции на единицу трудозатрат и использует два варианта расчета ПТ: ВВП на численность занятого населения и ВВП на количество отработанных часов.

Для сравнительного анализа нормативной трудоемкости работ по капитальному ремонту были выбраны страны, в которых уровень производительности труда по ВВП на один рабочий час с учетом паритета покупательской способности выше, чем в РФ, а также данные о трудоемкости строительных работ представлены в общем доступе. В качестве стран, подходящих под указанные критерии, попали Германия и Австрия. Из рисунка 1 видно, что валовый внутренний продукт (ВВП) на один рабочий час в России составляет 26,49 \$, в Германии 66,38 \$, в Австрии 56,07 \$.

Расчет показателя	Английский аналог
ПТ = ВВП / количество часов, отработанных занятым населением (долл./чел.-час)	Labour productivity = Gross domestic product / Hours worked
ПТ = ВВП / количество занятых (долл./чел.)	Labour productivity = Gross domestic product / Employed

Табл. 1. Показатели производительности труда (ПТ) в зарубежной статистике
Tab.1 Indicators of labor productivity (LP) in foreign statistics

Уровень производительности труда в строительстве в России и за рубежом регламентируется различной нормативной документацией, а также базируется на экономических принципах и подходах, на которых основана экономика конкретной страны.

В рассматриваемых европейских странах производительность труда специалистов, а также затраты на все виды работ и их выработка регламентированы строительными кодексами Международной организации строительных чиновников и администраторов норм БОСА (Building Officials and Code Administrators) [3–4]. Конечная стоимость различных видов работ в этих странах рассчитывается на основании строительного кодекса БОСА, основанного на ресурсном методе, а не единичными расценками, как в России и странах СНГ. Стоимость единицы работ регламентируется в каждом регионе своими подзаконными документами (National Building Code).

В Германии разработаны и успешно применяются европейские (EN) и международные (ISO) стандарты, а также нормативные документы Немецкого информационного центра стоимости строительства. Затраты труда в Германии и Австрии рассчитываются на основе Building Code of Germany и Building Code of Austria.

В странах бывшего СССР, таких как Казахстан, Таджикистан, Беларусь и др., строительные работы рассчитываются согласно Единым нормам и расценкам на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНИР) и их актуализированным аналогам.

В России при расчете производительности труда используются следующие нормативные документы: Государственные элементные сметные нормы (ГЭСН), Феде-

ральные единичные расценки (ФЕР), Территориальные единичные расценки (ТЕР).

Результаты

В процессе анализа документации, содержащей информацию о нормативной трудоемкости работ, были выбраны различные работы по капитальному ремонту, которые, в свою очередь, имеют максимально схожий состав работ. Затраты труда рабочих-строителей по данным видам работ в России приведены в таблице 2, а затраты труда рабочих-строителей по аналогичным работам в Австрии и Германии приведены в таблице 3 [5–10].

Сравнительный анализ затрат труда в России и странах ЕС (Германия, Австрия) по различным технологическим процессам капитального ремонта, а также различие затрат труда России от стран ЕС представлены в таблице 3 [11–13].

Для оценки наличия устойчивой взаимосвязи между показателями трудоемкости в РФ и совокупного показателя для стран ЕС был выбран метод парной регрессии. Этот метод применяют для наглядного изображения формы связи между изучаемыми экономическими показателями. В случае, если в результате применения метода парной регрессии будут выявлены устойчивые тесные взаимосвязи, можно будет говорить о наличии конкретных факторов, которые оказывают влияние на изменение трудоемкости, при отсутствии же таковых связей можно будет сделать вывод о том, что выявленные ранее отклонения имеют случайный характер.

На основании поля корреляции можно выдвинуть гипотезу (для генеральной совокупности) о том, что связь между всеми возможными значениями X и Y носит линейный характер.

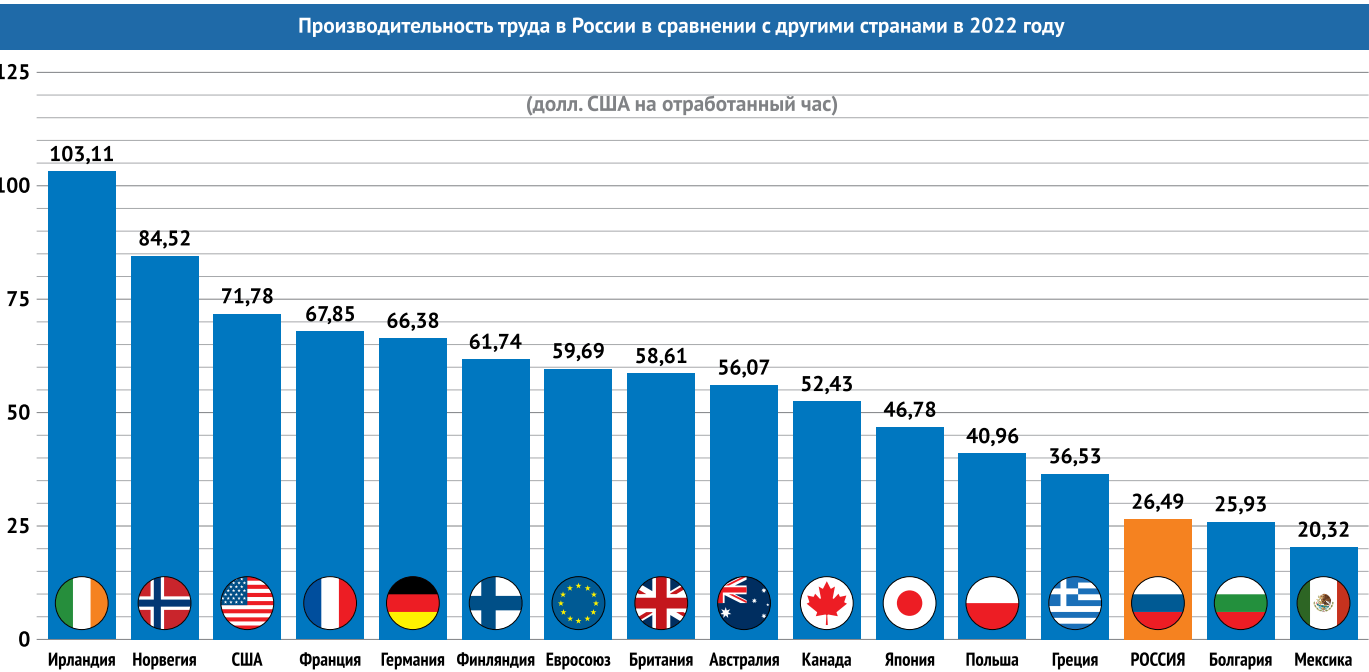


Рис. 1. Производительность труда в России и за рубежом в 2022 г.
Fig. 1. Labor productivity in Russia and abroad in 2022

