

ISSN 2658-5340 (Print)



СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 2010 г.

**CONSTRUCTION
PRODUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**№1
2024**

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

Журнал включён в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)



**Лapidус
Азарий Абрамович**
ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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



СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕДАЧА ФУНКЦИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА И ПОДРЯДЧИКА АУТСОРСИНГОВОЙ КОМПАНИИ
Лapidус А. А., Щукин А. Ю. 3

ВЫБОР ТИПА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНЖИНИРИНГОВОЙ КОМПАНИИ
Пасканый В. И. 8

ПУТИ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА СРЕДСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ
Топчий Д. В., Мартос В. В. 12

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
Коротеев Д. Д., Рвачёв О. М., Памшева С. В. 20

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВНЕДРЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВО
Болотова А. С., Сабанчиева М. Х., Филатов А. А., Трошин Р. А. 26

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В КОНТЕКСТЕ ОПТИМИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ
Лapidус А. А., Янь Ц. 30

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ТРЕБОВАНИЙ К ЦИФРОВЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ МОДЕЛЯМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
Фомин Н. И., Серёгина Н. Ю., Сербин С. А. 36

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНЫХ ДОМКРАТОВ РАМНЫХ ЛЕСОВ ПРИ СЖАТИИ
Бунт А. М. 46

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ
Топчий Д. В., Голованов А. Ю., Газдаров А. А. 51

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЛОНГАЦИЮ МЕЖРЕМОНТНЫХ СРОКОВ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА
Дехтёр Е. В. 56

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА СВАЙНЫХ РАБОТ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Мищенко В. Я., Потехин И. А., Казаков Д. А., Ткаченко А. Н., Добросоцких М. Г. 60

РАЗВИТИЕ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНТЕКСТЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ОСНАЩЁННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА
Лapidус А. А., Тускаева З. Р. 65

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА ПО ЭТАПАМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТА
Топчий Д. В., Токарский А. Я., Лавреняк И. В., Газдаров А. А. 70

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА
Маилян Л. Д., Зеленцов Л. Б., Пирко Д. В., Свитенко Д. В., Тузлуков К. В. 75

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ КАРКАСОВ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ
Сунцов А. С., Клековкин Е. А. 80

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ
Лapidус А. А., Тускаева З. Р., Соколова Е. И. 85

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Морозенко А. А., Швец Н. С.

91

ФОРМИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Топчий Д. В., Каширцев М. С., Ларин А. А., Тихонов А. А.

96

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПОРТАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Маилян Л. Д., Зеленцов Л. Б., Илюшин С. А., Пирко Д. В., Свитенко Д. В.

101

ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Топчий Д. В., Альоода О. Д., Наджи А. Д., Мохамед И. А. М.

105

Материалы IX Международной научно-практической конференции
«Технологии, организация и управление в строительстве» ТОМиС-2023

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Лapidус А. А., Шевченко И. С.

112

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Хрусталёв Б. Б., Каргин А. А.

118

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВНУТРИКВАРТАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ЭТАПЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Толстикова В. С.

122

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ, НА ПРИМЕРЕ Г. ДУДИНКА

Суслов Д. Н., Данилович Е. В.

128

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИБРОБЕТОНА ПО АЛГОРИТМУ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Леонович С. Н., Садовская Е. А., Монахов Б. Е.

135

ВОЗВЕДЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В Г. ГРОЗНЫЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ

Муртазаев С.-А. Ю., Алиев С. А., Сайдумов М. С., Муртазаев И. С.-А.

143

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

Lapidus Azariy Abramovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGUSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavlshoshe, 26, lapidus58@mail.ru

Шукин Алексей Юрьевич
Студент магистратуры, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 89834045064@mail.ru

Shchukin Aleksey Yurievich
Master's student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGUSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavlshoshe, 26, 89834045064@mail.ru

Аннотация. Проведение строительного контроля является неотъемлемой частью мероприятий, направленных на управление строительным процессом с целью выявления недостатков при строительстве и достижения ожидаемых результатов. Строительный контроль отвечает за качество и безопасность выполняемых работ, а также является обязательным этапом при строительстве любого объекта. Цель исследования – сформировать организационную структуру взаимодействия участников при проведении строительного контроля отдельной консалтинговой компанией. Задача исследования – проанализировать существующие структуры строительного контроля.

В выдвинутой гипотезе предполагается, что передача функций строительного контроля от генерального подрядчика и технического заказчика к консалтинговой компании может повысить эффективность управления и улучшить качество вы-

полненных работ в сфере строительного контроля. Для отражения взаимодействия между участниками будет использоваться диаграмма IDEFO. Она отображает основные контролируемые параметры процессов и основных участников строительного контроля. Для формирования организационной структуры на основе диаграммы IDEFO будет использована матрица ответственности RACI, которая отобразит взаимодействие между участниками строительной организации. Результатом исследования является организационная структура консалтинговой компании по строительному контролю в виде блок-схемы с функциональным взаимодействием всех участников компании.

Ключевые слова: строительный контроль, консалтинговая компания, организационная структура, декомпозиция IDEFO, матрица ответственности RACI, функциональные блоки, организация строительства.

Abstract. Construction control is an integral part of the organization of activities aimed at compliance and management of the construction process in order to identify deficiencies in construction and achieve the expected results. Construction control is responsible for the quality and safety of work performed, and is a mandatory stage in the construction of any object. The purpose of the study is to form an organizational structure of interaction of participants in the construction control by a separate consulting company. The task of the study is to analyze the existing structures of construction control. In the put forward hypothesis, it is assumed that the transfer of construction control functions from the general contractor and technical customer to the consulting company can increase the efficiency of management and improve the quality of work performed in the field of construction control.

Введение

Строительная деятельность – это ключевой сегмент экономики и важный элемент комфорта и безопасности граждан, но успешное завершение строительных объектов требует соблюдения сроков, качества и контроля за последовательностью работ. Строительный контроль является обязательным этапом при строительстве любого объекта и отвечает за контроль качества и безопасность выполняемых работ [1].

Задача данной статьи – формирование организационной структуры взаимодействия участников при проведе-

An IDEFO diagram will be used to reflect the interaction between the participants. It shows the main controllable parameters over the processes and the main participants of construction control. To form the organizational structure on the basis of IDEFO diagram the RACI responsibility matrix will be used, which will reflect the interaction between the participants of the construction organization. The result of the study is the organizational structure of the construction control consulting company in the form of a block diagram with functional interaction of all participants of the company.

Keywords: construction control, consulting company, organizational structure, IDEFO decomposition, RACI responsibility matrix, functional blocks, construction organization.

нии строительного контроля отдельной консалтинговой компаний.

Согласно СП 48.13330.2019 «Организация строительства», строительный контроль на территории Российской Федерации осуществляют технический заказчик и генеральный подрядчик. Изучив статьи различных авторов, можно сделать вывод, что детально никто из научного сообщества не рассматривал передачу функций генерального подрядчика и технического заказчика отдельной аутсорсинговой компании [2–6].

Ответственным лицом за организацию строительного контроля данной компании будет застройщик. В Поста-

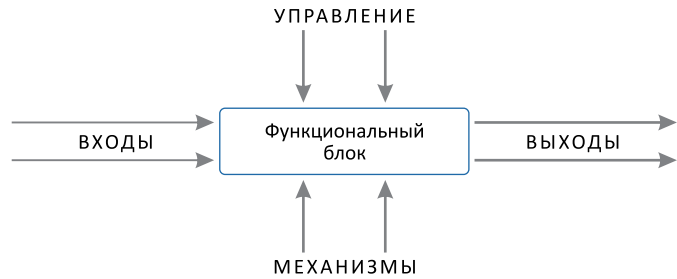


Рис. 1. Описание функционального блока
Fig. 1. Description of the functional block

новлении Правительства № 468 представлены нормативы расходов на осуществление строительного контроля при строительстве объекта в зависимости от стоимости строительства. Данные денежные средства будут переданы консалтинговой компании на осуществление строительного контроля.

В данной статье рассматривается вариант передачи функций строительного контроля от технического заказчика и генерального подрядчика консалтинговой компании.

Материалы и методы

На основе прошлых исследований была создана декомпозиция строительного контроля с использованием функционально-ориентированной методологии анализа IDEF0 [7; 8; 9]. Основной идеей данного метода является описание связей между элементами системы и потоками входящей и исходящей информации (рисунок 1) [10; 11; 12].

Функциональный блок А0 при передаче функции строительного контроля консалтинговой компании от генерального подрядчика и технического заказчика представлен на рисунке 2.

Для описания функциональных зависимостей необходимо создать декомпозицию функционального блока А0.

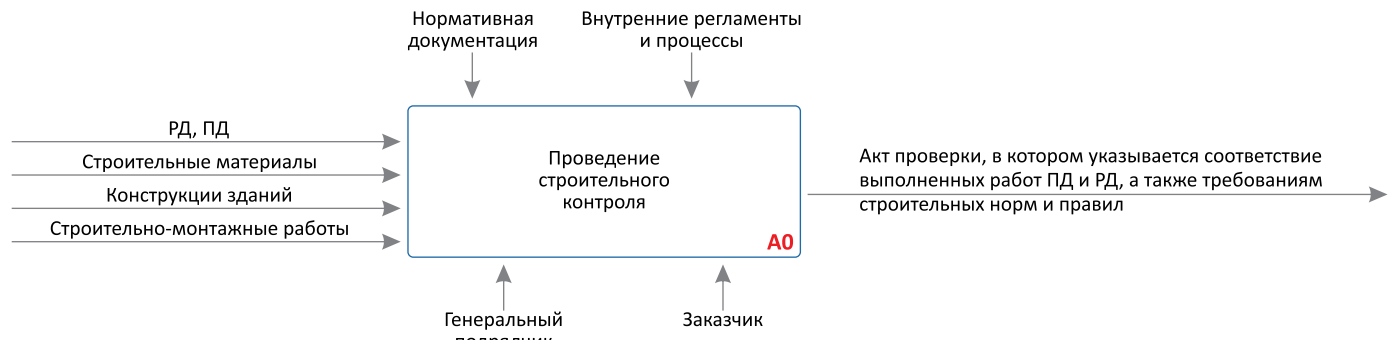


Рис. 2. Декомпозиция функционального блока А0
Fig. 2. Decomposition of the functional block A0

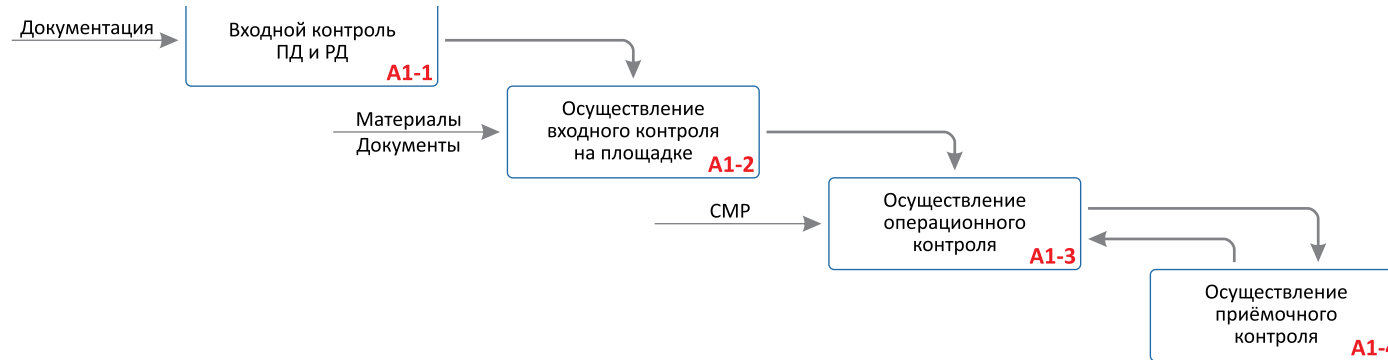


Рис. 3. Декомпозиция уровня А1
Fig. 3. Level A1 decomposition

Декомпозиция функционального блока А1 представлена на рисунке 3.

Функциональный блок А1-1 отвечает за входной контроль проектной и рабочей документации. Входящей информацией для него является документация.

Функциональный блок А1-2 отвечает за осуществление входного контроля на строительной площадке. Входящей информацией для него является блок А1-1, материалы и документы.

Функциональный блок А1-3 отвечает за осуществление операционного контроля. Входящей информацией для него является блок А1-2 и строительно-монтажные работы.

Функциональный блок А1-4 отвечает за осуществление приёмочного контроля. Входящей информацией для него является блок А1-3.

Данные функциональные блоки будут являться основными блоками в консалтинговой компании.

Для формирования организационной структуры применяется матрица ответственности RACI, которая представляет собой системный подход к распределению ролей и ответственностей в рамках задач и процессов между участниками строительства. На пересечении между исполнителем и задачей ставят буквы, которые обозначают следующее:

- А-участники – ответственные за каждую задачу проекта;
- R-участники – исполнители задач;
- I-участники – исполнители, которых нужно информировать о ходе работ;
- С-участники – консультанты.

На основе матрицы ответственности, которая отражает основные задачи и исполнителей, будет сформирована организационная структура в виде блок-схемы с иерархией и взаимодействием участников.

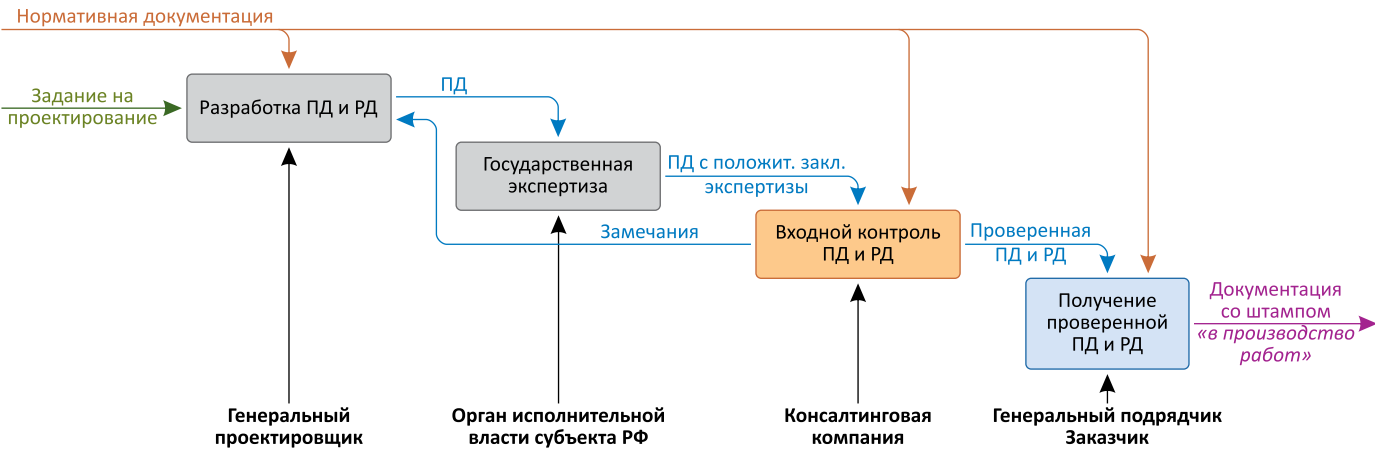


Рис. 4. Декомпозиция функционального блока А1-1 консалтинговой компании
Fig. 4. Decomposition of the functional block A1-1 of the consulting company

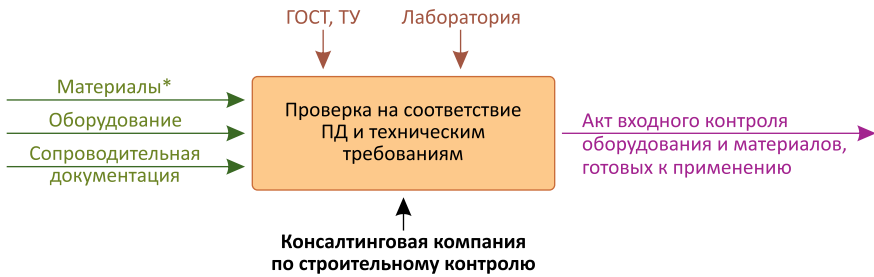


Рис. 5. Декомпозиция функционального блока А1-2 консалтинговой компании
Fig. 5. Decomposition of the functional block A1-2 of the consulting company

Результаты

Для описания взаимодействий функциональных блоков необходимо произвести декомпозицию каждого из них.

Декомпозиция функционального блока А1-1 (входной контроль ПД и РД) представлена на рисунке 4.

Декомпозиция функционального блока А1-2 (осуществление входного контроля на строительной площадке) представлена на рисунке 5.

Декомпозиция функционального блока А1-3 (осуществление операционного контроля) представлена на рисунке 6.

Декомпозиция функционального блока А1-4 (осуществление приёмочного контроля) представлена на рисунке 7.

Для формирования организационной структуры используется матрица ответственности RACI [13], где функциональные блоки А1-1, А1-2, А1-3, А1-4 являются основными блоками консалтинговой компании.

Матрица ответственности RACI представлена в таблице 1.

После построения матрицы ответственности RACI можно наглядно увидеть распределение ответственности между участниками строительного контроля.