№ пп.	Наименование технологического процесса	Наименование затрат	Единицы измерения	Количество	Нормативный документ
1	Разборка покрытий кровельных – из рулонных материалов 100 м ² покрытия	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 2	чел.-час	14,38	ГЭСН 46-04-008-01
2	Разборка покрытий кровель – из волнистых и полуволнистых асбестоцементных листов на 100 м ² покрытия	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 2	чел.-час	15,9	ГЭСН 46-04-008-04
3	Отбивка штукатурки с поверхности – стен и потолков кирпичных на 100 м ² покрытия	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 2	чел.-час	22,82	ГЭСН 46-002-009-02
4	Очистка вручную поверхности фасадов от перхлорвиниловых и масляных красок – с земли и лесов на 100 м ² расчищенной поверхности	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 2	чел.-час	20,8	ГЭСНр 62-41-01
5	Разборка трубопроводов из водогазопроводных труб в зданиях и сооружениях – на резьбе диаметром до 32 мм на 100 м трубопровода	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 3	чел.-час	37,8	ГЭСНр 65-14-01
6	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно-известковыми или цементными растворами по камню и бетону – простая стена на 100 м ² оштукатуриваемой поверхности	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 3, 5	чел.-час	75,4	ГЭСН 15-02-016-01
7	Разборка горизонтальных поверхностей бетонных конструкций при помощи отбойных молотков – бетон марки М100 на 1 м ² бетона	Затраты труда рабочих-строителей, разряд 3	чел.-час	9,74	ГЭСНр 69-19-01

Табл. 2. Затраты рабочих-строителей при различных технологических процессах капитального ремонта в России
Tab. 2. Costs of construction workers during various technological processes of capital repairs in Russia

Линейное уравнение регрессии имеет вид: $y = bx + a$.
Оценочное уравнение регрессии (построенное по выборочным данным) будет иметь вид: $y = bx + a + \varepsilon$, где ε_i – наблюдаемые значения (оценки) ошибок ε , a и b – соответственно оценки параметров α и β регрессионной модели, которые следует найти.

Здесь ε – случайная ошибка (отклонение, возмущение).

Причины существования случайной ошибки:

1. Невключение в регрессионную модель значимых объясняющих переменных;
2. Агрегирование переменных. Например, функция суммарного потребления – это попытка общего выражения совокупности решений отдельных индивидов о расходах. Это лишь аппроксимация отдельных соотношений, которые имеют разные параметры;
3. Неправильное описание структуры модели;
4. Неправильная функциональная спецификация;

№ пп.	Наименование	Затраты труда, чел.-час			Среднее значение затрат труда в странах ЕС, чел.-час	Отклонение затрат труда России от стран ЕС, %
		Россия	Германия	Австрия		
1	Разборка покрытий кровельных – из рулонных материалов	14,38	15,2	15,1	15,15	5
2	Разборка покрытий кровель – из волнистых и полуволнистых асбестоцементных листов	15,7	19,5	19,51	19,505	24
3	Отбивка штукатурки с поверхности – стен и потолков кирпичных	21,80	20,32	20,39	20,355	–7
4	Очистка вручную поверхности фасадов от перхлорвиниловых и масляных красок – с земли и лесов	19,08	20,5	20,3	20,4	7
5	Разборка трубопроводов из водогазопроводных труб в зданиях и сооружениях – на резьбе диаметром до 32 мм	36,4	35,1	35,1	35,1	–4
6	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно-известковыми или цементными растворами по камню и бетону – простая стена	73,4	71,7	71,67	71,685	–2
7	Разборка горизонтальных поверхностей бетонных конструкций при помощи отбойных молотков – бетон марки М100	9,94	9,92	9,92	9,92	–0,2
Среднее отклонение						3 %

Табл. 3. Сопоставление нормативных показателей производительности труда в России и в странах ЕС (Германия, Австрия)
Tab. 3. Comparison of actual labor productivity indicators in Russia and in the EU countries (Germany Austria)

x	y	x ²	y ²	x × y
14,38	15,15	206,7844	229,5225	217,857
15,17	19,505	230,1289	380,445	295,8909
21,8	20,355	475,24	414,326	443,739
19,08	20,4	364,0464	416,16	389,232
36,4	35,1	1324,96	1232,01	1277,64
73,4	71,685	5387,56	5138,7392	5261,679
9,94	9,92	98,8036	98,4064	98,6048
190,17	192,115	8087,5233	7909,6092	7984,6427

Табл. 4. Расчетная таблица
Tabl. 4. Calculation table

$$S = \sum (y_i - y \cdot i)^2 \rightarrow \min. \tag{1}$$

Система нормальных уравнений:

$$a \cdot n + b \cdot \sum x = \sum y; \tag{2}$$

$$a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x. \tag{3}$$

Для расчета параметров регрессии построим расчетную таблицу (таблицу 4).

Для наших данных система уравнений имеет вид:

$$7a + 190,17 \cdot b = 192,115; \tag{4}$$

$$190,17 \cdot a + 8087,523 \cdot b = 7984,643. \tag{5}$$

Домножим уравнение (1) системы на (–27.167), получим систему, которую решим методом алгебраического сложения:

$$-190,17a - 5166,348 b = -5219,188; \tag{6}$$

$$190,17 \cdot a + 8087,523 \cdot b = 7984,643. \tag{7}$$

Получаем:

$$2921,175 \cdot b = 2765,454; \tag{8}$$

откуда $b = 0,9467$.

Теперь найдем коэффициент a из уравнения (1):

$$7a + 190,17 \cdot b = 192,115; \tag{9}$$

$$7a + 190,17 \cdot 0,9467 = 192,115; \tag{10}$$

$$7a = 12,083; \tag{11}$$

$$a = 1,7261. \tag{12}$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии:
 $b = 0,9467, a = 1,7261$.

Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = 0,9467x + 1,7261. \tag{13}$$

Эмпирические коэффициенты регрессии a и b являются лишь оценками теоретических коэффициентов β , а само уравнение отражает лишь общую тенденцию в поведении рассматриваемых переменных.