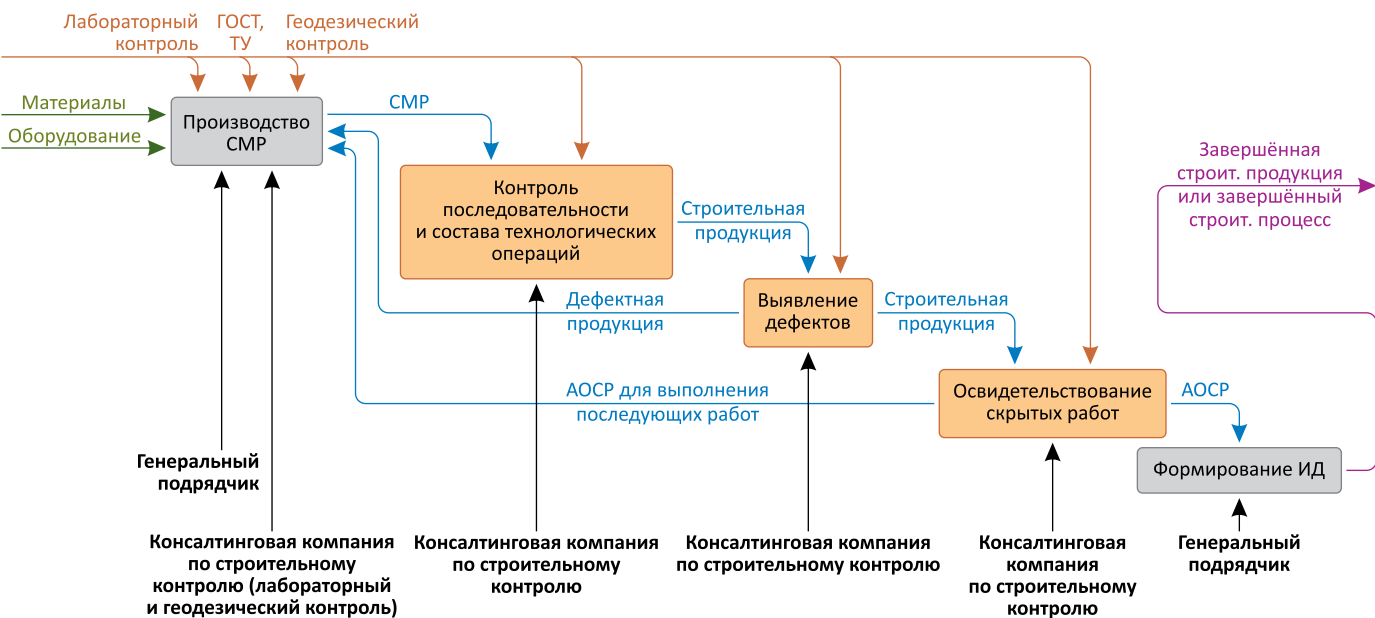


Рис. 6. Декомпозиция функционального блока А1-3 консалтинговой компании
Fig. 6. Decomposition of the functional block A1-3 of the consulting company

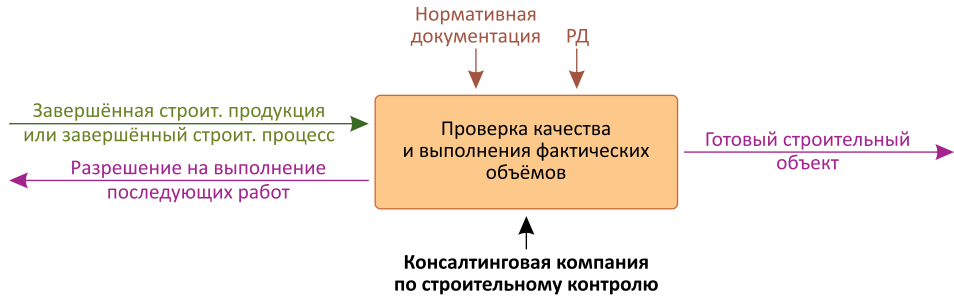


Рис. 7. Декомпозиция функционального блока A1-4 консалтинговой компании
Fig. 7. Decomposition of the functional block A1-4 of the consulting company

Исходя из этих данных мы можем составить организационную структуру с точным распределением ответственности и функций между всему участниками строительного процесса.

Исходя из IDEFO и матрицы ответственности RACI была составлена организационная структура консалтинговой компании с функциональным взаимодействием между участниками, представленная на рисунке 8.

Обсуждение

По результатам проведённого исследования были сделаны выводы, интересные для научного сообщества:

- 1. Проанализированы существующая литература и организация строительного контроля на территории РФ и сделан вывод, что строительный контроль практически не рассматривался как отдельная консалтинговая компания, выполняющая все функции строительного контроля.

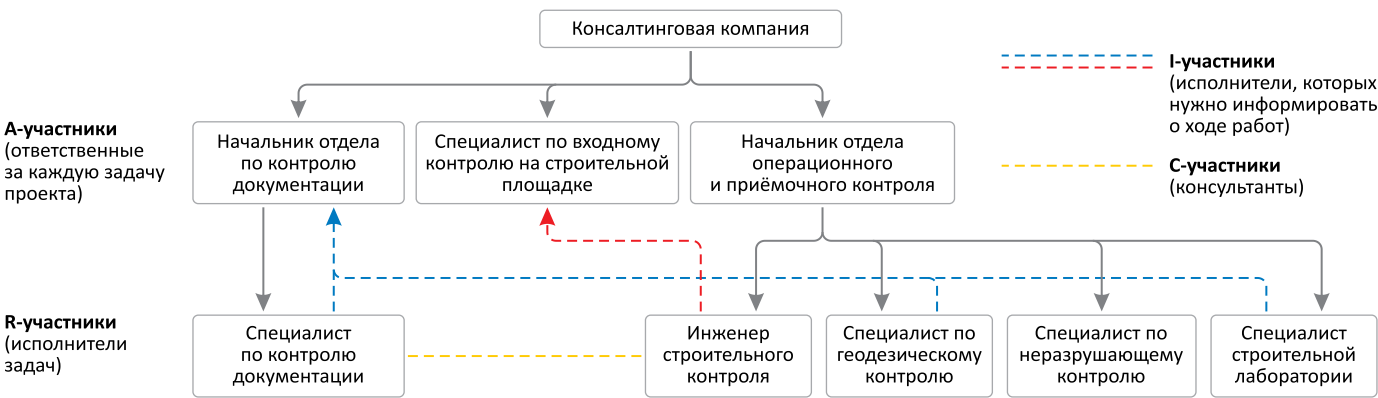


Рис. 8. Организационная структура консалтинговой компании с функциями строительного контроля
Fig. 8. Organizational structure of the construction control consulting company

- 2. Представлена декомпозиция строительного контроля отдельной консалтинговой компании при помощи методологии IDEFO.
- 3. При помощи матрицы ответственности RACI представлена взаимосвязь между исполнителями и выполняемыми задачами при проведении строительного контроля консалтинговой компанией.
- 4. Сформирована организационная структура с функциональными взаимодействиями между участниками консалтинговой компании по строительному контролю.

Заключение

В результате исследования была сформирована организационная структура консалтинговой компании по строительному контролю в виде блок-схемы с функциональным взаимодействием всех участников компании. Ключевыми элементами исследования являются передача функций строительного контроля отдельной компании, структуризация и распределение ответственности при помощи методологии IDEFO и матрицы ответственности RACI.

№ п. п.	Задачи ответственных лиц / Ответственные лица	Консалтинговая компания							
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1-1. Входной контроль ПД и РД									
1	Входной контроль ПД и РД, переданный от генерального проектировщика		A						
1.1	ПД		A						
1.1.1	Проверка на комплектность		A	C	R				
1.1.2	Проверка на соответствие действующей нормативно-технической документации		A	C	R				
1.1.3	Проверка на соответствие утверждённому техническому заданию на проектирование		A	C	R				
1.1.4	Проверка корректности оформления, состава и содержания		A	C	R				
1.1.5	Проверка наличия согласований и утверждений		A	C	R				
1.2	РД		A						
1.2.1	Проверка на комплектность и достаточность информации для осуществления строительства		A	C	R				
1.2.2	Проверка на соответствие действующей нормативно-технической документации		A	C	R				
1.2.3	Проверка на соответствие утверждённым решениям в составе проектной документации		A	C	R				
1.2.4	Достаточность и полнота информации для выполнения строительно-монтажных работ		A	C	R				
1.2.5	Анализ соответствия указанных в ПОС организационно-технологических решений		A	C	R				
1.2.6	Проверка на наличие требований к фактической точности контролируемых параметров	I	A	C	I		I		R
1.2.7	Проверка на наличие указаний о методах контроля и измерений, в том числе в виде ссылок на соответствующие документы по стандартизации на применяемые материалы, изделия, конструкции, оборудование, технологии, содержащие указания о методах контроля	I	A	C	I		I		R
1.3	Передача проверенной ПД и РД заказчику		A						
A1-2. Осуществление входного контроля на строительной площадке									
2.1	Проверка материалов на соответствие ПД и техническим требованиям	A	R			I			
2.2	Проверка оборудования на соответствие ПД и техническим требованиям	A	R			I			
2.3	Проверка сопроводительной документации	A	R						
A1-3. Осуществление операционного контроля									
3.1	Приёмка геодезической сети, закреплённой на местности					A	R		
3.2	Непрерывный контроль геометрических параметров и планово-высотных отметок					A	R		
3.3	Осуществление лабораторного контроля, включающего все виды неразрушающего контроля, электролабораторию и строительную испытательную лабораторию					A		R	R
3.4	Контроль последовательности и состава технологических операций			C	R	A			
3.5	Выявление дефектов				R	A			
3.6	Освидетельствование скрытых работ				R	A			
A1-4. Осуществление приёмочного контроля									
4.1	Проверка качества и выполнение фактических объёмов				R	A			
4.2	Проверка выполненных работ на соответствие рабочей и нормативной документации			C	I	R	A		
Примечание. Наименование столбцов 3–10: А – специалист по входному контролю на строительной площадке; Б – начальник отдела по контролю документации; В – специалист по контролю документации; Г – инженер строительного контроля; Д – начальник отдела операционного и приёмочного контроля; Е – специалист по геодезическому контролю; Ж – специалист по неразрушающему контролю; И – специалист строительной лаборатории									

Табл. 1. Матрица ответственности RACI консалтинговой компании строительного контроля
Tab. 1. RACI Responsibility Matrix of a construction control consulting company

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пшеничникова, Я. В. Роль строительного контроля и надзора при реализации инвестиционно-строительных проектов / Я. В. Пшеничникова, Л. В. Марыгина // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2022. – № 1. – С. 137–140.

2. Лapidus, A. A. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика / А. А. Лapidus, А. Н. Макаров // Вестник МГСУ. – 2022. – № 2 (17). – С. 232–241.

3. Лapidus, A. A. Риск-ориентированный строительный контроль технического заказчика / А. А. Лapidus, А. Н. Макаров, Р. В. Волков // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 2–6.

4. Акулов, А. О. Анализ современных видов контроля строительных работ и проблемы их развития / А. О. Акулов, А. О. Рада, С. А. Кононова // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 9. – С. 73–79.

5. Скакалов, В. А. Организационно-технологическая модель ведения строительного контроля как средство сведения к минимуму финансовых и временных затрат заказчика / В. А. Скакалов // Символ науки. – 2018. – № 06. – С. 20–24.

6. Зуева, Д. Д. Унификация контрольных мероприятий при проведении строительного контроля / Д. Д. Зуева // Строительное производство. – 2021. – № 4. – С. 39–43.

7. Владимцев, Н. В. Принцип моделирования бизнес-процессов в стандарте IDEFO / Н. В. Владимцев, И. В. Извольская //

REFERENCES

1. Pshenichnikova, Ya. V. Rol' stroitel'nogo kontrolya i nadzora pri realizatsii investitsionno-stroitel'nykh proektov [The role of construction control and supervision in the implementation of investment and construction projects] / Ya. V. Pshenichnikova, L. V. Marygina // Dal'nij Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa [Far East: problems of development of the architectural and construction complex]. – 2022. – No. 1. – Pp. 137–140.

2. Lapidus, A. A. Primenenie risk-orientirovannogo podkhoda pri vypolnenii funktsij stroitel'nogo kontrolya tekhnicheskogo zakazchika [The use of a risk-based approach in performing

Экономический анализ: теория и практика. – 2008. – № 9 (114). – С. 11–17.

8. Building Functional Diagram of Cargo Delivery to Describe and Research Processes in Freight Forwarding Company based on the IDEFO Standard (SADT) / E. V. Kiseleva, T. B. Dambiev, V. E. Stepanets, S. S. Valkova // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 988, Ch. 1. – Art. 022060.

9. Functional and information modeling of production using IDEF methods / V. Serifi, P. Dašić, R. Ječmenica, D. Labović // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 55, Iss. 2. – P. 131–140.

10. Чемисов, С. Б. Применение методологии IDEFO с целью моделирования бизнес-процессов на предприятии / С. Б. Чемисов // Проблемы современной экономики. – 2009. – № 4. – С. 446–449.

11. Automation of strategy using IDEFO – A proof of concept / G. R. Waissi, M. Demir, J. E. Humble, B. Lev // Operations Research Perspectives. – 2015. – Vol. 2. – Pp. 106–113.

12. Analysing the antecedents to digital platform implementation for resilient and sustainable manufacturing supply chains - An IDEFO modelling approach / A. Chari, J. Stahre, M. Bärning, M. Despeisse, D. Li, M. Friis, M. Mörstam, B. Johansson // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 429. – Art. 139598.

13. Налбандян, Г. Г. Оптимизация распределения полномочий и ответственности по методике RACI / Г. Г. Налбандян, Е. Б. Кушниренко // Стратегии бизнеса. – 2014. – № 4. – С. 33–36.

the functions of construction control of a technical customer] / А. А. Лapidus, А. Н. Макаров // Вестник МГСУ [Bulletin of the MGSU]. – 2022. – No. 2 (17). – Pp. 232–241.

3. Lapidus, A. A. Risk-orientirovannyj stroitel'nyj kontrol' tekhnicheskogo zakazchika [Risk-oriented construction control of a technical customer] / А. А. Лapidus, R. V. Volkov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 2–6.

4. Akulov, A. O. Analiz sovremennykh vidov kontrolya stroitel'nykh rabot i problemy ikh razvitiya [Analysis of modern types of control of construction works and problems of their development] / А. О. Акулов, А. О. Рада, С. А. Кононова // Sovremennye

naukoemkie tehnologii [Modern high-tech technologies]. – 2023. – No. 9. – Pp. 73–79.

5. Skakalov, V. A. Organizatsionno-tehnologicheskaya 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 financial and time costs of the customer] / V. A. Skakalov // Simvol nauki [Symbol of Science]. – 2018. – No. 06. – Pp. 20–24.

6. Zueva, D. D. Unifikatsiya kontrol'nykh meropriyatij pri provedenii stroitel'nogo kontrolya [Unification of control measures during construction control] / D. D. Zueva // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – No. 4. – Pp. 39–43.

7. Vladymtsev, N. V. Printsip modelirovaniya biznes-protssessov v standarte IDEF0 / N. V. Vladymtsev, I. V. Izvolskaya // Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika [Economic analysis: theory and practice]. – 2008. – No. 9 (114). – Pp. 11–17.

8. Building Functional Diagram of Cargo Delivery to Describe and Research Processes in Freight Forwarding Company based on the IDEF0 Standard (SADT) / E. V. Kiseleva, T. B. Dambiev, V. E. Stepanets, S. S. Valkova // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 988, Ch. 1. – Art. 022060.

9. Functional and information modeling of production using IDEF methods / V. Serifi, P. Dašić, R. Ječmenica, D. Labović // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 55, Iss. 2. – Pp. 131–140.

10. Chemisov, S. B. Primenenie metodologii IDEF0 s tsel'yu modelirovaniya biznes-protssessov na predpriyatii [Application of the IDEF0 methodology for the purpose of modeling business processes at an enterprise] / S. B. Chemisov // Problemy sovremennoj ehkonomiki [Problems of modern economics]. – 2009. – No. 4. – Pp. 446–449.

11. Automation of strategy using IDEF0 – A proof of concept / G. R. Waissi, M. Demir, J. E. Humble, B. Lev // Operations Research Perspectives. – 2015. – Vol. 2. – Pp. 106–113.

12. Analysing the antecedents to digital platform implementation for resilient and sustainable manufacturing supply chains – An IDEF0 modelling approach / A. Chari, J. Stahre, M. Bärning, M. Despeisse, D. Li, M. Friis, M. Mörstam, B. Johansson // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 429. – Art. 139598.

13. Nalbandyan, G. G. Optimizatsiya raspredeleniya polnomochij i otvetstvennosti po metodike RACI [Optimization of the distribution of powers and responsibilities according to the RACI methodology] / G. G. Nalbandyan, E. B. Kushnirenko // Strategii biznesa [Business strategies]. – 2014. – No. 4.

УДК 69:658

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_8

Выбор типа организационной структуры инжиниринговой компании

Choosing the Type of Organizational Structure of an Engineering Company

Пасканний Владимир Иванович

Соискатель (соискатель учёной степени), ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, paskanny@mail.ru

Paskanny Vladimir Ivanovich

Applicant (competitor of a scientific degree) of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, paskanny@mail.ru

Аннотация. Цель. Выбор типа организационной структуры в зависимости от количества инвестиционно-строительных проектов.

Методы. Рассмотрены два типа организационной структуры (ОС), наиболее подходящих для инжиниринговой компании: функциональная и матричная структуры. Показано, что функциональная ОС требует меньше расходов на собственное функционирование, но не даёт эффективного распределения работ между исполнителями. При этом матричная ОС даёт более эффективное распределение, но с большей стоимостью собственного содержания. Таким образом, оптимальность ОС зависит как от эффективности распределения, так и от расходов на функционирование.

Для оценки эффективности ОС использовано понятие энтропии, которая позволяет оценить степень устойчивости той

или иной ОС, получить количественную оценку, на основании которой можно сделать выбор типа ОС.

Результаты. Приведены расчёты энтропии для вариантов функциональной и матричной ОС инжиниринговой компании, которые позволили оценить степень устойчивости и получить количественную оценку, на основании которой можно сделать выбор типа ОС, наиболее подходящей в текущих условиях функционирования.

Выводы. При реализации инжиниринговой компанией одного проекта может быть рекомендована функциональная структура. При увеличении количества проектов и их сложности целесообразен переход к матричной структуре.

Ключевые слова: инжиниринговая компания, организационная структура, задачи оптимизации, исполнитель, бизнес-процесс, энтропия.

Findings. Entropy calculations are presented for options for the functional and matrix OS of an engineering company, which made it possible to assess the degree of stability and obtain a quantitative assessment, based on which one can choose the type of OS that is most suitable under the current operating conditions.

Conclusions. When an engineering company implements one project, a functional structure may be recommended. With an increase in the number of projects and their complexity, it is advisable to move to a matrix structure.

Keywords: engineering company, organizational structure, optimization problems, executor, business-process, entropy.

Введение

По мере того, как растёт организация и возрастает количество проектов, увеличивается и численность персонала управления, возникают новые отделы или подразделения, что, в свою очередь, требует перераспределения бизнес-функций между исполнителями и чёткой координации управления [1].

Любые значительные изменения в деятельности любой компании приводят к необходимости совершенствования её организационной структуры (ОС) [2–4]. Это может быть простое перераспределение функций между исполнителями, изменение численного состава подразделений, ликвидация или создание новых подразделений, изменение технологии управления и введение новых должностей. Такая необходимость возникает в случае расширения масштабов деятельности, увеличения количества проектов [5; 6]. Внешняя экономическая среда порождает экономические риски и также может привести к необходимости трансформации ОС в силу влияния на стратегические ориентиры и необходимости повышения эффективности путём увеличения прибыли или сокращения издержек [7].

Очевидно, что ОС оказывает огромное влияние на все стороны работы инжиниринговой компании [8]. Проектирование ОС и её совершенствование представляют собой интеллектуальный и трудоёмкий процесс, в ходе которого необходимо использовать различные программно-математические методы и средства [8; 9]. Оригинальный подход к формированию организационной структуры адаптивного типа, объединяющей в функциональные блоки работы, близкие по технологии и логистике, предложен в работе [10]. Устойчивость деятельности строительной организации в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов на основе моделирования возникновения различных рисков исследована в [11], где предложена методика оценки устойчивости строительной организации и её организационной структуры при наличии факторов риска. Однако вопросы количественной оценки эффективности того или иного варианта организационной структуры нуждаются в дальнейшем исследовании.

Совершенствование ОС предполагает приведение штатной численности в соответствие с количеством и сложностью бизнес-процессов компании, изменение количества уровней управления, повышение ответственности и творческой активности всех исполнителей и руководителей.

Оценка эффективности ОС представляет собой сложную задачу, возможность решения которой определяется количеством подразделений, количеством связей между ними, интенсивностью обмена между подразделениями, разнообразием технологических процессов, неоднозначностью результатов и взаимозависимостью исполнителей. Поэтому от правильного выбора ОС зависят эффективность функционирования инжиниринговой компании и успех реализации сопровождаемых проектов.

Материалы и методы

Наиболее подходящими для инжиниринговой компании являются функциональная (линейно-функциональная) и матричная структуры [12; 13]. Функциональная структура основана на иерархическом принципе управления и предусматривает узкую специализацию управле-

ния в рамках функциональных подсистем компании [14]. Руководитель организации взаимодействует с руководителями функциональных служб, которые разделены на несколько уровней. Функциональные структуры хорошо зарекомендовали себя в небольших организациях, в которых бизнес-процессы не подвержены изменениям, а бизнес-функции относительно стабильны.

В матричной структуре исполнители могут работать сразу по нескольким проектам, выполняя проектирование или экспертизу под контролем нескольких руководителей: своего непосредственного начальника и руководителей нескольких подразделений. Такой тип структуры наиболее подходит для инжиниринговой компании, которая выполняет экспертное сопровождение нескольких инвестиционно-строительных проектов [14].

В функциональной ОС каждый исполнитель может выполнять работы только одного проекта и подчиняться только одному руководителю (центру), который осуществляет контроль его деятельности.

Для поиска оптимального решения по выбору структуры подходит математическая постановка задачи о назначениях, где каждый исполнитель закрепляется за каким-либо проектом. Для оценки эффективности ОС используем понятие энтропии [15; 16], которая позволит оценить степень устойчивости той или иной ОС, получить количественную оценку, на основании которой можно сделать выбор типа ОС.

Пусть ОС содержит L уровней иерархии управления и на каждом уровне $l, l = 1, \dots, L$ находится N_l подразделений. Тогда общее количество подразделений ОС N определяется как:

$$N = \sum_{l=1}^L N_l. \tag{1}$$

Введём понятие межуровневой энтропии E_{my} , которая позволяет оценить эффективность количества связей между подразделениями соседних уровней. Так как граф ОС является связанным, то количество узлов соответствует количеству связей между подразделениями разных уровней. Тогда величина межуровневой энтропии определяется как:

$$E_{my} = - \sum_{l=1}^L N_l * \log_2 \left(\frac{N_l}{N} \right). \tag{2}$$

Межуровневая энтропия отражает степень вертикальной интеграции, то есть связанность уровней иерархии ОС. Можно утверждать, что чем больше уровней иерархии, тем сложнее осуществлять процессы управления и распределения средств между подразделениями.

Обозначим количество связей между подразделениями l -го уровня как $N_{lm}, m=1, \dots, M$. Тогда внутриуровневая энтропия E_{ey} может быть вычислена как:

$$E_{ey} = - \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M N_{lm} * \log_2 \left(\frac{N_{lm}}{N_l} \right). \tag{3}$$

Внутриуровневая энтропия отражает степень горизонтальной интеграции, которая соединяет разрозненных исполнителей в межпроектные команды, объединяя их навыки и знания. Высокий уровень горизонтальной интеграции создаёт большую прозрачность внутри организации. Естественно, что E_{ey} будет максимальной для матричной ОС.

Тогда общая энтропия ОС определяется суммой:

$E = E_{\text{МУ}} + E_{\text{БУ}}$ (4)

Результаты

Рассмотрим два варианта ОС инжиниринговой компании: функциональную структуру (рисунок 1) и матричную структуру (рисунок 2). Каждая из ОС, приведённых на рисунках 1 и 2, содержит четыре уровня иерархии управления *L*.

Обе структуры имеют одинаковое количество уровней иерархии управления, перечень подразделений и исполнителей, но отличаются количеством связей.

Для оценки ОС с точки зрения эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов восполь-

зуемся методологией организационно-управленческого инжиниринга и проведём инжиниринг ОС на основании анализа состава и структуры подразделений и распределения ответственности между ними. Результаты расчётов для функциональной ОС (таблица 1) и матричной ОС (таблица 2) показывают, что матричная ОС обладает большей энтропией, а следовательно, и большей устойчивостью за счёт дополнительных связей, обеспечивающих дублирование функций и участие одного исполнителя в реализации нескольких проектов.

Таким образом, если инжиниринговая компания выполняет один проект, то для неё более подходящей яв-



Рис. 1. Пример функциональной ОС инжиниринговой компании
Fig. 1. Example of a functional OS of an engineering company

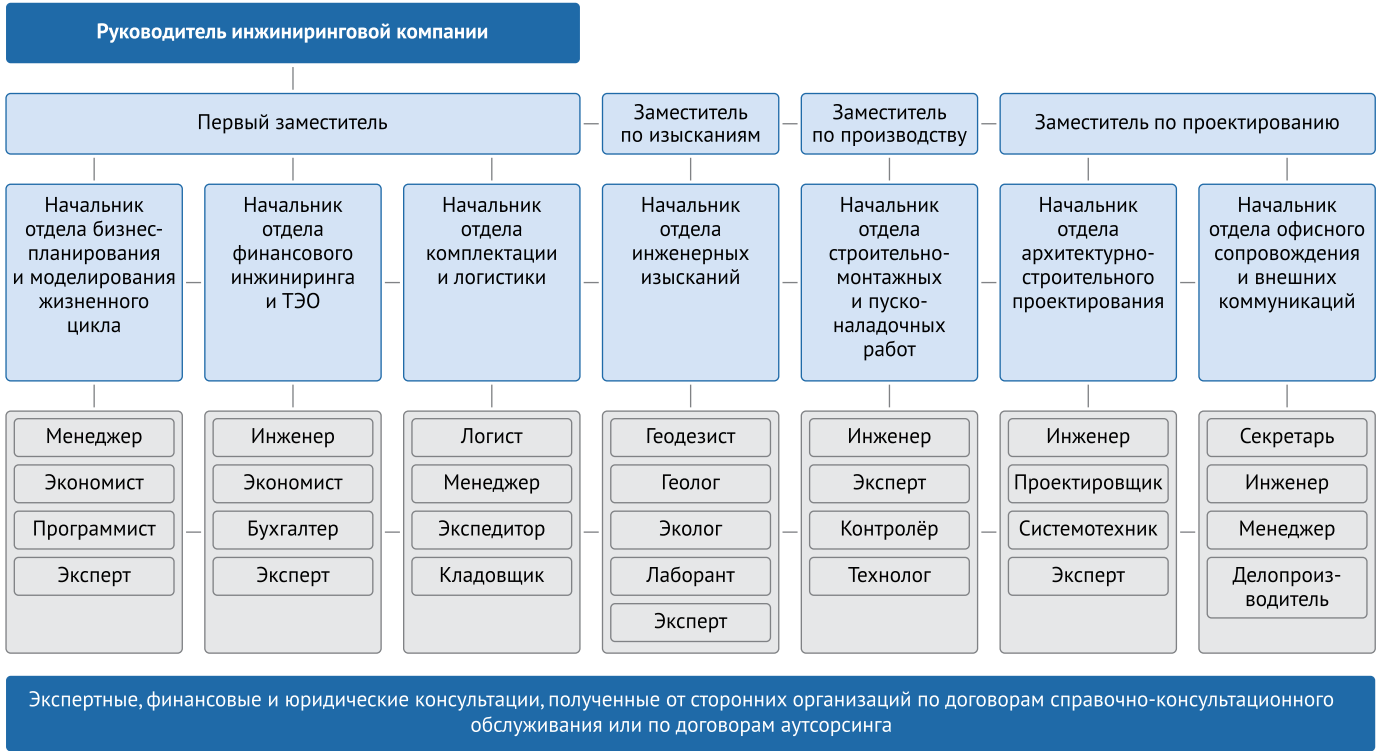


Рис. 2. Пример матричной ОС инжиниринговой компании
Fig. 2. An example of a matrix OS for an engineering company

<i>L</i>	<i>N_i</i>	<i>N_{im}</i>	<i>E_{МУ}</i>	<i>E_{БУ}</i>	<i>E</i>
1	1	0	4,238	0	4,238
2	4	0	8,992	0	8,992
3	7	0	10,094	0	10,094
4	7	0	10,094	0	10,094
Сумма	19	0	34,418	0	34,418

Табл. 1. Результаты расчётов для функциональной ОС
Tab. 1. Calculation results for functional OS

ляется функциональная структура. Функциональная ОС даёт возможность высшему руководству лучше контролировать все процессы в своей организации, избегая при этом потенциальной возможности принятия противоречивых решений в матричной ОС. При увеличении количества проектов и их сложности целесообразен переход к матричной структуре, в которой возможны дублирование функций и участие одного исполнителя в реализации нескольких проектов.

Заключение

Существует широкий спектр количественных показателей, которые можно использовать для оценки эффективности ОС, в том числе показатель энтропии, который позволяет оценить степень устойчивости той или иной ОС, получить количественную оценку, на основании которой можно сделать выбор типа ОС. В том случае, если инжиниринговая компания выполняет один проект, то может быть рекомендована функциональная структура. При увеличении количества проектов и их сложности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cooper, A. C. G. We need to talk about engineering policy / A. C. G. Cooper, L. Lioté, Ch. Colomer // Technology in Society. – 2023. – Vol. 72. – Art. 102196. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102196>.

2. Абрамс, Р. Бизнес-план на 100 %. Стратегия и тактика эффективного бизнеса / Р. Абрамс. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 496 с.

3. Fundamentals of business process management / M. Dumas, M. L. Rosa, J. Mendling, H. A. Reijers – 2nd ed. – Springer, 2018. – 527 p. – URL : <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>.

4. Forecasting accuracy of in-progress activity duration and cost estimates / P. Ballesteros-Perez, E. A. Sanz-Ablanedo, G. Lucko, A. Pastor-Fernandez, M. Otero-Mateo, J. P. Contreras-Samper // Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – Vol. 146, No. 9. – Art. 04020104.

5. Веселовский, М. Я. Совершенствование механизмов повышения инновационной активности промышленных предприятий : монография / М. Я. Веселовский, В. Я. Вилисов, С. В. Банк [и др.] ; под ред. М. Я. Веселовского, И. В. Кировой ; Гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования Московской обл. Технологический ун-т. – Москва : Научный консультант, 2017. – 302 с.

6. Benachio, G. L. F., Circular economy in the construction industry: A systematic literature review / G. L. F. Benachio, M. d. C. D. reitas, S. F. Tavares // Journal Cleaner Production. – 2020. – Vol. 260. – Art. 121046. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>.

7. Адлер, Ю. П. Развитие бережливых производственных систем в России. От истории к современности / Ю. П. Адлер, Э. В. Кондратьев. – Москва : Академический проект. – 2018. – 226 с.

8. The role of digital technologies in operationalizing the circular economy transition: a systematic literature review / E. Cagno, A. Neri, M. Negri, C. A. Bassani, T. Lampertico // Published in

REFERENCES

1. Cooper, A. C. G. We need to talk about engineering policy /

<i>L</i>	<i>N_i</i>	<i>N_{im}</i>	<i>E_{МУ}</i>	<i>E_{БУ}</i>	<i>E</i>
1	1	0	4,238	0	4,238
2	4	3	8,992	4,755	13,747
3	7	6	10,094	5,142	15,236
4	7	6	10,094	5,142	15,236
Сумма	19	15	34,418	15,039	49,457

Табл. 2. Результаты расчётов для матричной ОС
Tab. 2. Calculation results for matrix OS

целесообразен переход к матричной структуре. Функциональная ОС требует меньше расходов на собственное функционирование, но не обеспечивает эффективного распределения работ между исполнителями. Матричная ОС требует больших затрат на своё функционирование, но даёт более эффективное распределение работ и повышает устойчивость за счёт дополнительных связей.

Выбор ОС зависит как от эффективности распределения исполнителей, так и от расходов на функционирование. От правильности выбора ОС зависит устойчивость компании, её структурная гибкость, производительность, уровень координации действий и коммуникации всех участников проекта.

Для успешного функционирования и развития инжиниринговая компания должна постоянно совершенствовать свою ОС, заниматься реинжинирингом бизнес-процессов, уделять больше внимания сотрудничеству и аутсорсингу, а также обеспечивать среду для производства и внедрения инноваций.

Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – Art. 11083328. – URL : <https://doi.org/10.3390/app11083328>.

9. Голдратт, Э. М. Цель: процесс непрерывного улучшения / Э. М. Голдратт, Дж. Кокс ; Пер. с англ. – Москва : Попурри, 2020. – 400 с.

10. Морозенко, А. А. Управление инвестиционно-строительными проектами на основе матрицы ключевых событий / А. А. Морозенко, Д. В. Красовский // Вестник МГСУ. – 2016. – № 11. – С. 105–113. – URL : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.11.105-113>.

11. Устойчивость деятельности строительных организаций в условиях возникновения факторов риска / А. А. Лапидус, И. Л. Абрамов, Т. К. Кузьмина, А. И. Абрамова // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 11. – С. 97–104. – URL : <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.11.97-104>.

12. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем / Т. И. Алиев. – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

13. Dijkman, R. M. Advanced queueing models for quantitative business process analysis / R. M. Dijkman, I. Adan, S. P. F. Peters // Proceedings of 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2018. – 2018. – P. 260–267.