Параметры уравнения регрессии

Выборочные средние:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{190,17}{7} = 27,167; \tag{14}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{192,115}{7} = 27,445; \tag{15}$$

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} = \frac{7984,64}{7} = 1140,663. \tag{16}$$

Выборочные дисперсии:

$$S(x)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 = \frac{8087,523}{7} - 27,167^2 = 417,31; \tag{17}$$

$$S(y)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2 = \frac{7909,61}{7} - 27,445^2 = 376,72. \tag{18}$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$S(x) = \sqrt{S^2(x)} = \sqrt{417,31} = 20,428; \tag{19}$$

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{376,72} = 19,409; \tag{20}$$

Коэффициент корреляции b можно находить по формуле, не решая систему непосредственно:

$$b = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S^2(x)} = \frac{1140,663 - 27,167 \cdot 27,445}{417,31} = 0,9467; \tag{21}$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 27,445 - 0,9467 \cdot 27,167 = 1,7261. \tag{22}$$

Коэффициент корреляции

Ковариация:

$$\text{cov}(x, y) = \overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y} = 1140,663 - 27,167 \cdot 27,445 = 395,06. \tag{23}$$

Рассчитываем показатель тесноты связи. Таким показателем является выборочный линейный коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{1140,663 - 27,167 \cdot 27,445}{20,428 \cdot 19,409} = 0,996. \tag{24}$$

Линейный коэффициент корреляции принимает значения от –1 до +1.

Связи между признаками могут быть слабыми и сильными (тесными). Их критерии оцениваются по шкале Чеддока:

- $0,1 < r_{xy} < 0,3$: слабая;
- $0,3 < r_{xy} < 0,5$: умеренная;
- $0,5 < r_{xy} < 0,7$: заметная;
- $0,7 < r_{xy} < 0,9$: высокая;
- $0,9 < r_{xy} < 1$: весьма высокая.

В нашем примере связь между признаком Y и фактором X весьма высокая и прямая.

Кроме того, коэффициент линейной парной корреляции может быть определен через коэффициент регрессии b :

$$r_{xy} = b \cdot \frac{S(x)}{S(y)} = 0,947 \cdot \frac{20,428}{19,409} = 0,996. \tag{25}$$

Значимость коэффициента корреляции

Выдвигаем гипотезы:

$H_0: r_{xy} = 0$, нет линейной взаимосвязи между переменными;

$H_1: r_{xy} \neq 0$, есть линейная взаимосвязь между переменными.

Для того чтобы при уровне значимости α проверить нулевую гипотезу о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции нормальной двумерной случайной величины при конкурирующей гипотезе $H_1 \neq 0$, надо вычислить наблюдаемое значение критерия (величина случайной ошибки):

$$t_{набл} = r_{xy} \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}; \tag{26}$$

и по таблице критических точек распределения Стьюдента, по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы $k = n - 2$ найти критическую точку $t_{крит}$ двусторонней критической области. Если $t_{набл} < t_{крит}$ – нет осно-

ваний отвергнуть нулевую гипотезу. Если $|t_{набл}| > t_{крит}$ – нулевую гипотезу отвергают.

$$t_{набл} = 0,996 \cdot \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{1-0,996^2}} = 26,244. \quad (27)$$

По таблице Стьюдента с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ и степенями свободы $k = 5$ находим $t_{крит}$:

$$t_{крит}(n-m-1; \alpha/2) = t_{крит}(5; 0,025) = 3,163; \quad (28)$$

где $m = 1$ – количество объясняющих переменных.

Если $|t_{набл}| > t_{критич}$, то полученное значение коэффициента корреляции признается значимым (нулевая гипотеза, утверждающая равенство нулю коэффициента корреляции, отвергается).

Поскольку $|t_{набл}| > t_{крит}$, то отклоняем гипотезу о равенстве 0 коэффициента корреляции. Другими словами, коэффициент корреляции статистически значим.

В парной линейной регрессии $t_r^2 = t_b^2$, и тогда проверка гипотез о значимости коэффициентов регрессии и корреляции равносильна проверке гипотезы о существенности линейного уравнения регрессии.

Интервальная оценка для коэффициента корреляции (доверительный интервал):

$$\left(r - t_{крит} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}; r + t_{крит} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \right). \quad (29)$$

Доверительный интервал для коэффициента корреляции:

$$\left(0,996 - 3,163 \sqrt{\frac{1-0,996^2}{7-2}}; 0,996 + 3,163 \sqrt{\frac{1-0,996^2}{7-2}} \right); \quad (30)$$
$$r \in (0,876; 1).$$

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии):

$$y_x = r_{xy} \cdot \frac{x - \bar{x}}{S(x)} \cdot S(y) + \bar{y} = 0,996 \frac{x - 27,167}{20,428} 19,409 + 27,445 = 0,947 \cdot x + 1,726. \quad (31)$$

Коэффициентам уравнения линейной регрессии можно придать экономический смысл.

Коэффициент регрессии $b = 0,947$ показывает среднее изменение результативного показателя (в единицах измерения y) с повышением или понижением величины фактора x на единицу его измерения. В данном примере с увеличением на 1 единицу y повышается в среднем на 0,947.

Коэффициент $a = 1,726$ формально показывает прогнозируемый уровень y , но только в том случае, если $x = 0$ находится близко с выборочными значениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мануйлова, А. Занятые, но не сделавшие : Росстат зафиксировал максимальное падение производительности в РФ с 2009 года / А. Мануйлова // Коммерсантъ : [электронный ресурс]. – URL: <https://kommersant.ru/turbopages.org/turbo/kommersant.ru/s/doc/6265867>.

2. Хуснуллин назвал низкой производительность труда в строительстве в РФ // Интерфакс : [электронный ресурс]. – URL: <https://interfax.ru/turbopages.org/interfax.ru/s/russia/874680>.

3. The BOCA basic mechanical code / Building Officials and Code Administrators International. – URL: <https://archive.org/details/bocabasicmechan00integoog/page/n16/mode/1up>.

4. Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze / National Building Code. – URL: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl120s1728.pdf#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D_1701370582566.

Но если $x = 0$ находится далеко от выборочных значений x , то буквальная интерпретация может привести к неверным результатам, и даже если линия регрессии довольно точно описывает значения наблюдаемой выборки, нет гарантий, что так же будет при экстраполяции влево или вправо.

Подставив в уравнение регрессии соответствующие значения x , можно определить выровненные (предсказанные) значения результативного показателя $y(x)$ для каждого наблюдения.