14. Material passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials / M. Honic, I. Kovacic, P. Aschenbrenner, A. Ragossnig // Journal Cleaner Production. – 2021. – Vol. 319. – Art. 128702. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>.

15. Шеннон, К. Э. Работы по теории информации и кибернетике / К. Э. Шеннон ; Пер. с англ. ; С предисл. А. Н. Колмогорова ; Под ред. Р. Л. Добрушина и О. Б. Лупанова. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1963. – 829 с.

16. Chappell, D. Defining the entropy of hierarchical organizations / D. Chappell, G. Dewey // Complexity Governance and Networks. – 2014. – Vol. 1, No. 2. – P. 41–56. – URL : <https://doi.org/10.7564/14-CGN17>.

A. C. G. Cooper, L. Lioté, Ch. Colomer // Technology in Society. – 2023. – Vol. 72. – Art. 102196. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102196>.

techsoc.2023.102196.

- Abrams, R. Biznes-plan na 100%. Strategiya i taktika ehffektivnogo biznesa [Business plan 100%. Effective business strategy and tactics] / R. Abrams. – Moscow : Alpina Publisher, 2019. – 496 p.
- Fundamentals of business process management / M. Dumas, M. L. Rosa, J. Mendling, H. A. Reijers – 2nd ed. – Springer, 2018. – 527 p. – URL : <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>.
- Forecasting accuracy of in-progress activity duration and cost estimates / P. Ballesteros-Perez, E. A. Sanz-Ablanedo, G. Lucko, A. Pastor-Fernandez, M. Otero-Mateo, J. P. Contreras-Samper // Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – Vol. 146, No. 9. – Art. 04020104.
- Veselovskiy, M. Ya. Sovershenstvovanie mekhanizmov povysheniya innovatsionnoj aktivnosti promyshlennykh predpriyatij [Improving mechanisms for increasing innovative activity of industrial enterprises] / M. Ya. Veselovskiy, V. Ya. Vilisov, S. V. Bank [et al.]; edited by M. Ya. Veselovskiy, I. V. Kirova ; Gos. byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. obrazovaniya Moskovskoj obl. Tekhnologicheskij un-t [State budgetary Educational institution of Higher education of the Moscow region Technological University]. – Moscow : Nauchnyj konsultant, 2017. – 302 p.
- Benachio, G. L. F., Circular economy in the construction industry: A systematic literature review / G. L. F. Benachio, M. d. C. D. Freitas, S. F. Tavares // Journal Cleaner Production. – 2020. – Vol. 260. – Art. 121046. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>.
- Adler, Yu. P. Razvitie berezhlivykh proizvodstvennykh sistem v Rossii. Ot istorii k sovremennosti [Development of lean production systems in Russia. From history to modern times] / Yu. P. Adler, E. V. Kondrat'ev. – Moscow : Akademicheskij proekt, 2018. – 226 p.
- The role of digital technologies in operationalizing the circular economy transition: a systematic literature review / E. Cagno, A. Neri, M. Negri, C. A. Bassani, T. Lampertico // Published in Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – Art. 11083328. – URL : <https://doi.org/10.3390/app11083328>.
- Goldratt, E. M. Tsel': protsess nepreryvnogo uluchsheniya

[Goal: Continuous Improvement Process] / E. M. Goldratt, J. Cox ; Translated from English. – Moscow : Popurri, 2020. – 400 p.

- Morozenko, A. A. Upravlenie investitsionno-stroitel'nymi proektami na osnove matritsy klyuchevykh sobytij [Management of investment and construction projects based on a matrix of key events] / A. A. Morozenko, D. V. Krasovsky // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – No. 11. – Pp. 105–113. – URL : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.11.105-113>.
- Ustojchivost' deyatelnosti stroitel'nykh organizatsij v usloviyakh vozniknoveniya faktorov riska [Stability of organizational and production systems in conditions of risks and uncertainty of construction production] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, T. K. Kuzmina, A. I. Abramova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2023. – No. 11. – Pp. 97–104. – URL : <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.11.97-104>.
- Aliev, T. I. Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem [Fundamentals of modeling discrete systems] / T. I. Aliev. – St. Petersburg : St. Petersburg State University ITMO, 2009. – 363 p.
- Dijkman, R. M. Advanced queueing models for quantitative business process analysis / R. M. Dijkman, I. Adan, S. P. F. Peters // Proceedings of 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2018. – 2018. – P. 260–267.
- Material passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials / M. Honic, I. Kovacic, P. Aschenbrenner, A. Ragossnig // Journal Cleaner Production. – 2021. – Vol. 319. – Art. 128702. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>.
- Shannon, K. E. Raboty po teorii informatsii i kibernetike [Works on information theory and cybernetics] / K. E. Shannon ; Translated from English; With a preface by A. N. Kolmogorov ; Edited by R. L. Dobrushin and O. B. Lupanov. – Moscow : Inostrannaya literatura, 1963. – 829 p.
- Chappell, D. Defining the entropy of hierarchical organizations / D. Chappell, G. Dewey // Complexity Governance and Networks. – 2014. – Vol. 1, No. 2. – P. 41–56. – URL : <https://doi.org/10.7564/14-CGN17>.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2024_1_12

Пути обоснования оптимального комплекта средств инструментальных измерений для комплексного обследования зданий

Ways to Substantiate the Optimal Set of Instrumental Measurement Tools for a Comprehensive Inspection of Buildings

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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, TopchiyDV@gic.mgsu.ru

Мартос Виталий Валерьевич

Старший преподаватель кафедры технологии строительства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), Россия, 603950, Нижний Новгород, улица Ильинская, 65, martos13@mail.ru

Martos Vitaly Valerievich

Senior Lecturer at the Department of Construction Technology, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSUACE), Russia, 603950, Nizhny Novgorod, ulitsa Ilyinskaya, 65, martos13@mail.ru

Аннотация. Объём промышленного и гражданского строительства в Российской Федерации ежегодно растёт, при этом стабильно не уменьшаются процент аварийного жилищно-

го фонда и средний возраст существующих промышленных объектов. Учитывая требования п. 4.3 и п. 4.4 ГОСТ 31937-2011, объём работ по контролю технического состояния существую-

щих зданий и сооружений является масштабным. Действующая нормативно-техническая документация в области обследования зданий и сооружений содержит описание мероприятий и работ [ГОСТ 31937-2011, СП 13-102-2003], ссылки на государственные стандарты с рекомендуемым перечнем приборной базы, которые включены в государственный реестр средств измерений. Однако не рассматриваются подходы к формированию комплектов средств измерений и вспомогательного оборудования; требования к персоналу, осуществляющего планируемые работы и т. п. В результате невозможно обоснованно определить продолжительность предстоящих работ и спрогнозировать их реальную себестоимость.

Abstract. The volume of industrial and civil construction in the Russian Federation is growing annually, while the percentage of emergency housing stock and the average age of existing industrial facilities have not steadily decreased. Taking into account the requirements of clause 4.3 and clause 4.4 of GOST 31937-2011, the scope of work to monitor the technical condition of existing buildings and structures is large-scale. The current regulatory and technical documentation in the field of inspection of buildings and structures contains a description of activities and work [GOST 31937-2011, SP 13-102-2003], links to state standards with a recommended list of instrumentation, which are included in the state register of measuring instruments. However, approaches to the formation of sets of measuring instruments and auxiliary equipment are not considered; requirements for person-

Введение

По данным Росстата [1–3], на конец 2021 года в Российской Федерации общая площадь жилых помещений составляла 4 044 млн м², из которых введено было новых 92,6 млн м². При этом аварийный жилищный фонд сохраняется на уровне 0,5 % и составляет 22,059 млн м². Общее число введённых зданий за 2021 год составило 403,1 тыс. объектов, из них нежилого назначения – 19,7 тыс. По части зданий и сооружений строительство приостановлено или законсервировано на 8 818 объектов.

В промышленности доля зданий на конец 2022 года варьируется от 5 до 35 % от всех основных фондов в зависимости от отрасли, при этом степень износа достигает зачастую свыше 50 %. Средний возраст зданий составляет 22,4 лет.

Целью выполняемого исследования является формирование методики подбора оптимального комплекта средств инструментальных измерений и вспомогательного оборудования для проведения комплексного обследования технического состояния зданий.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- проанализировать существующие принципы формирования комплектов;
- определить структуру и последовательность процессов в технологии комплексного обследования;
- определить роль подбора комплектов средств измерений и вспомогательного оборудования в организационно-технологическом планировании работ по обследованию;
- определить параметры, влияющие на подбор комплекта;
- определить этапы подбора и разработать организационно-технологическую схему формирования оптимального комплекта.

Объект исследования – промышленные и гражданские здания, которые, ввиду прошедшего периода эксплу-

В представленной публикации исследуются пути формирования и обоснования оптимального комплекта средств измерений и вспомогательного оборудования для проведения комплексного обследования технического состояния зданий. Результатом исследования является разработка аналитического инструмента, позволяющего учесть современные изменения в области обследования зданий и сооружений, повысить возможность эффективного внедрения как существующих, так и новых технических возможностей.

Ключевые слова: комплексное обследование зданий, техническое состояние, инструментальные измерения, технологические процессы, технология строительного производства.

nel carrying out the planned work, etc. As a result, it is impossible to reasonably determine the duration of the upcoming work and predict its actual cost.

This publication explores ways to form and justify an optimal set of measuring instruments and auxiliary equipment for conducting a comprehensive survey of the technical condition of buildings. The result of the study is the development of an analytical tool that allows taking into account modern changes in the field of inspection of buildings and structures, increasing the possibility of effective implementation of both existing and new technical capabilities.

Keywords: comprehensive inspection of buildings, technical condition, instrumental measurements, technological processes, technology of construction production.

атации или планируемых работ по вводу или реконструкции, подлежат обследованию.

Предмет исследования – контрольно-измерительные процессы, происходящие в ходе комплексного обследования технического состояния здания при вводе, эксплуатации или реконструкции.

Научно-техническая гипотеза исследования заключается в предположении, что за счёт создания методики подбора оптимального комплекта средств инструментальных измерений и вспомогательного оборудования для проведения комплексного обследования технического состояния зданий получим возможность корректно рассчитывать и сокращать сроки выполнения работ и затрат на них.

Материалы и методы

Исследование заключается в определении влияния многочисленных факторов на организационно-технологическую структуру технологии выполнения работ по комплексному обследованию технического состояния объекта исследования и анализе этих факторов, их систематизации и ранжировании. Формируемая методика является составной частью организационно-технологического проектирования и учитывает контрольно-измерительные процессы, возникающие в ходе комплексного обследования.

Результаты

Для выполнения работ по проведению комплексного обследования технического состояния здания используются комплекты средств инструментальных измерений – ведущего оборудования и вспомогательного оборудования, которое обеспечивает процессы выполнения средствами подмащивания, оснасткой, электроэнергией, средствами индивидуальной защиты и т. п.

Контрольно-измерительные процессы, относящиеся к комплексному обследованию, являются определяющими для ряда задач. Большую часть из них может решать применение различных средств инструментальных из-

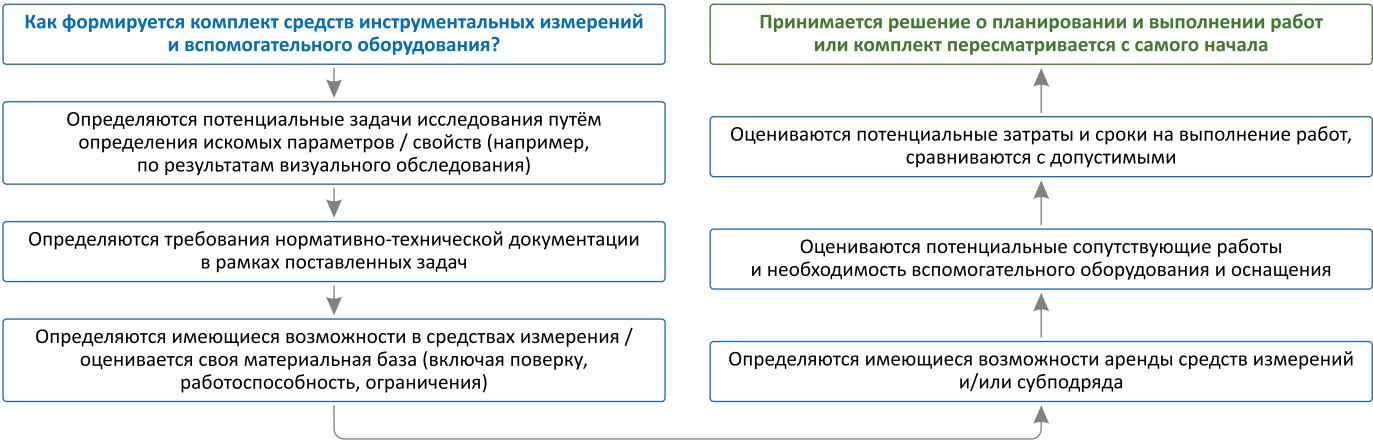


Рис. 1. Существующий традиционный путь формирования комплекта
Fig. 1. The existing traditional way of forming a kit

мерений, т. к. визуального обследования в большинстве случаев недостаточно.

С помощью средств инструментальных измерений определяются базовые параметры и свойства, которые характеризуют основные показатели строительной продукции, формирующие показатель эксплуатационного качества в целом по отношению к объекту в период от приёмки объекта до его дальнейшей эксплуатации. При этом любую конструкцию следует рассматривать в ходе изучения не только целиком, но и как состоящую из отдельных элементов, требующих контроля для оценки их показателей. В составе железобетонных конструкций это: рабочая арматура, защитный слой бетона, швы, материал зачеканки швов, гидроизоляция, поверхность конструкции и т. п.

Объект в целом, отдельная конструкция, отдельный элемент или материал конструкции в рассматриваемый момент времени находятся в своём, присущем только ему, состоянии, которое нужно оценить в соответствии с действующими нормативно-техническими требованиями. Незаменимым здесь будет являться контроль разрушающими и неразрушающими методами. С точки зрения оперативности и получения массива данных преимущество отдаётся последним, но точность требуется подтверждать зачастую только разрушающими методами. Одним из путей повышения точности определения показателей эксплуатационных качеств является комплексная оценка на всех уровнях. Для формирования комплексной оценки различных показателей важен принцип комбинации методов исследования.

Одна из базовых проблем, которая возникает при формировании комплектов средств измерений, состоит в отсутствии качественного и простого, в т. ч. общедоступного, инструмента подбора, что влияет на возникновение значимых технологических и организационных вопросов [4; 5]. Данный вывод возникает в результате того, что при сопоставлении близких по характеристикам вариантов инструментальной базы используются только два базовых параметра: трудоёмкость работ по испытаниям и стоимость комплекта, при минимальном стремлении к соответствию нормативно-техническим требованиям (которые даже могут игнорироваться). Специфические исследования по дефектоскопии или отдельным параметрам конструкций, выявленных дефектов или повреждённых выполняются в исключительных случаях по причине

отсутствия такой возможности или недостаточной квалификации персонала.

При этом не своевременно могут учитываться или даже не приниматься во внимание вопросы оснащения в части вспомогательного оборудования – доступ к объекту исследования на труднодоступных участках с применением средств подмащивания (от лестниц до подъёмников), энергетического оборудования, строительного инструмента, средств индивидуальной защиты. При значительных объёмах исследования, если грамотно учесть затраты на указанные выше позиции, т. е. при соответствующем обосновании, на помощь могут прийти более затратные при первоначальном взгляде решения – наземные лазерные сканеры, беспилотные летательные аппараты и т. п.

Также к проблемам формирования комплектов средств инструментальных измерений можно отнести и то, что собираются они из той приборной и инструментальной базы, которая есть в наличии у исполнителя работ, что, в свою очередь, сокращает вариативность, а также даёт преимущество тем организациям, у которых оснащённость выше и есть возможность подобрать комплект более детально.

В качестве традиционного пути формирования комплекта средств используют параметры: соответствие нормативно-техническим требованиям, трудоёмкость работ, стоимость комплекта и т. п. Схема подбора комплекта представлена на рисунке 1.

Важную роль при планировании работ составляет то, что обследование является полноценным технологическим процессом [4]. Каждый вид работ включает ряд вспомогательных и основных процессов, которые влияют на результат работ (см. таблицу 1). Поэтому процесс подбора комплекта является одним из основополагающих элементов и напрямую влияет на организационно-технологические решения, которые должны быть прописаны в технологической карте на планируемые работы по комплексному обследованию. Блок-схема алгоритма принятия решений при планировании комплексного обследования представлена на рисунке 2.

Среди существующих принципов формирования комплектов средств инструментальных измерений и вспомогательного оборудования не используется принцип многокритериальной выборки среди параметров. Кроме того, существующие подходы не решают задачи подбора комплекта под конкретный исследуемый объект. Оптималь-

Вид работ	Состав работ		
	Подготовительные процессы	Основные процессы	Результат
1. Определение геометрических параметров объекта исследования (обмерные работы)	1) Проверка поверки средства измерения и его работоспособности (целостность оборудования, работу аккумуляторов, состав комплекта ВИК и т. п.); 2) изучение проектной и другой исходной документации по объекту, подлежащему измерениям; 3) оценка текущего этапа возведения или эксплуатации объекта исследования с целью оценки ограничений по доступу и необходимости применения средств подмащивания, разработки шурфов и т. п.	1) Измерение размеров конструкций и деталей; 2) измерение расстояний между разбивочными осями, взаимного положения поверхностей; 3) измерение параметров положения в пространстве отдельного элемента: длины площадок опирания, величины зазоров, ширины швов, размера колеи пути и т. п.; 4) измерение положений конструкций по высоте; 5) определение вертикальности положения конструкции.	Передача данных для формирования обмерочных чертежей с указанием всех полученных данных измерений.
2. Определение физико-механических свойств объекта исследования и среды	1) Проверка поверки средства измерения и его работоспособности (целостность оборудования, работу аккумуляторов, комплектность и т. п.); 2) изучение проектной и другой исходной документации по объекту, подлежащему измерениям; 3) оценка текущего этапа возведения или эксплуатации объекта исследования с целью оценки ограничений по доступу и необходимости применения средств подмащивания, разработки шурфов, временной остановки производства, наличия доступа к электроснабжению, подготовки вспомогательного инструмента (перфораторов, молотков и др.), подготовки поверхности и т. п.	1) Грамотный выбор участка конструкции для отбора образца или неразрушающего испытания; 2) подготовка поверхности конструкции; 3) отбор образца из тела конструкции или выполнение вспомогательных отверстий для последующих неразрушающих испытаний; 4) подготовка отобранного образца для транспортирования и последующих испытаний; 5) неразрушающие исследования материала конструкции либо разрушающие испытания в лабораторных условиях; 6) восстановление поверхности после проведённых испытаний.	Передача данных для формирования итоговых протоколов испытаний с указанием всех полученных данных.
3. Определение параметров дефектов и повреждений объекта исследования	1) Проверка поверки средства измерения и его работоспособности (целостность оборудования, работу аккумуляторов, комплектность и т. п.); 2) изучение проектной и другой исходной документации по объекту, подлежащему измерениям; 3) оценка текущего этапа возведения или эксплуатации объекта исследования с целью оценки ограничений по доступу и необходимости применения средств подмащивания, разработки шурфов, временной остановки производства, наличия доступа к электроснабжению, подготовки вспомогательного инструмента (перфораторов, молотков и др.), подготовки поверхности и т. п.	1) Оценка границ выявленного дефекта и повреждения; 2) подготовка поверхности конструкции при необходимости (очистка от пыли, грунта и т. п.); 3) отбор образца из тела конструкции или выполнение вспомогательных отверстий/штроб при необходимости в зоне дефекта или повреждения; 4) подготовка отобранного образца для транспортирования и последующих исследований при необходимости; 5) измерение геометрических параметров участка дефекта и повреждения с его привязкой по месту; 6) восстановление поверхности после проведённых испытаний при необходимости.	Передача данных для формирования чертежей и схем проблемных участков, карт дефектов, уточнений дефектной ведомости, протоколов с указанием всех полученных данных.
4. Изучение внутренней структуры конструкции и выявление скрытых дефектов и повреждений объекта исследования	1) Проверка поверки средства измерения и его работоспособности (целостность оборудования, работу аккумуляторов, комплектность и т. п.); 2) изучение проектной и другой исходной документации по объекту, подлежащему измерениям; 3) оценка текущего этапа возведения или эксплуатации объекта исследования с целью оценки ограничений по доступу и необходимости применения средств подмащивания, разработки шурфов, временной остановки производства, наличия доступа к электроснабжению, подготовки вспомогательного инструмента (перфораторов, молотков и др.), подготовки поверхности и т. п.; 4) проверка работоспособности приборной базы на образцах-эталопах в лабораторных условиях.	1) Оценка границ планируемого исследования; 2) подготовка поверхности конструкции при необходимости (разлиновка поверхности, закрепление маркеров и точек привязки, очистка от пыли, грунта и т. п.); 3) прозвучивание исследуемой конструкции; 4) разрушающее подтверждение выявленного дефекта (при возможности – путём бурения или вскрытия участка конструкции); 5) восстановление поверхности после проведённых испытаний при необходимости.	Передача данных для формирования чертежей и схем проблемных участков, карт дефектов, уточнений дефектной ведомости, протоколов с указанием всех полученных данных.

Табл. 1. Технологические процессы инструментального измерения в ходе комплексного обследования
Tab. 1. Technological processes of instrumental measurement during an comprehensive inspection

ным в данной ситуации будет считаться комплект средств измерений и вспомогательного оборудования, который:

- 1) позволит грамотно с точки зрения нормативно-технических требований и получения максимального по качеству и объёму данных результата выполнить комплексное обследование технического состояния с минимальными затратами и сроками выполнения работ;
- 2) будет сформирован на основе многокритериального анализа данных, т. е. с учётом возможных огра-

ничений и проранжированных по значимости параметров, которые оказывают влияние на подбор каждой конкретной позиции согласно поставленной задаче.

К близкому подходу стремятся и за рубежом – подтверждается, что качество оценки может быть повышено, т. к., учитывая максимальное количество параметров, мы исключаем источники возможной неуверенности и изменчивости в получаемых показателях, снижаем риски их влияния [6], потому что в различных случаях средства из-

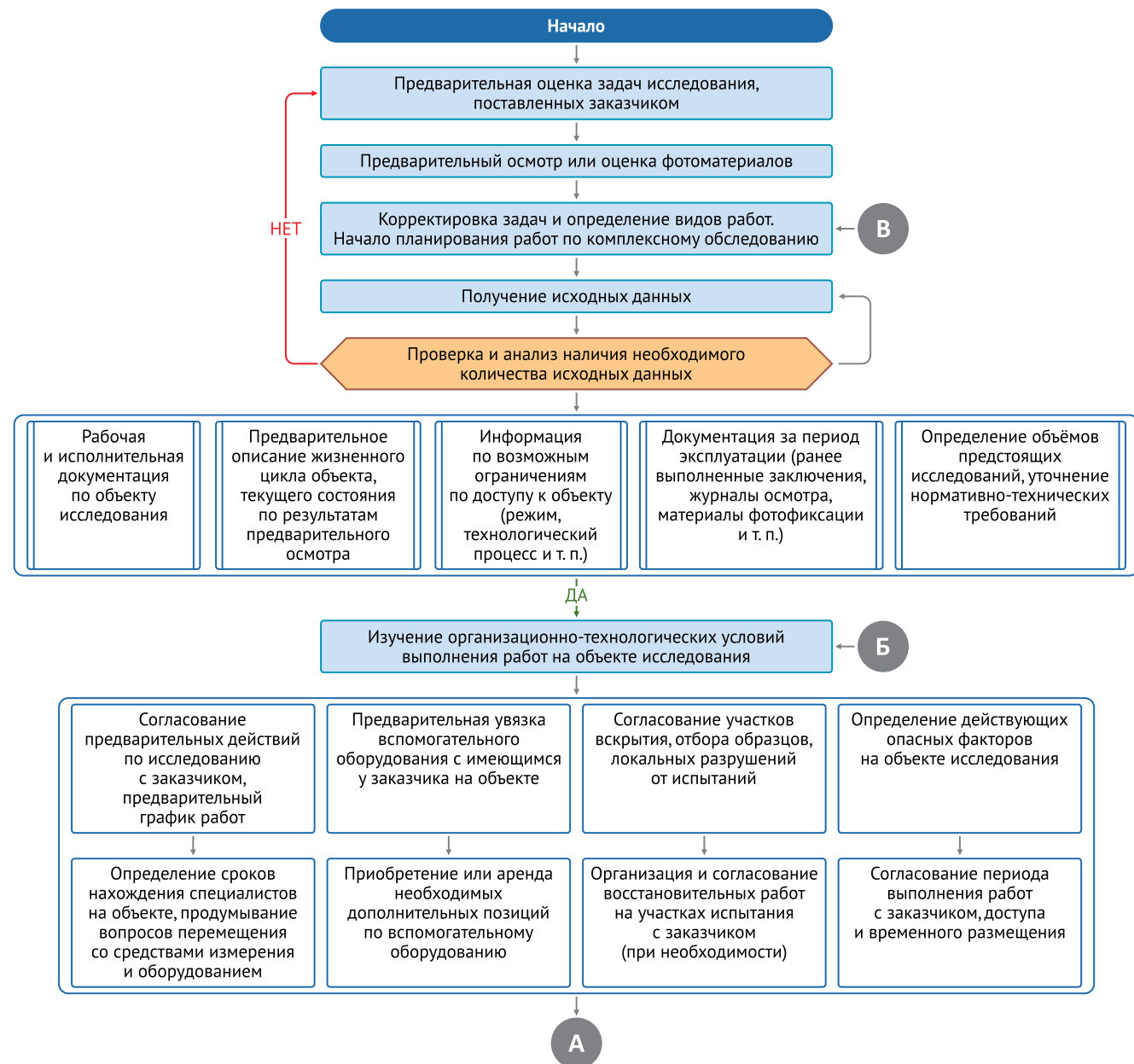


Рис. 2. Блок-схема алгоритма принятия решений при планировании комплексного обследования
Fig. 2. Flowchart of decision-making algorithm when planning a comprehensive inspection

мерений могут иметь как преимущества, так и недостатки, требующие сопоставления для конкретного объекта [5; 7; 8].

Решениями настоящего исследования предлагаются следующие шаги, которые учитывают многокритериальный анализ (см. рисунок 3).

Во-первых, как при традиционном подходе, анализируется вид предстоящих работ и учитываются сначала «внешние» параметры или параметры-ограничители, такие как вид объекта исследования (грунты основания, инженерные сети, строительные конструкции), материал исследования, объём предстоящих исследований, вид оцениваемых дефектов и повреждений и т. п., которые напрямую ограничивают работу подбираемого комплекта. Результатом является получение возможных вариантов комплектов, которые впоследствии могут сравниваться.

На следующем шаге учитываются «внутренние» параметры, связанные непосредственно с самим средством измерений, отражающим конкретный метод исследования, и вспомогательным оборудованием, по каждой конкретной позиции рассматривается соответствие подбира-

емого составляющего комплекту требуемому виду работ и присваивается частный критерий предпочтительности конкретного средства или оборудования. Результатом второго этапа является подбор нескольких комплектов с максимальной оценкой показателя предпочтительности. Она объединяет различные данные при решении задачи выбора, позволяет получить единую количественную оценку при сравнении различных систем [9] и работать в дальнейшем уже с этими данными.

Показатель предпочтительности выражается через следующую формулу (1):

$$\Delta\Pi = b_1 \cdot \Delta K_1 + b_2 \cdot \Delta K_2 + \dots + b_{i-1} \cdot \Delta K_{i-1} - b_i \cdot \Delta K_i + b_{i+1} \cdot \Delta K_{i+1} + \dots + b_m \cdot \Delta K_m, \quad (1)$$

где $\Delta\Pi$ – основной показатель функции предпочтительности;

ΔK_i – частный критерий предпочтительности;

b_i – коэффициент, характеризующий, насколько важен учёт соответствующего блока при выборе по сравнению с каждым другим. Определяется экспертными методами.

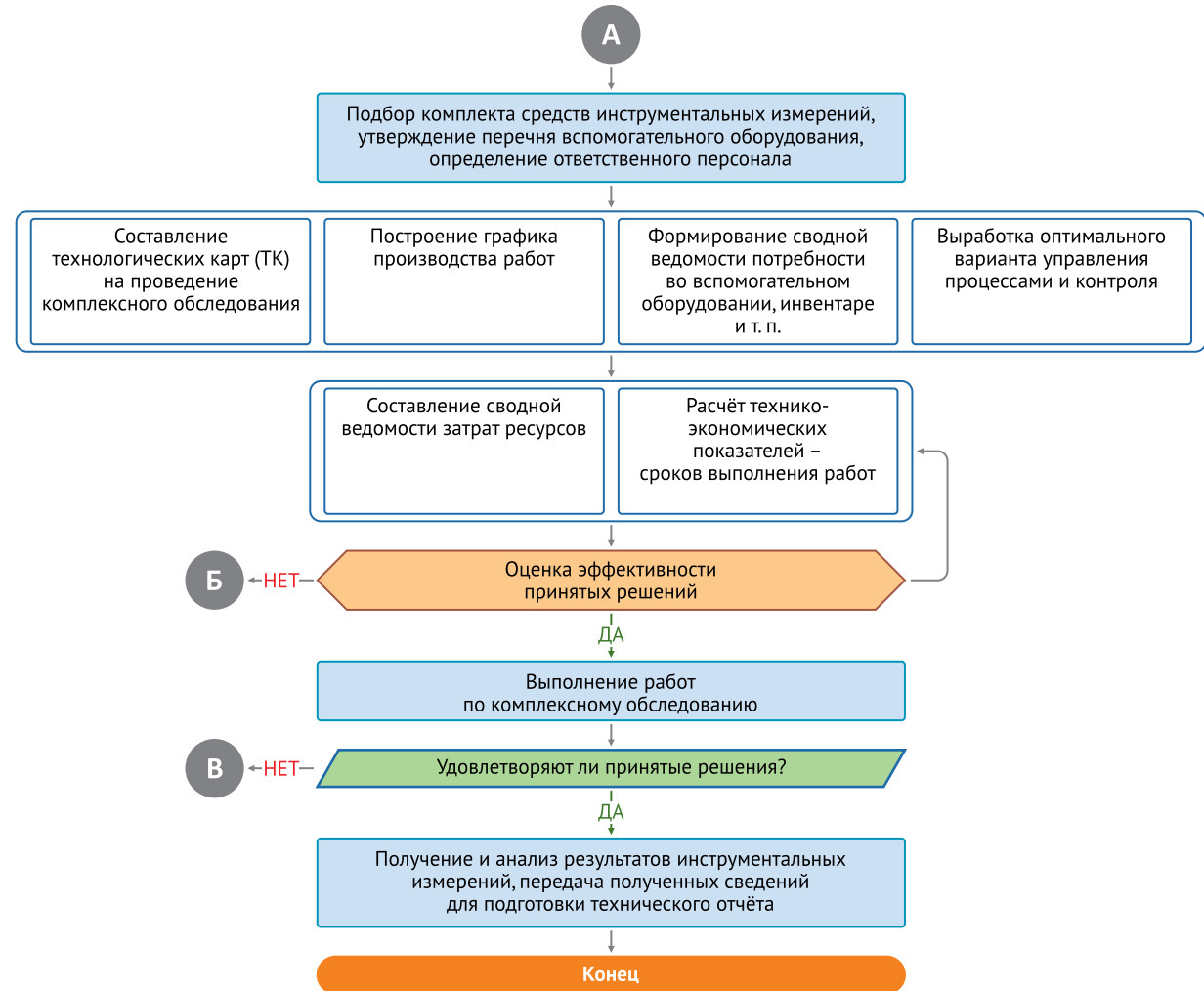


Рис. 2. Продолжение. Блок-схема алгоритма принятия решений при планировании комплексного обследования
Fig. 2. Continuation. Flowchart of decision-making algorithm when planning a comprehensive inspection

Каждый частный критерий предпочтительности соответствует определённому блоку, влияющему на основной показатель предпочтительности системы с точки зрения оценки «лучше» или «хуже» при сравнении различных комплектов. При изменении частных критериев предпочтительности (например, при изменении заданных параметров системы) происходит изменение основного показателя предпочтительности Π по сравнению с базовым эталонным (со всеми максимальными показателями параметров). Если величина Π увеличивается при увеличении K_i , то соответствующий коэффициент b_i в формуле приращений берётся со знаком плюс, и при уменьшении величины K_i – со знаком минус.

Частный критерий предпочтительности определяется по формуле (2):

$$\Delta K = a_1 \cdot \Delta y_1 + a_2 \cdot \Delta y_2 + \dots + a_{j-1} \cdot \Delta y_{j-1} - a_j \cdot \Delta y_j + a_{j+1} \cdot \Delta y_{j+1} + \dots + a_n \cdot \Delta y_n, \quad (2)$$

где ΔK – частный критерий предпочтительности;

a_j – коэффициенты, характеризующие степень влияния изменений значений соответствующей характеристики на решение в задаче выбора, т. е. вес этого изменения при принятии решения (определяются на основе экспертного опроса), $\sum_{i=1}^n a_i = 1$;

Δy_j – безразмерные величины, характеризующие отношение рассматриваемых параметров средства измерений относительно базовым эталонным (со всеми максимальными показателями параметров).

$$y_1 = \frac{x_1}{x_1^0}, y_2 = \frac{x_2}{x_2^0}, \dots, y_n = \frac{x_n}{x_n^0}, \quad (3)$$

где x_n^0 – соответствующие характеристики параметров базовой эталонной системы (максимальные показатели параметров).

Критерий K для базовой системы принимается за 1, т. е. $K = 1$ при $x_i = x_i^0$, и оценка влияния изменения параметров производится относительно базовой системы. При изменении параметров системы по сравнению с базовыми происходит изменение показателя K . Если увеличение K происходит при увеличении параметра, то соответствующий коэффициент a_i в линейной форме для приращений берётся со знаком «+», и наоборот, если показатель K убывает при увеличении параметра, то коэффициент a_i берётся со знаком «-». Пусть, например, в формуле (2) при увеличении y_j величина K убывает.