Связь между y и x определяет знак коэффициента регрессии b (если >0 – прямая связь, иначе – обратная). В нашем примере связь прямая.

Оценка параметров уравнения регрессии

Изучена зависимость Y от X . На этапе спецификации была выбрана парная линейная регрессия. Оценены ее параметры методом наименьших квадратов: $y = 0,947 \cdot x + 1,726$. Возможна экономическая интерпретация параметров модели – увеличение X на 1 ед. изм. приводит к увеличению Y в среднем на 0,947 ед. изм.

Линейный коэффициент корреляции равен 0,996, следовательно, связь между признаком Y и фактором X весьма высокая и прямая. Также подтверждается его значимость.

В то же время из таблицы 3 видно, что среднее отклонение затрат труда России по сравнению со странами ЕС составляет всего 3 % и варьируется от 0,2 % до 24 %, что может свидетельствовать о наличии определенных факторов, наличие которых может оказывать влияние на разницу в трудоемкостях.

Закключение

Полученные в результате исследования результаты показывают, что между совокупностью работ по капитальному ремонту присутствуют сильные устойчивые корреляционные связи, но в то же время были выявлены как существенные, так и незначительные отклонения по отдельным видам работ. Совокупность полученных результатов может свидетельствовать о том, что на изменение производительности могут влиять различные факторы, которые, в свою очередь, могут быть получены в результате дополнительного анализа. Предполагается, что дальнейшее группирование и анализ устойчивых взаимосвязей между показателями трудоемкости для разных видов работ по предполагаемым факторам позволят выявить наличие и степень влияния каждого из предполагаемых факторов.

pdf#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D_1701370582566.

5. Фатуллаев, Р. С. Оценка факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта в домах с разной формой собственности / Р. С. Фатуллаев, С. Р. Айдаров // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12 (102). – С. 119–122.

6. Фатуллаев, Р. С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев, Т. Э. Хаев // Перспективы науки. – 2019. – № 5(116). – С. 224–228.

7. Бидов, Т. Х. Разработка организационно-технологической модели потенциала устройства временного крепления стенок выемок при производстве работ нулевого цикла / Т. Х. Бидов, Р. Т. Аветисян // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 12. –

С. 427–431.

8. Бидов, Т. Х. Систематизация производственно-технической документации при возведении монолитных конструкций жилых зданий в зимний период / Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-466-471 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 466–471.

9. Modern Russian high-tech construction materials and their application in domestic construction industry (on example of metal-ceramic panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova. – DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Construction – The Formation of Living Environment, Moscow, 25–27 апреля 2018 года. – 2018. – Vol. 365, Iss. 3. – P. 032005.

10. Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации / А. А. Лapidus, Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. М. Николенко. – DOI 10.54950/26585340202323 // Строительное производ-

REFERENCES

1. Manuilova A. Busy, but not done : Rosstat recorded the maximum drop in productivity in the Russian Federation since 2009 [Zanyatye, no ne sdelayshie : Rosstat zafiksiroval maksimal'noe padenie proizvoditel'nosti v RF s 2009 goda] / A. Manuylova // Kommersant : [electronic resource]. – URL: <https://kommersant.ru/turbopages.org/turbo/kommersant.ru/s/doc/6265867>.

2. Khusnullin called low labor productivity in construction in the Russian Federation [Khusnullin nazval nizkoj proizvoditel'nost' truda v stroitel'stve v RF] // Interfax : [electronic resource]. – <https://interfax.ru/turbopages.org/interfax.ru/s/russia/874680>.

3. The BOCA basic mechanical code / Building Officials and Code Administrators International. – URL: <https://archive.org/details/bocabasicmechan00integoog/page/n16/mode/1up>.

4. Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze / National Building Code. – URL: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl120s1728.pdf#_bgbl_%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D_1701370582566.

5. Fatullaev, R. S. Otsenka faktorov, vliyayushhikh na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta v domakh s raznoj formoj sobstvennosti [Assessment of factors influencing the effectiveness of organizational and technological decisions when carrying out major repairs in houses with different forms of ownership] / R. S. Fatullaev, S. R. Aidarov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 12 (102). – P. 119–122.

6. Fatullaev, R. S. Ispol'zovanie sovremennykh stroitel'nykh materialov kak faktor, vliyayushhij na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta [The use of modern construction materials as a factor influencing the effectiveness of organizational and technological solutions during major repairs] / R. S. Fatullaev, T. E. Khaev // Perspektivy nauki [Perspectives of Science]. – 2019. – № 5 (116). – P. 224–228.

7. Bidov, T. Kh. Razrabotka organizatsionno-tekhnologicheskoy modeli potentsiala ustrojstva vremennogo krepleniya stenok vyemok pri proizvodstve rabot nulevogo tsikla [Development of an organizational and technological model of the potential of temporary fastening of the walls of recesses during the production of zero-cycle works] / T. Kh. Bidov, R. T. Avetisyan // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of Tula State University. Technical science]. – 2019. – № 12. – P. 427–431.

ство. – 2023. – № 2. – С. 3–7.

11. Мухамеджанова, О. Г. Статистический анализ при проведении межлабораторных сличительных испытаний / О. Г. Мухамеджанова, Л. Р. Сатлыкова. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-40-2-110-115 // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40). – С. 110–114.

12. Mukhamedzhanova, O. A method for calculating the uncertainty of the tensile strength during bending of concrete prisms used in the construction of transport infrastructure / O. Mukhamedzhanova, D. Dolgorukov. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.300 // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 2608–2613.

13. Mukhamedzhanova, O. Evaluation of the quality of measurements of the testing laboratory during interlaboratory comparative tests / O. Mukhamedzhanova, A. Borovkova // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering» (ERSME-2023), Rostov-on-Don, Russia, March 1-3, 2023. – 2023. – Vol. 376. – P. 01051.

8. Bidov, T. Kh. Sistematizatsiya proizvodstvenno-tekhnicheskoy dokumentatsii pri vozvedenii monolitnykh konstruksij zhi-lykh zdaniy v zimnij period [Systematization of production and technical documentation during the construction of monolithic structures of residential buildings in the winter] / T. Kh. Bidov, A. O. Khubaev. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-466-471 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical science]. – 2022. – № 2. – P. 466–471.

9. Modern Russian high-tech construction materials and their application in domestic construction industry (on example of metal-ceramic panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova. – DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Construction – The Formation of Living Environment, Moscow, April 25-27, 2018. – 2018. – Vol. 365, Iss. 3. – P. 032005.

10. Analiz stoimosti vypolnennykh rabot po kapital'nomu remontu obshhego imushhestva v mnogokvartirnykh zhi-lykh domakh v sub'ektakh Rossijskoj Federatsii [Analysis of the cost of work performed on major repairs of common property in multi-apartment residential buildings in the constituent entities of the Russian Federation] / A. A. Lapidus, R. S. Fatullaev, T. Kh. Bidov, D. M. Nikolenko. – DOI 10.54950/26585340202323 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 2. – P. 3–7.

11. Mukhamedzhanova, O. G. Statisticheskij analiz pri provedenii mezhlaboratornykh slichitel'nykh ispytaniy [Statistical analysis during interlaboratory comparison tests] / O. G. Mukhamedzhanova, L. R. Satlykova. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-40-2-110-115 // Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. – 2022. – № 2 (40). – P. 110–114.

12. Mukhamedzhanova, O. A method for calculating the uncertainty of the tensile strength during bending of concrete prisms used in the construction of transport infrastructure / O. Mukhamedzhanova, D. Dolgorukov. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.300 // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 2608–2613.

13. Mukhamedzhanova, O. Evaluation of the quality of measurements of the testing laboratory during interlaboratory comparative tests / O. Mukhamedzhanova, A. Borovkova // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering» (ERSME-2023), Rostov-on-Don, Russia, March 1-3, 2023. – 2023. – Vol. 376. – P. 01051.

Лапидус 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 Azarij 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, Yaroslavlshoe shosse, 26, lapidus58@mail.ru

Сафарян Геворг Борисович
Кандидат технических наук, докторант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, info.safaryan@gmail.com

Safaryan Gevorg Borisovich
Candidate of Engineering Sciences, Doctoral Student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research University Moscow University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia 129337, Moscow, Yaroslavlshoe shosse, 26, info.safaryan@gmail.com

Аннотация. Строительная система является сложной, многофакторной и динамичной структурой, в которую входят все этапы жизненного цикла объекта строительства, а также все участники строительной отрасли, задействованные как непосредственно, так и опосредованно. Организационно-технологическая надежность (ОТН) является одним из наиболее объективных показателей строительной системы, характеризующей ее способность быть реализованной в соответствии с проектными параметрами (сроки, стоимость, качество). Цель исследования – разработать концепцию математической модели расчета ОТН строительной системы, учитывающей все ее многофакторные риски, которая обеспечит возможность нивелирования сбоев системы и обеспечит более надежную реализацию процессов на всех этапах жизненного цикла объекта.

Проведен анализ научно-методической базы по теме исследования, применен комплексной подход к управлению жизненным циклом объекта строительства путем синтеза в единую математическую модель как жизненных этапов объекта, так и участников строительства.

Abstract. Construction System is a complex, multifactorial and dynamic structure that includes all stages of the life cycle of a construction project, as well as all participants of the construction industry involved both directly and indirectly. The organizational and technological reliability (OTR) is one of the most objective indicators of the construction system characterizing its ability to be realized in accordance with the project specifications (time, cost, quality). The purpose of the research is to develop the concept of mathematical model of calculation of OTR of the construction system, taking into account all its multifactorial risks, which will provide an opportunity to smooth the system failures and provide more reliable realization of processes on all stages of the object life cycle.

Analysis of scientific and methodological base on the topic of research was carried out, an integrated approach to the life cycle management of the construction object by synthesizing into a single mathematical model both the life phases of the object and the participants of the construction was applied.

Установлено отсутствие апробированных методов расчета ОТН строительной системы. Предложен комплексный подход в оценке надежности и рисков строительной системы, а также взаимосвязанности как этапов жизненного цикла объекта, так и участников строительной отрасли. Разработана концепция математической модели расчета ОТН строительной системы.

Предложенная концепция математической модели расчета ОТН строительной системы позволит производить расчеты вероятности возникновения рисков на всех этапах жизненного цикла объекта, производить вероятностный прогноз возникновения сбоев, формировать медианный вариант и доверительный интервал реализации жизненного цикла объекта. Это позволит контролировать каждый этап жизненного цикла объекта, обеспечивая его надежную реализацию, то есть соблюдая заданные проектные сроки, стоимость и качество.

Ключевые слова: строительная система, организационно-технологическая надежность, жизненный цикл, детерминированные риски, стохастические риски, имитационное моделирование.

The lack of approved methods of calculation of OTR of construction system is established. The complex approach in estimation of reliability and risks of construction system, and also interrelation of both stages of life cycle of object and participants of construction industry is offered. The concept of mathematical model for calculating OTR of the construction system is developed.

The proposed concept of the mathematical model of calculation of OTR of the construction system will allow to calculate probability of occurrence of risks at all stages of the object life cycle, to make probabilistic forecast of occurrence of failures, to form a median option and a confidence realization interval of the object life cycle. This will allow each stage of the project life cycle to be monitored to ensure that it is implemented reliably, namely, that it meets the project time, cost and quality requirements.

Keywords: construction system, organizational and technological reliability, life cycle, deterministic risks, stochastic risks, simulation modelling.

Введение

Жизненный цикл объекта (ЖЦО) строительства состоит из нескольких этапов – начиная с формирования концепции и технического задания, заканчивая эксплуатацией и дальнейшей реконструкцией объекта или его демонтажем [1]. Авторами рассматриваются девять обобщенных этапов жизненного цикла объекта строительства: техническое задание, изыскания, проектирование, производство строительных материалов, логистика, строительство, эксплуатация, реконструкция и демонтаж. При этом, как было отмечено в диссертационном исследовании [2], производство и логистика объединены в один этап со строительством, так как являются его неотъемлемой частью. Отклонения возникают на каждом из этапов ЖЦО. Существующие методы расчетов ОТН и/или рисков, как обратной надежности величины, распространяются только на отдельные этапы ЖЦО.

В целях интеграции метаматематического моделирования ОТН в существующие строительные системы было бы важно сначала собрать и проанализировать данные о текущем состоянии отрасли, включая статистику отклонений и проблем внутри системы. Собранные данные позволят определить ключевые области, нуждающиеся в улучшении, или, иначе говоря, выявить наиболее подверженные рискам области строительной системы. Разработанная математическая модель строительной системы позволит имитировать отклонения на ранних этапах и прогнозировать влияние различных решений этих проблем. Однако, учитывая необходимость сбора данных об отклонениях от запланированного результата (рисках/сбоях), фактически авторы должны запрашивать дискредитирующие опрашиваемый субъект данные, например, запрашивая у подрядных организаций сведения о количественных параметрах отклонений по бюджету или срокам строительства от данных, отраженных в ПОС. В этой связи для соблюдения объективности и непредвзятости исходных данных математическое моделирование должно осуществляться итерационно с проверкой полученных результатов теми же математическими и статистическими инструментами.