Важно отметить, что комплект формируется из n -го числа оборудования. По каждой позиции средства измерений и вспомогательного оборудования определяется свой частный критерий предпочтительности. Например, $\Delta K_{ин}$ – частный критерий предпочтительности блока комплекта из m средств инструментальных измерений определяется как среднее арифметическое полученных критериев по всем необходимым средствам измерений в количестве m и возможности его сопоставления между формируемыми комплектами. Это сделано для того, чтобы различное количество оборудования (при разных ха-

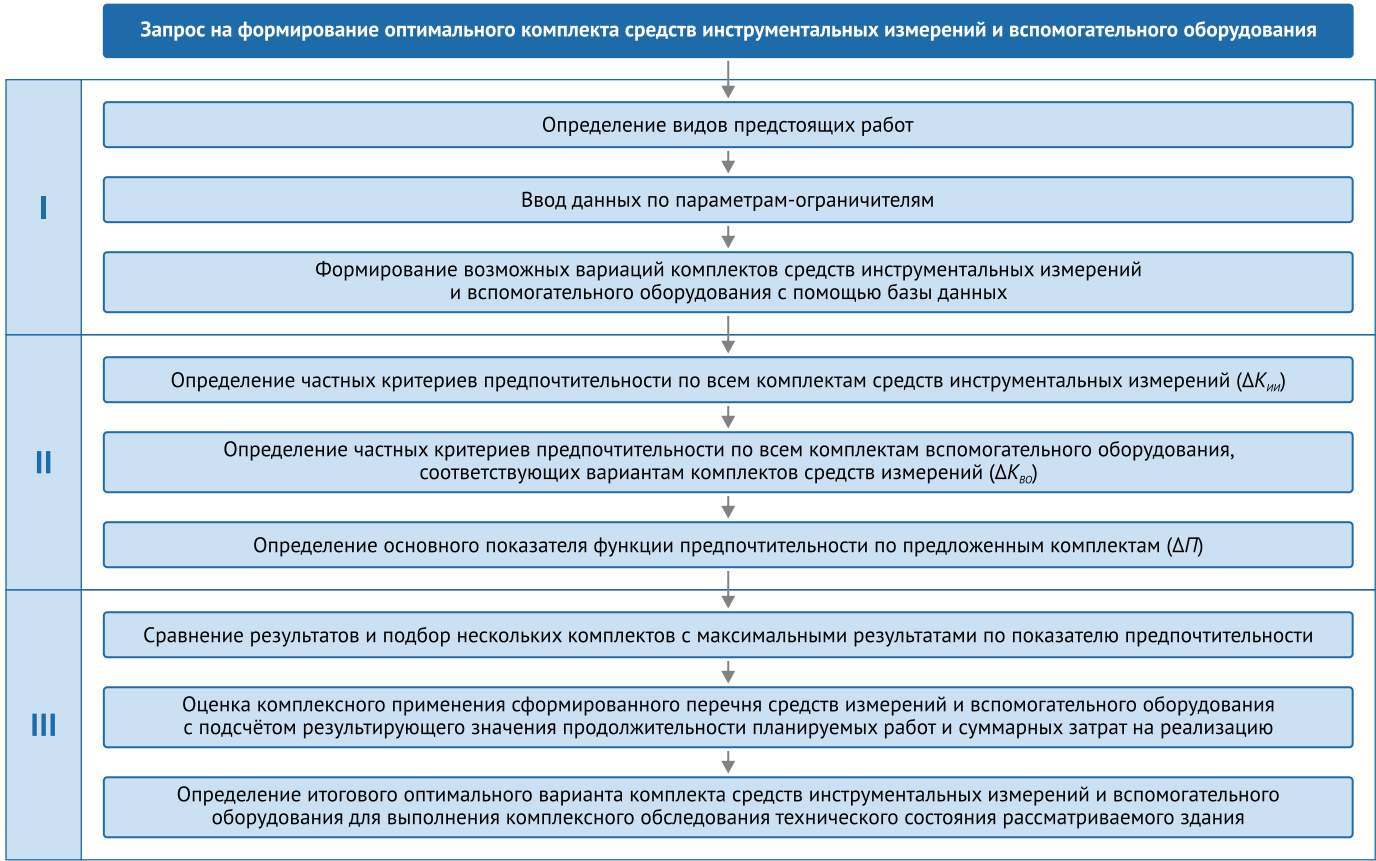


Рис. 3. Методика подбора оптимального комплекта средств измерений и вспомогательного оборудования
Fig. 3. Methodology for selecting the optimal set of measuring instruments and auxiliary equipment

рактических) не сказывалось на сравнительных результатах по подбору комплекта.

На третьем заключительном этапе рассматривается несколько комплектов, которые были подобраны с максимальными значениями показателя предпочтительности, и выполняется уже оценка комплексного применения сформированного перечня средств измерений и вспомогательного оборудования с подсчётом результирующего значения продолжительности планируемых работ и суммарных затрат на реализацию.

Окончательным результатом является определение итогового оптимального варианта комплекта средств инструментальных измерений и вспомогательного оборудования для выполнения комплексного обследования технического состояния рассматриваемого здания. Организационно-технологическая схема формирования оптимального комплекта средств измерений и вспомогательного оборудования, описанная выше, представлена подробно на рисунке 4.

Обсуждение

Предложенная в данном исследовании методика предназначена для практического применения при планировании контрольно-измерительных процессов, происходящих в ходе комплексного обследования технического состояния здания при вводе, эксплуатации или реконструкции. Это позволяет повысить производительность работы проектной группы по обследованию, обоснованность получаемых результатов и минимизировать возможные издержки, связанные с дополнительными

исследованиями и последующим срывом сроков выполнения инженерных изысканий.

Заключение

1. Проанализированы традиционный подход и вопросы формирования комплектов средств измерений для выполнения комплексного обследования технического состояния зданий.
2. Возможность оперативного и более эффективного решения задачи подбора оптимального комплекта средств измерений и вспомогательного оборудования может сыграть важную роль по отношению к объёмам и качеству выполняемых исследований специализированными организациями.
3. Предложена методика подбора оптимального комплекта, которая учитывает внешние и внутренние параметры влияния через критерий предпочтительности по каждому составляющему, но и рассматривает впоследствии лучшие варианты комплектов с точки зрения комплексной оценки в стремлении к минимальным затратам и срокам выполнения работ.
4. Представленная методика основана на установлении зависимостей и положений, обеспечивающих соответствие между параметрами объекта исследования, искомыми показателями и возможной к применению инструментальной базой.
5. Методика является составной частью организационно-технологического проектирования и учитывает контрольно-измерительные процессы, возникающие в ходе комплексного обследования.

Москва, 2022. – 83 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительство в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. – Москва, 2022. – 148 с.
2. Жилищное хозяйство в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. – Москва, 2022. – 83 с.
3. Промышленное производство в России. 2023: Стат.сб. / Росстат. – Москва, 2023. – 259 с.
4. Лапидус, А. А. Организация работ по обследованию зда-

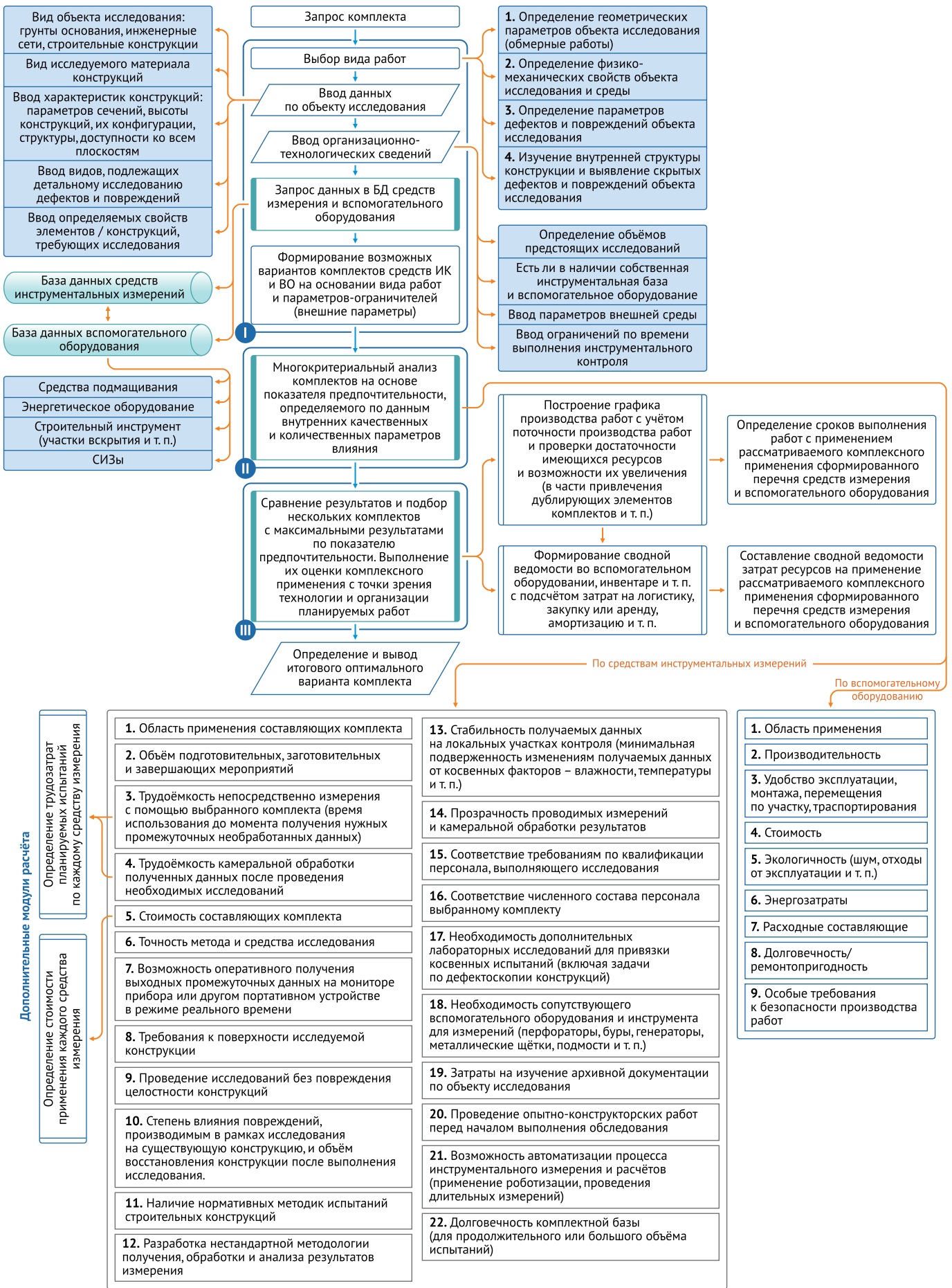


Рис. 4. Организационно-технологическая схема формирования оптимального комплекта
Fig. 4. Organizational and technological scheme for the formation of an optimal set

ний и сооружений / А. А. Лapidus, Д. В. Topчий. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.03.12-15 // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 3. – С. 12–15.

5. Исаков, А. В. Факторы, влияющие на достоверность результатов неразрушающего контроля бетона конструкций эксплуатируемых сооружений (из опыта обследований) / А. В. Исаков, В. Г. Штенгель // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2021. – Т. 301. – С. 85–108.

6. Breyse, D. Non-destructive assessment of concrete structures: Reliability and limits of single and combined techniques : State-of-the-art report of RILEM Technical committee TC 207-INR / D. Breyse. – Springer, 2012. – 388 p.

REFERENCES

1. Stroitel'stvo v Rossii [Construction in Russia]. 2022: Stat. sb. / Rosstat. – Moscow, 2022. – 148 p.

2. Zhilishchnoye khozyaystvo v Rossii [Housing in Russia]. 2022: Stat. sb. / Rosstat. – Moscow, 2022. – 83 p.

3. Promyshlennoye proizvodstvo v Rossii [Industrial production in Russia]. 2023: Stat. sb. / Rosstat. – Moscow, 2023. – 259 p.

4. Lapidus, A. A. Organizatsiya rabot po obsledovaniyu zdaniy i sooruzheniy [Organization of work on the inspection of buildings and structures] / A. A. Lapidus, D. V. Topchiy. – DOI10.33622/0869-7019.2023.03.12-15 // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2023. – No. 3. – Pp. 12–15.

5. Isakov, A. V. Faktory, vliyayushchiye na dostovernost' rezul'tatov nerazrushayushchego kontrolya betona konstruktсий ekspluatiruyemykh sooruzheniy (iz opyta obsledovaniy) [Factors influencing the reliability of the results of non-destructive testing of concrete structures of operated structures (from survey experience)] / A. Isakov, V. G. Shtengel' // Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo Instituta gidrotekhniki i sooruzheniy [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev]. – 2021. – Т. 301. – Pp. 85–108.

6. Breyse, D. Non-destructive assessment of concrete structures: Reliability and limits of single and combined techniques : State-of-the-art report of RILEM Technical committee TC 207-INR / D. Breyse. – Springer, 2012. – 388 p.

7. Al-Neshawy, F. Combined NDT methods to determine the variations in compressive strength throughout concrete structures / F. Al-Neshawy, M. Ferreira, J. Puttonen // Proceedings of the International Conference on Non-destructive Evaluation of Concrete in Nuclear Applications - NDE NucCon 2023. – 2023. – URL: <https://www.ndt.net/?id=27842>.

8. Sharma, K. Analysis of Non-destructive Testing for Improved Inspection and Maintenance Strategies / K. Sharma // e-Journal of Nondestructive Testing. – 2023. – Vol. 28, Iss. 7. – URL: <https://doi.org/10.58286/28287>.

9. Китаев, Н. Н. Групповые экспертные оценки / Н. Н. Китаев. – Москва : Знание, 1975. – 64 с.

nikl im. B. Ye. Vedeneyeva [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev]. – 2021. – Т. 301. – Pp. 85–108.

6. Breyse, D. Non-destructive assessment of concrete structures: Reliability and limits of single and combined techniques : State-of-the-art report of RILEM Technical committee TC 207-INR / D. Breyse. – Springer, 2012. – 388 p.

7. Al-Neshawy, F. Combined NDT methods to determine the variations in compressive strength throughout concrete structures / F. Al-Neshawy, M. Ferreira, J. Puttonen // Proceedings of the International Conference on Non-destructive Evaluation of Concrete in Nuclear Applications - NDE NucCon 2023. – 2023. – URL: <https://www.ndt.net/?id=27842>.

8. Sharma, K. Analysis of Non-destructive Testing for Improved Inspection and Maintenance Strategies / K. Sharma // e-Journal of Nondestructive Testing. – 2023. – Vol. 28, Iss. 7. – URL: <https://doi.org/10.58286/28287>.

9. Kitayev, N. N. Gruppovye ehkspertnyye otsenki [Group expert assessments] / N. N. Kitayev. – Moscow : Znaniye, 1975. – 64 p.

УДК 69.055

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_20

Технико-экономические показатели строительных 3D-принтеров для возведения объектов индивидуального жилищного строительства

Technical and Economic Parameters of 3D-printers for the Construction of Individual Residential Buildings

Коротеев Дмитрий Дмитриевич

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

Koroteev Dmitry Dmitrievich

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

Рвачёв Олег Михайлович

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

Rvachev Oleg Mikhaylovich

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, oleg.rvachevm@mail.ru

Памшева Софья Вячеславовна

Студентка кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, semenova.semenova2019@gmail.com

Pamsheva Sofya Vyachislavovna

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, semenova.semenova2019@gmail.com

Аннотация. Строительная 3D-печать является автоматизированным процессом, позволяющим сократить продолжительность, повысить безопасность и производительность труда во время строительства зданий и сооружений. Строительные 3D-принтеры нашли своё применение при возведении объектов индивидуального жилищного строительства, однако на данный момент их применение ограничено в том числе по причине отсутствия у застройщиков достаточных сравнительных данных о технических возможностях 3D-принтеров и их стоимости у различных производителей. Целью работы является проведение анализа технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров отечественных и зарубежных производителей. В анализе использованы данные о технических характеристиках современных строительных 3D-принтеров, заявляемые их про-

Abstract. Construction 3D printing is an automated process that can reduce the time, increase safety and productivity during the construction of buildings and structures. Construction 3D printers have found their application in the construction of individual housing construction projects, however, now their use is limited, including due to the lack of sufficient comparative data among developers on the technical capabilities of 3D printers and their cost from various manufacturers. The purpose of the work is to analyze the technical and economic indicators of construction 3D printers from domestic and foreign manufacturers. The analysis uses data on the technical characteristics of modern construction 3D printers, declared by their manufacturers and available in

Введение

Несмотря на то, что современное строительство является высокотехнологичной отраслью народного хозяйства, доля автоматизированных процессов в ней сравнительно небольшая, и её повышение является актуальной задачей. Автоматизация строительных процессов, помимо таких преимуществ, как повышение безопасности труда и качества строительной продукции, позволяет также повысить производительность труда за счёт передачи функций управления и выполнения трудоёмких строительных процессов от человека к машине [1].