Модели, разработанные в рамках этого процесса, могут быть использованы для анализа и оптимизации различных аспектов строительной системы, включая организационную структуру, управление проектами и распределение ресурсов. Эти модели также могут быть использованы для симулирования воздействия различных нормативных актов на отрасль и для определения ключевых областей для дальнейших исследований и разработок.

Материалы и методы

В статье применены следующие методы научного исследования: научные принципы по теории развития

Характер рисков	Детерминированные риски	Стохастические риски
Внешние факторы	X_{11}	X_{12}
Внутренние факторы	X_{21}	X_{22}

X_{11} – внешние детерминированные риски строительной системы, X_{12} – внешние стохастические риски, X_{21} – внутренние детерминированные риски, X_{22} – внутренние стохастические факторы

Табл. 1. Общая структура рисков в СтС
Tab 1. General structure of risks in the construction system

строительных систем, системотехники строительства [3], методы системного и проектного анализа, методы математической статистики и имитационного моделирования (нечеткий метод анализа иерархий, нечеткая логика, системная динамика, FTA, PERT, Монте-Карло) [4; 5].

Результаты

Суть строительной системы (СтС) в виде многомерной матрицы, где в каждой плоскости (x, y, z) расположены все вышеуказанные участники строительства, все вышеописанные этапы жизненного цикла, а в пересекаемых плоскостях располагаются факторы (риски или сбои), влияющие на каждый последующий этап, авторы рассматривали ранее [6]. Чтобы понять общую ОТН СтС, важно рассмотреть взаимодействие всех этих факторов на конечный результат и то, как они влияют друг на друга. Для организации и визуализации различных типов факторов и их потенциального влияния на СтС можно рассмотреть матрицу факторов.

Общая матрица факторов, влияющих на ОТН СтС, может быть представлена математически с помощью комбинации матриц для внешних факторов, внутренних факторов, детерминированных факторов и стохастических факторов. Эти матрицы могут быть представлены набором переменных и соответствующих им значений, которые могут быть использованы для расчета общей надежности СтС.

Например, матрица внешних факторов может включать такие переменные, как состояние рынка, политическая стабильность и стихийные бедствия, а их соответствующие значения могут быть определены на основе вероятности их возникновения и влияния на строительную систему. Аналогично, матрица внутренних факторов может включать такие переменные, как управление проектом, ошибки проектирования и качество строительства, и их соответствующие значения могут быть определены на основе вероятности их возникновения и влияния на систему строительства. Матрицы детерминированных и стохастических факторов также могут быть представлены аналогичным образом, при этом переменные и соответствующие им значения определяются на основе вероятности их возникновения и влияния на строительную систему.

Комбинируя эти матрицы, можно рассчитать общую надежность СтС с учетом различных факторов, которые могут на нее повлиять.

Матрица факторов может быть представлена следующим образом (таблица 1).

ФР	ФР ₁	ФР ₂	ФР ₃	ФР ₄	ФР ₅	ФР ₆	ФР ₇	...	ФР _n	ΔС	ΔТ	ΔQ
1	+									% +	% +	% +
2		+										
3			+									
...				+								
9			+		+	+		+	+			

С – стадия жизненного цикла объекта; ФР – фактор риска;
1 – предпроектный этап; 2 – изыскания; 3 – проектирование;
4 – экспертиза; 5 – строительство; 6 – логистика;
7 – производство; 8 – эксплуатация; 9 – демонтаж/реконструкция

Табл. 2. Матрица рисков ЖЦО
Tab. 2. Life cycle risk matrix

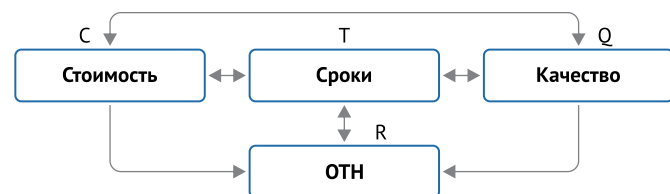


Рис. 1. Схема взаимного влияния факторов и влияния их на ОТН

Fig. 1. Diagram of the relative influence of factors and their impact on the OTR

Далее можно рассматривать влияние отклонений по стоимости, срокам и качеству на разных стадиях ЖЦО в зависимости от различных факторов риска (таблица 2).

В ранее представленных работах [7–11] рассматривался алгоритм расчета ОТН, в которых фигурировали зоны завышенной надежности, то есть области перерасхода ресурсов. Авторы данной статьи предлагают пересмотреть данную парадигму. Очевидно, что сроки, стоимость и качество влияют на надежность (рисунок 1).

Отобразим данную схему математическими операторами:

$$\Delta C \vee \Delta T \vee \Delta Q \Rightarrow \Delta R, \quad (1)$$

$$\Delta T \Leftrightarrow \Delta C, \quad (2)$$

$$\Delta Q \Leftrightarrow \Delta C, \quad (3)$$

$$\Delta Q \Leftrightarrow \Delta T. \quad (4)$$

Очевидно, что перерасход средств так же, как и чрезмерная экономия, будет влиять на надежность, так же как и затягивание сроков или чрезмерное сокращение сроков строительства, нарушающие технологию производства работ, или же завышенные требования по качеству, о которых, судя по всему, и говорил А. В. Гинзбург в своей работе [8].

В общем виде функция надежности может быть представлена в следующем виде:

$$R = 1 - P, \quad (5)$$

где R – надежность; P – вероятность отказа.

Вероятность отказа:

$$P(t) = e^{(-\lambda t)}, \quad (6)$$

где λ – интенсивность отказов.

При этом интенсивность отказа рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda = 1 / t_{om}, \quad (7)$$

где t_{om} – среднее время между отказами.

Следовательно, функция надежности будет иметь вид:

$$R(t) = e^{(-\lambda t)}. \quad (8)$$

С целью учета факторов риска (отклонений по времени, стоимости и качеству) необходимо внести корректировки в общую модель расчетов. Для этого применяются методы PERT-анализа, FTA и др. В частности, учет «коэффициента готовности» и дополнительная оценка риска/отказа:

$$K_z = \frac{t_{om}}{t_{om} + t_{uc}}, \quad (9)$$

где K_z – коэффициент готовности; t_{om} – среднее время отказа; t_{uc} – среднее время на исправление отказа.

$$F = P \times O, \quad (10)$$

где F – функция оценки риска; P – вероятность риска/отказа; O – последствия отказа/риска.