Повышение производительности труда в строительной отрасли нашей страны является ключевой задачей на сегодняшний день. В малоэтажном строительстве эта проблема является одной из наиболее острых, так как подавляющее количество процессов, выполняемых при возведении объектов индивидуального жилого строительства, является ручными и полумеханизированными, а механизация, за счёт использования строительных машин, таких как монтажные краны, экскаваторы, бетононасосы и т. п., применяется в значительно меньшей степени по сравнению с возведением объектов капитального строительства. К автоматизированным процессам в этом случае можно отнести лишь приготовление бетонных смесей и строительных растворов на заводах с последующей доставкой их на строительные площадки, если это предусмотрено по условиям строительства.

Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации строительства является применение аддитивных технологий производства строительных конструкций зданий и сооружений, к которым относится строительная 3D-печать. На данный момент в нашей стране и за рубежом накоплен определённый опыт применения ад-

изводителями и находящиеся в открытых источниках информации. Рассматриваемые модели принтеров поделены на группы в зависимости от технологического назначения итоговой продукции, для каждой группы выделены наиболее подходящие модели в результате технико-экономической оценки их показателей, таких как производительность, стоимость, площадь печати и т. д. Результаты исследования свидетельствуют о том, что представленные модели отечественного рынка являются эффективными по техническим характеристикам и конкурентными по отношению к иностранным моделям.

Ключевые слова: аддитивные технологии в строительстве, строительная 3D-печать, строительный 3D-принтер, технико-экономические показатели, объект индивидуального жилищного строительства.

open sources of information. The printer models under consideration are divided into groups depending on the technological purpose of the final product; the most suitable models are identified for each group because of a technical and economic assessment of their indicators, such as productivity, cost, printing area, etc. The results of the study indicate that the presented models of the domestic market are effective in terms of technical characteristics and competitive with respect to foreign models.

Keywords: additive technologies in construction, construction 3D printing, construction 3D-printer, technical and economic parameters, individual residential buildings.

дитивных технологий для строительства объектов индивидуального жилого строительства, который выражается существующими объектами, построенными с применением 3D-печати [2–5].

Однако, в силу новизны данной технологии, отсутствия достаточной нормативной базы, регламентирующей её применение, использование строительных 3D-принтеров носит пока экспериментальный характер [6–7]. При этом компании, работающие на рынке индивидуального жилого строительства, при всех неоспоримых преимуществах аддитивных технологий, сталкиваются с отсутствием достаточной информации о производителях и доступности приобретения оборудования для 3D-печати, технико-экономических показателей и области применения 3D-принтеров, их стоимости и сроках окупаемости такого оборудования.

Целью настоящей статьи является заполнение этого пробела за счёт проведения анализа технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров отечественных и зарубежных производителей. Объектом исследования являются строительные 3D-принтеры, серийно выпускаемые в нашей стране и за рубежом. Предметом исследования является сравнение технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров, а также доступности их применения для возведения объектов индивидуального жилого строительства.

Материалы и методы

Для сравнения технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров проанализированы серийно выпускаемые модели отечественных и зарубежных производителей. В основу анализа легли данные о технических характеристиках современных строительных 3D-принтеров, заявляемые их производителями и нахо-

дающиеся в открытых источниках информации. В связи с различной конфигурацией 3D-принтеров, рассматриваемые модели поделены на группы в зависимости от технологического назначения итоговой продукции [8–14]:

- здания и сооружения простых конструктивных форм, преимущественно прямоугольной или квадратной формы в плане;
- здания и сооружения сложных конструктивных форм, имеющие скруглённые или криволинейные элементы;
- высотное строение (в данном случае под высотным понимается здание или сооружение высотой более 10 метров);
- отдельные элементы зданий и сооружений, а также малые архитектурные формы (МДФ).

Отдельные образцы могут быть пригодны для производства как одного, так и нескольких видов готовой продукции, типы которой представлены выше.

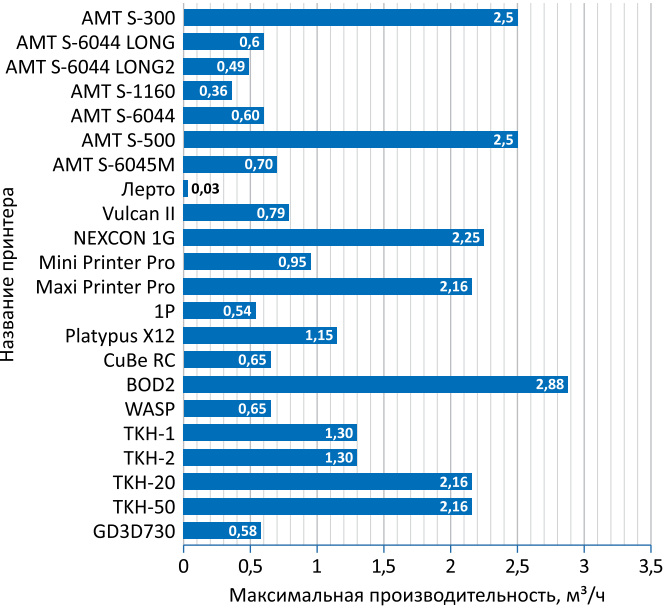


Рис. 1. Максимальная производительность 3D-принтеров
Fig. 1. Maximum productivity of 3D printers

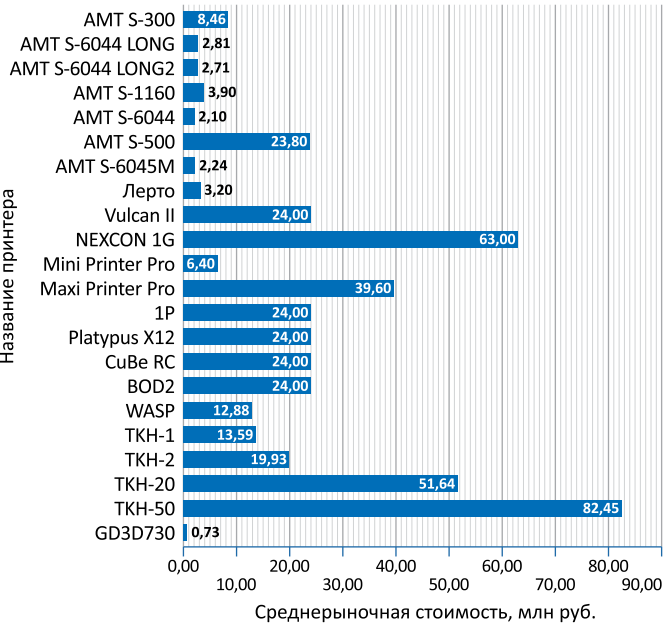


Рис. 2. Среднерыночная стоимость строительного 3D-принтера
Fig. 2. Average market value of 3D printers

В качестве исследуемых технико-экономических показателей выбраны:

- Тип принтера (портальный, трёхосевой, крановый, манипулятор) и техническое назначение.
- Ширина и высота слоя печати.
- Максимальная производительность принтера и потребляемая мощность.
- Рабочая зона (L × B × H) принтера и максимальная площадь готовой конструкции.
- Стоимость принтера и страна производства.

Результаты

Результаты анализа технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров, доступных для приобретения и использования при возведении объектов индивидуального жилищного строительства, представлены в таблице 1.

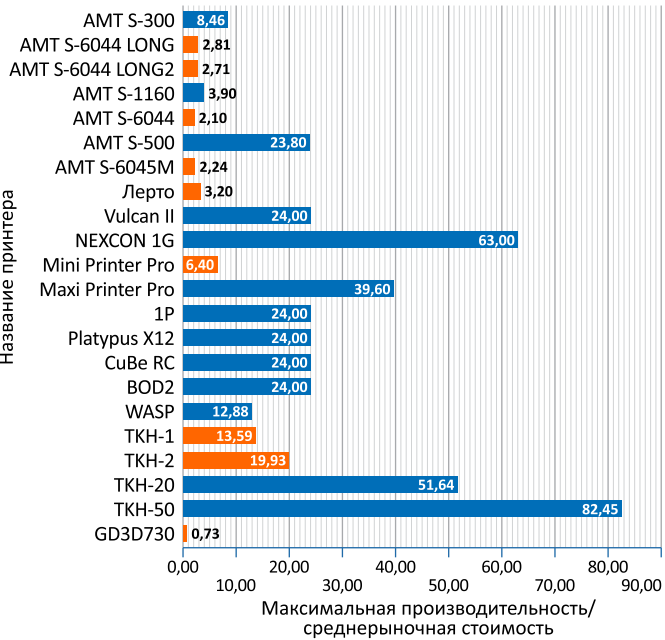


Рис. 3. Отношение максимальной производительности строительных принтеров к их среднерыночной стоимости
Fig. 3. Ratio of maximum productivity of 3D printers and their average market value

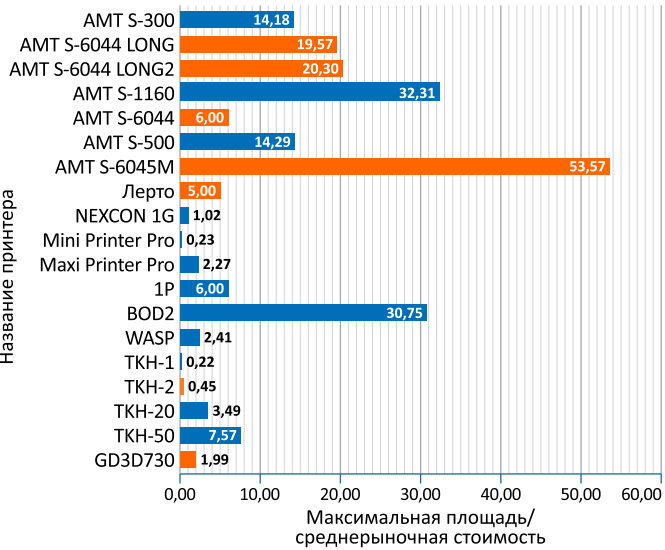


Рис. 4. Отношение максимальной площади готовой продукции к среднерыночной стоимости строительных 3D-принтеров
Fig. 4. Ratio of maximum sizes of printed structures and their average market value of 3D printers

№	Название / производитель / страна производства	Тип принтера / техническое назначение	Макс. производит. м³ / ч / потреб. мощность, кВт	Ширина слоя, мм / высота слоя, мм	Рабочая зона (L x B x H), м / макс. площадь готовой конструкции, м²	Стоимость, руб.
1	AMT S-300 / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,5 / 12	10–30 / 40–80	11,5 x 11,5 x 4 / 120	8 460 000
2	AMT S-6044 LONG / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,6 / 1,6	10 / 30–40	7,5 x 7,1 x 1,05 / 55	2 810 000
3	AMT S-6044 LONG2 / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,49 / 1,6	10–30 / 10–30	7,4 x 7,5 x 2,7 / 55	2 710 000
4	AMT S-1160 / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм, МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,36 / 7,5	20–50 / 5–10	11,5 x 11 x 8 / 126	3 900 000
5	AMT S-6044 / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,6 / 2,5	30 / 10	3,5 x 3,1 x 1 / 12,6	2 100 000
6	AMT S-500 / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,5 / 27	40–80 / 10–30	11 x 29 x 14 / 340	23 800 000
7	AMT S-6045M / «АМТ» («Спецавиа») / Россия	Портальный (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,7 / 2,5	20–50 / 5–10	3,5 x 3,6 x 1 / 120	2 240 000
8	Лерто / «Лерто» / Россия	Манипулятор (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,03 / –	18–40 / 3–10	4 x 4 x 3 / 16	3 200 000
9	Vulcan II / ICON / США	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	0,79 / –	до 50 / до 25	10 x * x 2,5 / не ограничена	24 000 000
10	NEXCON 1G / Black Buffalo 3D / США	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм, МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	2,25 / 10	40–50 / 10–50	8,0 x 8,0 x 8,0 / 64	63 000 000
11	Mini Printer Pro / Construction 3D / Франция	Портальный (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,95 / –	10–30 / 35	1,2 x 1,2 x 1,2 / 1,44	6 400 000
12	Maxi Printer Pro / Construction 3D / Франция	Манипулятор / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,16 / –	20–50 / 5–40	9,5 x 9,5 x 7,5 / 90	39 600 000
13	1P / BetAbram / Словения	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	0,54 / –	10–30 / 10	18 x 9 x 2,5 / 144	24 000 000
14	Platypus X12 / Luyten 3D / Австралия	Крановый (линейный) / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм, МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	1,15 / –	10–40 / 10–40	12 x * x 6 / не ограничена	24 000 000
15	CuBe RC / CuBe Construction / Нидерланды	Манипулятор (гусеничный) / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм, МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,65 / –	до 30 / до 30	5 x 5 x 3,2 / не ограничена	24 000 000
16	BOD2 / COBOD / Дания	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,88 / –	до 40 / до 20	14,62 x 50,52 x 8,14 / 738	24 000 000
17	WASP / WASP Crane / Италия	Крановый (радиальный) / Здания и сооружения сложных конструктивных форм (окружность в плане)	0,65 / 1,5	18–30 / 9–20	6,3 x 6,3 x 3 / 31	12 880 000
18	TKH-1 / Guangzhou Rising Dimension Trading / Китай	Портальный / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	1,3 / –	10–40 / 5–30	1,5 x 2 x 2 / 3	13 590 000
19	TKH-2 / Guangzhou Rising Dimension Trading / Китай	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм, МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	1,3 / –	10–40 / 5–30	3 x 3 x 2,5 / 9	19 932 000
20	TKH-20 / Guangzhou Rising Dimension Trading / Китай	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,16 / –	10–40 / 5–30	18 x 10 x 5 / 180	51 642 000
21	TKH-50 / Guangzhou Rising Dimension Trading / Китай	Портальный / Здания и сооружения простых и сложных конструктивных форм	2,16 / –	10–40 / 5–30	48 x 13 x 14 / 624	82 446 000
22	GD3D730 / Chongqing Huibo Lab Instrument / Китай	Портальный (цеховой) / МДФ и отдельные элементы зданий и сооружений	0,58 / 2,6	5–20 / 5–20	1,2 x 1,2 x 1,2 / 1,44	725 000

* Рассматриваемый линейный параметр не ограничивается в размерах фирмой-производителем

Табл. 1. Результаты анализа технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров [8–14]
Tab. 1. The results of the analysis of technical and economic indicators of construction 3D-printers [8–14]

Все принтеры, представленные в таблице 1, рассматриваются в максимальной комплектации, предусмотренной производителем. Стоимость принтеров принята среднерыночной на основе публичных данных на 01.01.2024 г.

Обсуждение

Анализ представленных в данной работе образцов проведён на основании сравнения основных технико-экономических показателей, таких как производительность, максимальная площадь готовой продукции, максимальная этажность готовой продукции и стоимость принтера (рисунки 1–2, таблица 1), а также удельных показателей, полученных отношением двух ключевых параметров друг относительно друга (рисунки 3–4).

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что наибольшей производительностью из представленных принтеров обладает BOD2 от датской фирмы COBOD. В тройку лидеров по производительности также вошли принтеры российского производства: AMT S-500 и AMT S-300 от компании «АМТ» («Спецавиа»).

Наиболее эффективными относительно максимальной площади готовой продукции оказались принтеры без статически закреплённых опорных частей, т. е. принтеры без технических ограничений на предельно возможную площадь здания или сооружения в плане. К таким принтерам относятся Vulcan II от американской фирмы ICON, Plutypus X12 и Arti от австралийских компаний Luyten 3D и Macro 3D соответственно, а также CuBe RC от нидерландской фирмы CuBe Construction и принтер BOD2 от датской фирмы COBOD с максимально возможной площадью готовой конструкции в плане 738 м².

Проводя анализ стоимости 3D-принтеров и учитывая их технические характеристики, можно выделить ряд принтеров, наиболее экономически выгодных, исходя из технологического назначения зданий:

1. Для создания зданий и сооружений простых и сложных конструктивных форм наиболее выгодно использовать AMT S-500 от российского производителя «АМТ» («Спецавиа») стоимостью 8,46 млн руб.
2. Для создания МАФ и отдельных элементов зданий и сооружений предпочтительнее выбрать принтер GD3D730 от китайского производителя Chongqing Huibo Lab Instrument стоимостью 0,725 млн руб.

Для наглядности рассматриваемые параметры на рисунках 3 и 4 были увеличены в 106 раз. Синим цветом на графиках (рисунки 3 и 4) обозначены внецеховые принтеры, которые можно использовать для возведения зданий непосредственно на строительной площадке, а оранжевым – цеховые, производящие отдельные элементы зданий и сооружений, а также МАФ.

Анализ данных на рисунке 3 показал, что наибольшим отношением максимальной производительности строительных принтеров к их среднерыночной стоимости

обладает цеховой строительный принтер GD3D730 от китайской фирмы Chongqing Huibo Lab Instrument. Лидером среди внецеховых принтеров является AMT S-300 от компании «АМТ» («Спецавиа»).

Анализ данных, представленных на рисунке 4, показал, что наибольшим отношением максимальной площади готовой продукции к среднерыночной стоимости строительных 3D-принтеров обладает цеховой строительный принтер AMT S-6045M от российского производителя «АМТ» («Спецавиа»). Лидером среди внецеховых принтеров является AMT S-1160 также от этого российского производителя.