В дополнение к общей модели оценки надежности необходима оценка вероятностная:

$$P(R) = \prod_{i=1}^k [1 - F(t)]^{\frac{N}{n}}, \quad (11)$$

где $P(R)$ – вероятность надежности, $F(t)$ – вероятность отказа в момент времени t , N – общее количество компонентов в системе, а n – количество компонентов в системе, которые должны функционировать должным образом, чтобы система работала правильно.

Математически учет завышенности параметров стоимости (12) и качества (13) выполняется по следующим формулам:

$$R(C) = aC^b, \quad (12)$$

где $R(C)$ – надежность от стоимости; a – коэффициент масштабирования (весовой показатель влияния стоимости на надежность); C – стоимость; b – коэффициент степенного влияния:

Если $b > 0$, то надежность СтС будет увеличиваться с увеличением стоимости процессов.

Если $b < 0$, то надежность СтС будет уменьшаться с увеличением стоимости процессов.

Например, если $b = 1$, то надежность СтС будет увеличиваться прямо пропорционально стоимости процессов.

Если $b = -1$, то надежность СтС будет уменьшаться прямо пропорционально стоимости процессов.

$$R(Q) = \frac{1}{1 + e^{-aQ}}, \quad (13)$$

где: $R(Q)$ – надежность от качества; a – коэффициент наклона кривой:

Если $a > 0$, то надежность СтС будет увеличиваться с увеличением качества строительства.

Если $a < 0$, то надежность СтС будет уменьшаться с увеличением качества строительства.

Если коэффициент наклона $a = 2$, то надежность СтС будет увеличиваться от 0 до 1 с увеличением качества строительства от 0 до 0,5.

Если коэффициент наклона $a = -0,5$, то надежность СтС будет уменьшаться от 1 до 0 с увеличением качества строительства от 0 до 1.

Если коэффициент наклона $a = -2$, то надежность СтС будет уменьшаться от 1 до 0 с увеличением качества строительства от 0 до 0,5.

Влияние сроков на надежность учитывается с помощью PERT-анализа:

$$T = \frac{(O + 4M + P)}{6}, \quad (14)$$

где T – ожидаемое время реализации процесса; O (Optimistic Time) – кратчайшее время, за которое может быть выполнена задача; M (Most Likely Time) – наиболее реалистичное время с учетом типичных условий; P (Pessimistic Time) – наибольшее время, которое может потребоваться при неблагоприятных условиях.

$$SD = \sqrt{\sum P}, \quad (15)$$

$$z = \frac{T_o - T}{SD}, \quad (16)$$

$$T_p = T + SD \cdot z, \quad (17)$$

где SD – стандартное отклонение; z – стандартизованная оценка (z – оценка); T_o – продолжительность проекта; T_p – расчетная продолжительность.

Дальнейшие расчеты проводятся с применением различных уравнений, прежде всего, уравнений линейного программирования – это математические уравнения, которые используются для решения задач оптимизации, в которых целевая функция и ограничения представляют собой линейные функции. Данные уравнения применялись в рамках кандидатской диссертации [2]. Точки экстремума в данном случае – это пороговые предельно допустимые значения отклонений/надежности, внутри которых осуществляется поиск решений. Целевая функция – это функция, которую необходимо максимизировать или минимизировать. Ограничения – это условия, которые необходимо соблюдать при решении задачи.

Другим мощным инструментом расчета являются уравнения теории массового обслуживания (ТМО) – это математические уравнения, которые используются для моделирования систем массового обслуживания [12].

Цель уравнений ТМО – это определение характеристик системы массового обслуживания, таких как:

- средняя длина ожидания – среднее количество заявок, ожидающих обслуживания в системе;
- средняя продолжительность обслуживания – среднее время, которое требуется для обслуживания одной заявки;
- средняя задержка – среднее время, которое требуется заявке, чтобы пройти через систему;
- вероятность отказа – вероятность того, что заявка будет отклонена системой.

Уравнения ТМО могут быть разделены на две категории:

- Уравнения для систем массового обслуживания с ожиданием: эти уравнения используются для моделирования систем, в которых заявки ожидают обслуживания в очереди.
- Уравнения для систем массового обслуживания без ожидания: эти уравнения используются для моделирования систем, в которых заявки обслуживаются сразу же после поступления в систему.

Кроме того, возможно использование уравнения Маркова – уравнение используется для описания процессов, в которых состояние процесса в текущий момент времени зависит только от состояния процесса в предыдущий момент времени – или уравнения Пуассона – это уравнение используется для описания процессов, в которых события происходят независимо друг от друга и с определенной вероятностью.

Использование математического моделирования в строительной отрасли позволяет более точно и эффективно оценивать надежность строительной системы. Определение конкретных уравнений, используемых в ме-

таматематической модели строительной системы, будет зависеть от конкретных особенностей и целей модели.

Обсуждение

Проведенный анализ позволяет утверждать необходимость совершенствования существующих методов математической оценки ОТН и моделирования рисков. Конкретные уравнения, используемые в метаматематической модели строительной системы, будут зависеть от конкретных особенностей отдельного проекта и целей модели. Однако некоторые примеры уравнений, которые могли бы быть использованы в такой модели, включают:

1. Уравнения линейного программирования для оптимизации распределения ресурсов и планирования проекта.
2. Уравнения теории массового обслуживания для моделирования и анализа потока материалов и рабочей силы в процессе строительства.
3. Уравнения сетевого анализа для моделирования и анализа взаимоотношений между различными участниками строительной системы.
4. Уравнения стохастического процесса для моделирования и анализа неопределенности и риска в процессе строительства.
5. Уравнения теории игр для моделирования и анализа поведения участников процесса принятия решений в системе построения.
6. Имитационные уравнения для моделирования динамического поведения процесса строительства с течением времени.

Важно отметить, что эти уравнения являются всего лишь примерами, и точные используемые уравнения будут зависеть от конкретного вопроса исследования и доступных данных. Кроме того, для того чтобы сделать модель более точной, необходимо будет принять во внимание другие факторы, такие как специфика строительного рынка в России, особенности российской строительной отрасли и проблемы, которые являются уникальными для этого рынка.

Заключение

Кроме того, было бы важно создать механизм для регулярного обновления и доработки моделей на основе новых данных и результатов исследований. Современные технологии позволяют создавать на базе искусственного интеллекта механизмы постоянного автоматизированного тестирования и апробации моделей с помощью реальных данных, получаемых из проектов.

Внедрение метаматематического моделирования строительной системы имеет потенциал для значительного повышения эффективности отрасли, обеспечивая более точный и объективный подход к планированию и принятию решений, что позволит существенно сократить риски и повысить надежность, то есть обеспечить соблюдение проектных сроков, стоимости и качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафарян, Г. Б. Критический анализ обобщенной модели строительной системы / Г. Б. Сафарян // Строительство: наука и образование. – 2021. – № 11. – С. 41–47.
2. Сафарян, Г. Б. Надежность производственно-логистических процессов при организации строительства жилых зданий : дисс. канд. техн. наук : 05.02.22 / Сафарян Геворг Борисович ; МГСУ. – Москва, 2019. – 162 с.
3. Гусаков, А. А. Системотехника строительства / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1993. – 368 с.
4. Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method to Determine the Quality of Gemstones / M. S. Dwi Putra, S. Andryana, F. Kasyfi, A. Gunaryati. – Department of Informatics ; Universitas Nasional of Jakarta. – Indonesia, 2018. – 6 p.
5. Lorenz, E. N. Deterministic Nonperiodic Flow / E. N. Lorenz // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1963. – Vol. 20, Iss. 2. – P. 130–141.
6. Сафарян Г. Б. Жизненный цикл объекта строительства как часть строительной системы / Г. Б. Сафарян // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 62–65.

7. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург, Ю. Б. Монфред ; под ред. А. А. Гусакова. – Москва : SvR-Aргус, 1994. – 472 с.
8. Гинзбург, А. В. Организационно-технологическая надежность строительных систем / А. В. Гинзбург // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4-1. – С. 251–255.
9. Сокольников, В. В. Моделирование организационно-технологической надежности строительства / В. В. Сокольников // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4 (69). – С. 92–97.
10. Симонова, О. А. Оценка надежности календарного графика строительства моста / О. А. Симонова, О. А. Гнездилова // Молодая наука Сибири : [электронный ресурс]. – 2021. – № 11. – Режим доступа : <http://mnv.urgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. англ. (дата обращения: 11.05.2021).
11. Thoft-Cristensen, P. Structural Reliability Theory and Its Applications Softcover reprint of the original / P. Thoft-Cristensen, M. J. Baker. – 1982.
12. Солнышкина, И. В. Теория систем массового обслуживания : учеб. пособие / И. В. Солнышкина. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 76 с.

REFERENCES

1. Safaryan, G. B. Kriticheskiy analiz obobshchennoy modeli stroitel'noy sistemy [A generalized model of a building system: a critical analysis] / G. B. Safaryan // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2021. – № 11. – P. 41–47.
2. Safaryan, G. B. Nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov pri organizatsii stroitel'stva zhilykh zdaniy [Reliability of production and logistics processes in the organization of construction of residential buildings] : kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [thesis of Candidate of Technical Sciences : 05.02.22] / Safaryan Gevorg Borisovich ; MGSU. – Moscow, 2019. – 162 p.
3. Gusakov, A. A. Sistemotekhnika stroitel'stva [Construction System Engineering] / A. A. Gusakov. – Moscow : Strojizdat, 1993. – 368 p.
4. Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method to Determine the Quality of Gemstones / M. S. Dwi Putra, S. Andryana, F. Kasyfi, A. Gunaryati. – Department of Informatics ; Universitas Nasional of Jakarta. – Indonesia, 2018. – 6 p.
5. Lorenz, E. N. Deterministic Nonperiodic Flow / E. N. Lorenz // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1963. – Vol. 20, Iss. 2. – P. 130–141.
6. Safaryan, G. B. Zhiznennyi tsikl ob'ekta stroitel'stva kak chast' stroitel'noy sistemy [Life cycle of a construction object as part of the construction system] / G. B. Safaryan // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – № 2. – P. 62–65.
7. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadyozhnost' stroitel'stva [Organizational and technological reliability of construction] / A. A. Gusakov, S. A. Veremeenko, A. V. Ginzburg, Y. B. Monfred ; edited by A. A. Gusakov. – Moscow : SvR-Argus, 1994. – 472 p.
8. Ginzburg, A. V. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nykh sistem [Organizational and technological reliability of construction systems] / A. V. Ginzburg // Vestnik MGSU. – 2010. – № 4-1. – P. 251–255.
9. Sokol'nikov, V. V. Modelirovaniye organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva [Modeling of organizational and technological reliability of construction] / V. V. Sokol'nikov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of civil engineers]. – 2018. – № 4 (69). – P. 92–97.
10. Simonova, O. A. Otsenka nadezhnosti kalendarного grafika stroitel'stva mosta [Assessment of reliability of bridge construction schedule] / O. A. Simonova, O. A. Gnezdilova // Molodaya nauka Sibiri [Young science of Siberia : electronic resource]. – 2021. – No. 11. – Access mode : <http://mnv.urgups.ru/toma/111-2021>, free (date of access: 05/11/2021).
11. Thoft-Cristensen, P. Structural Reliability Theory and Its Applications Softcover reprint of the original / P. Thoft-Cristensen, M. J. Baker. – 1982.
12. Solnyshkina, I. V. Teoriya sistem massovogo obsluzhivaniya : ucheb. posobie [Theory of mass service systems : a textbook] / I. V. Solnyshchikina. – Komsomol'sk-na-Amure : KnAG-TU, 2015. – 76 p.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Статья или ее части не должны быть ранее опубликованы или находиться на рассмотрении в других изданиях. Автор несет 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), ученая степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.
7. Объем 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» издается 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 Ефимов В. В.

Главный редактор Липидус А. А.

Выпускающий редактор Бабушкина Д. Д.

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 4 (48) 2023
Дата публикации: 29 декабря 2023 года

Отпечатано в типографии ООО «PROMZONA»
105066, Москва, ул. Ольховская, д. 14, стр. 4
Тираж 550 экз. Свободная цена

Корректор Широкова М. А.
Дизайн и верстка: Соколов А. Е.



Телефон: +7 (495) 162 61 02
e-mail: info@build-pro.press
сайт журнала: www.build-pro.press

127018, РФ, Москва, Суцевский вал,
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405
сайт издательства: www.mosnec.com

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2023