Однако принтеры Vulcan II от американского производителя ICON, Plutypus X12 от австралийского производителя Luyten 3D, Arti от австралийского производителя Macro 3D, CuBe RC от нидерландской фирмы CuBe Construction не ограничиваются в размерах по площади, в связи с чем являются наиболее эффективными по рассматриваемому параметру.

Заключение

Современное развитие строительных 3D-принтеров позволяет компаниям, интегрирующим технологии 3D-печати в своё производство, добиться значительного преимущества в ряде параметров, таких как скорость возведения несущих конструкций, скорость возведения конструкций с криволинейной поверхностью и т. д., над классическим строительством. Анализ технико-экономических показателей строительных 3D-принтеров показывает, что наибольшее техническое преимущество получают принтеры с подвижными опорами, которые позволяют создавать здания и сооружения неограниченного размера в плане. Принтеры, производящие отдельные элементы зданий и сооружений, в среднем более производительны по сравнению с принтерами, печатающими готовые здания и сооружения, однако они требуют дополнительных трудозатрат. Суммарная средняя эффективность каждого из двух вариантов возведения зданий и сооружений с помощью строительных 3D-принтеров на данный момент не известна.

Важным выводом является то, что представленные модели отечественного рынка являются эффективными по техническим характеристикам и конкурентными по отношению к иностранным моделям.

В силу того, что рынок строительной 3D-печати достаточно молодой и конкуренция на нём небольшая, производители принтеров ещё не прошли естественный рыночный отбор и не пришли к более узким сегментам наиболее эффективных типов строительных принтеров и их унифицированным характеристикам. Возможным вариантом развития рынка строительных 3D-принтеров будет стремление к унификации параметров и использование подвижных опор строительных принтеров как наиболее эффективных по ряду параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Attaining digital transformation in construction: An appraisal of the awareness and usage of automation techniques / A. E. Oke, J. Aliu, P. O. Fadamiro, P. O. Akanni, S. S. Stephen // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 67. – Art. 105968. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105968>.

2. 3D printing with cementitious materials: Challenges and opportunities for the construction sector / R. Robayo-Salazar, R. Mejía de Gutiérrez, M. A. Villaquirán-Cacedo, S. D. Arjona //

Automation in Construction. – 2023. – Vol. 146. – Art. 104693. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104693>.

3. Симакова, Е. А. Применение 3D-печати в строительстве / Е. А. Симакова, К. И. Селякова, Д. Кравченко // Инженерные исследования. – 2021. – № 1 (1). – С. 3–11.

4. 3D concrete printing for sustainable and economical construction: A comparative study / M. Batikha, R. Jotangia, M. Yasser Baaj, I. Mousleh // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – Art. 104087. – URL: [autcon.2021.104087.](https://doi.org/10.1016/j.</p></div><div data-bbox=)

5. Koroteev, D. D. The application of additive manufacturing technologies in the construction industry by the example of 3D-model design and printing / D. D. Koroteev, A. I. Koreneva, and N. Yu. Kolupaev // AIP Conference Proceedings : Proceedings of the International Conference on Engineering Research 2021 (Icer 2021), Moscow, Russia, 20–22 October 2021. – 2022. – Vol. 2559, Iss. 1. – Art. 040004.

6. Колесников, А. Г. Возведение зданий и сооружений с помощью аддитивных технологий / А. Г. Колесников // Естественно-научное знание сегодня: новые оценки новой эпохи : монография. – Петрозаводск : Международный центр научного партнёрства «Новая Наука». – 2020. – С. 89–107.

7. Tabassum, T. Аю. review of 3d printing technology-the future of sustainable construction / T. Tabassum, A. A. Mir // Materials Today: Proceedings. – 2023. – Vol. 93, Part 3. – Pp. 408–414. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.013>.

8. Rollakanti, C. R. Applications, performance, challenges and current progress of 3D concrete printing technologies as the future of sustainable construction – A state of the art review / C. R. Rollakanti, C. V. Siva Rama Prasad // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65, Part 2. – Pp. 995–1000. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.619>.

9. Life cycle assessment of building envelopes manufactured through different 3D printing technologies / I. Bianchi,

REFERENCES

1. Attaining digital transformation in construction: An appraisal of the awareness and usage of automation techniques / A. E. Oke, J. Aliu, P. O. Fadamiro, P. O. Akanni, S. S. Stephen // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 67. – Art. 105968. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105968>.

2. 3D printing with cementitious materials: Challenges and opportunities for the construction sector / R. Robayo-Salazar, R. Mejía de Gutiérrez, M. A. Villaquirán-Cacedo, S. D. Arjona // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 146. – Art. 104693. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104693>.

3. Simakova, E. A. Primenenie 3D-pechat' v stroitel'stve [Application of 3D printing in construction] / E. A. Simakova, K. I. Selyakova, D. Kravchenko // Inzhenernye issledovaniya [Engineering research]. – 2021. – № 1 (1). – Pp. 3–11.

4. 3D concrete printing for sustainable and economical construction: A comparative study / M. Batikha, R. Jotangia, M. Yasser Baaj, I. Mousleh // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – Art. 104087. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104087>.

5. Koroteev, D. D. The application of additive manufacturing technologies in the construction industry by the example of 3D-model design and printing / D. D. Koroteev, A. I. Koreneva, and N. Yu. Kolupaev // AIP Conference Proceedings : Proceedings of the International Conference on Engineering Research 2021 (Icer 2021), Moscow, Russia, 20–22 October 2021. – 2022. – Vol. 2559, Iss. 1. – Art. 040004.

6. Kolesnikov, A. G. Vozvedenie zdaniy i sooruzhenij s pomoshh'yu additivnykh tekhnologij [Erecting buildings and structures using additive technologies] / A. G. Kolesnikov // Estestvenno-nauchnoe znanie segodnya: novye otsenki novoj ehpokhi : monografiya [Natural science knowledge today: new estimates of a new era : monograph]. – Petrozavodsk : Mezhdunarodnyj tsentr nauchnogo partnyorstva «Novaya Nauka» [International Center for Scientific Partnership «New Science»]. – 2020. – Pp. 89–107.

7. Tabassum, T. Аю. review of 3d printing technology-the future

S. Volpe, F. Fiorito, A. Forcellese, V. Sangiorgio // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 440. – Art. 140905. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140905>.

10. The marketplace for additive manufacturing hardware / Aniwa : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.aniwaa.com> (дата обращения: 01.02.2024).

11. 3D pulse. Строительная 3D-печать в России : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.3dpulse.ru> (дата обращения: 05.02.2024).

12. Haar, B. T. Off-site construction with 3D concrete printing / B. T. Haar, J. Kruger, G. van Zijl // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 152. – Art. 104906. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104906>.

13. Motalebi, A. A systematic review of life cycle assessments of 3D concrete printing / A. Motalebi, M. A. H. Khondoker, G. Kabir // Sustainable Operations and Computers. 2024. – Vol. 5. – Pp. 41–50. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2023.08.003>.

14. Rehman, A. Towards full automation in 3D concrete printing construction: Development of an automated and inline sensor-printer integrated instrument for in-situ assessment of structural build-up and quality of concrete / A. Rehman, I. Kim, J. Kim // Developments in the Built Environment. – 2024. – Vol. 17. – Art. 100344. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100344>.

of sustainable construction / T. Tabassum, A. A. Mir // Materials Today: Proceedings. – 2023. – Vol. 93, Part 3. – Pp. 408–414. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.013>.

8. Rollakanti, C. R. Applications, performance, challenges and current progress of 3D concrete printing technologies as the future of sustainable construction – A state of the art review / C. R. Rollakanti, C. V. Siva Rama Prasad // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65, Part 2. – Pp. 995–1000. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.619>.

9. Life cycle assessment of building envelopes manufactured through different 3D printing technologies / I. Bianchi, S. Volpe, F. Fiorito, A. Forcellese, V. Sangiorgio // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 440. – Art. 140905. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140905>.

10. The marketplace for additive manufacturing hardware / Aniwa : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.aniwaa.com> (дата обращения: 01.02.2024).

11. 3D pulse. Stroitel'naya 3D-pechat' v Rossii [3D pulse. Construction 3D printing in Russia] : [electronic resource]. – URL: <https://www.3dpulse.ru> (date of application: 02/05/2024).

12. Haar, B. T. Off-site construction with 3D concrete printing / B. T. Haar, J. Kruger, G. van Zijl // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 152. – Art. 104906. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104906>.

13. Motalebi, A. A systematic review of life cycle assessments of 3D concrete printing / A. Motalebi, M. A. H. Khondoker, G. Kabir // Sustainable Operations and Computers. 2024. – Vol. 5. – Pp. 41–50. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2023.08.003>.

14. Rehman, A. Towards full automation in 3D concrete printing construction: Development of an automated and inline sensor-printer integrated instrument for in-situ assessment of structural build-up and quality of concrete / A. Rehman, I. Kim, J. Kim // Developments in the Built Environment. – 2024. – Vol. 17. – Art. 100344. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100344>.

Влияние различных факторов на внедрение 3D-печати в строительство

The Influence of Various Factors on the Introduction of 3D Printing in Construction

Болотова Алина Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, bolotova63@mail.ru

Bolotova Alina Sergeevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, bolotova63@mail.ru

Сабанчиева Марьянна Хадисовна

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Kangezova97@mail.ru

Sabanchieva Maryanna Khadisovna

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, Kangezova97@mail.ru

Филатов Александр Александрович

Студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, bolotova63@mail.ru

Filatov Alexander Alexandrovich

Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, bolotova63@mail.ru

Трошин Родион Алексеевич

Студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, bolotova63@mail.ru

Troshin Rodion Alekseevich

Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, bolotova63@mail.ru

Аннотация. Актуальность определена тем, что в последние годы технология 3D-печати приобретает всё большую популярность среди инженеров разных стран мира. Она используется в строительстве не только жилых зданий, но и прочих нежилых сооружений. Выявлены потенциальные причины результативного применения этой технологии в строительной области. Приведены наиболее успешные строительные проекты России, Китая и ОАЭ, реализации которых поспособствовало внедрение 3D-печати.

Цель исследования: выявить и обосновать наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на развитие технологии 3D-печати в строительстве. **Методика исследования** заключается в анализе степени применения аддитивных технологий в разных странах, значимости технологии для участников строительной отрасли и выявлении причинно-следственных связей в виде структурированной диаграммы Исикавы. Метод используют для отображения наиболее существенных факторов (причин), влияющих на конечный результат (следствие), которые могут быть далее проверены опытным путём или на основе

Abstract. The relevance is determined by the fact that in recent years 3D printing technology has become increasingly popular among engineers from around the world. It is used in the construction of not only residential buildings, but also other non-residential structures. The potential reasons for the effective application of this technology in the construction field have been identified. The most successful construction projects in Russia,

имеющихся данных.

В результате проделанной работы определены факторы, влияющие на развитие 3D-печати в строительстве. Во-первых, это нехватка нормативных документов и государственного стимулирования. Во-вторых, недостатком является высокая стоимость оборудования, дефицит квалифицированных кадров, а также недостаточное исследование строительных материалов для 3D-печати. **Выводы.** Развитие аддитивных технологий приводит к экологически чистому производству и строительству долговечных зданий и сооружений за короткий промежуток времени. Для внедрения этой технологии необходимы специальное оборудование и обученный персонал, которые могут быть предоставлены в России путём направления финансовых ресурсов на разработку этой современной и быстро развивающейся технологии.

Ключевые слова: строительство, цифровизация, аддитивные технологии, 3D-печать, информационное моделирование зданий, трёхмерные технологии, 3D-модель.

China and the UAE, the implementation of which was facilitated by the introduction of 3D printing, are presented.

The purpose of the study is to identify and substantiate the most significant factors influencing the development of 3D printing technology in construction. **The research methodology** consists in analyzing the degree of application of additive technologies in different countries, the importance of technology for

participants in the construction industry and identifying cause-and-effect relationships in the form of a structured Ishikawa diagram. The method is used to display the most significant factors (causes) affecting the final result (effect), which can be further verified empirically or based on available data.

As a result of the work done, the factors influencing the development of 3D printing in construction have been identified. Firstly, there is a lack of regulatory documents and government incentives. The disadvantage is the high cost of equipment, a

Введение

Технология трёхмерной 3D-печати потенциально способна произвести революцию в строительной отрасли, обеспечив более эффективный и экологичный подход к возведению жилых и нежилых зданий и сооружений. Рассмотрим внедрение 3D-печати в строительство жилых и нежилых зданий и сооружений на примере опыта России, Китая и ОАЭ. Определим наиболее важные аспекты, влияющие на развития аддитивных технологий в строительстве в РФ.

Опыт внедрения технологии 3D-печати российских компаний

Несмотря на то, что технология 3D-печати зародилась ещё в 80-х годах 20-го века, в строительной области она появилась гораздо позже. Первые строительные проекты с использованием этой технологии появились в России только в 2014 году. Речь идёт, прежде всего, о так называемых малых архитектурных формах (скамейки, клумбы, заборы). В 2015 году российский стартап Apis Cor напечатал жилой дом в Подмосковье. В 2019 году та же компания осуществила 3D-печать крупнейшего в мире дома площадью 650 кв. м и высотой 9,5 м в ОАЭ [1–2]. Кроме того, существует компания «Спецавиа» (г. Ярославль), которая в основном занимается производством принтеров и их совершенствованием. Она же построила первый жилой дом по аддитивной технологии в городе Ярославле в 2017 году. С тех пор периодически появляются новости о строительстве новых жилых зданий с применением технологии 3D-печати. Однако, несмотря на то, что технология показала себя очень перспективной с точки зрения скорости возведения жилья и снижения стоимости строительства, никакого массового внедрения в России, к сожалению, пока что не последовало.

Впрочем, в России активно развиваются технологии создания материалов для 3D-печати. Например, Томский госуниверситет (ТГУ) работает над разработками материалов на основе корундовой керамики. По сравнению с другими аддитивными методами для печати изделий на основе тугоплавких керамических порошков, технология обладает наибольшей разрешающей способностью и практически не имеет ограничений по геометрии изделия. В настоящее время в рамках государственной программы «Приоритет 2030» реализуется проект «Разработка научных основ стереолитографической 3D-печати керамическими материалами», что особенно помогает осуществлять разработки в этом направлении.

В Российской Федерации с 2021 г. вступили в силу государственные стандарты на материалы для аддитивного строительного производства. Документы разработаны НИУ МГСУ и являются первыми в мировой практике государственными стандартами в области строительной 3D-печати. Введение этих стандартов обеспечивает необходимую гибкость для строительных компаний в приме-

shortage of qualified personnel, as well as insufficient research of building materials for 3D printing. **Conclusions.** To implement this technology, special equipment and trained personnel are needed, which can be provided in Russia by channeling financial resources to develop this modern and rapidly developing technology.

Keywords: construction, digitalization, additive manufacturing, 3D printing, building information modeling, 3D technology, 3D model.

нении на практике материалов и технологий аддитивного строительного производства в своих проектах.

Опыт внедрения технологии 3D-печати в строительной области Китая

Инженеры Китая очень активно внедряют технологии 3D-печати в строительство. Жилые дома строятся в Китае с использованием данных технологий уже давно. Так, в 2014 году стоимость создания жилого здания из цемента, отходов строительства, стекловолокна и некоторых других компонентов с помощью 3D-принтера составляла всего 4800 долларов. Данные строительные материалы безвредны для человека, и этот факт делает технологию «зелёной» [3].

Сегодня технология 3D-печати в Китае продвинулась далеко вперёд. Например, в данный момент китайские инженеры с её помощью строят плотину. Она станет самым высоким сооружением в мире, напечатанным на 3D-принтере. В течение двух лет официальные лица, стоящие за этим проектом, хотят полностью автоматизировать беспилотное строительство плотины высотой 590 футов на Тибетском нагорье для строительства гидроэлектростанции Янцю.

В статье, опубликованной в прошлом году в журнале Университета Цинхуа («Наука и технология»), излагались планы строительства плотины, о чём впервые сообщила газета South China Morning Post. Исследователи из Государственной ключевой лаборатории гидронауки и инженерии Университета Цинхуа в Пекине объясняют основы автоматизации планируемой плотины на реке Хуанхэ, которая в конечном итоге будет вырабатывать почти пять миллиардов киловатт-часов электроэнергии в год. В процессе «печати» плотины техника доставит строительные материалы к месту проведения работ – точно в нужное место, что, по их словам, исключает человеческую ошибку, а затем беспилотные бульдозеры, асфальтоукладчики и катки слой за слоем будут формировать плотину. Датчики на роликах будут информировать систему искусственного интеллекта о прочности и стабильности каждого из слоёв, напечатанных на 3D-принтере, до тех пор, пока он не достигнет 590 футов в высоту.

Более того, инженеры Китая планируют внедрять технологии 3D-печати в строительство на Луне. По словам газеты China Daily, Китай планирует использовать свою программу исследования Луны для изучения возможности использования технологии 3D-печати для строительства зданий на ней [4].

Опыт внедрения технологии 3D-печати в строительной области ОАЭ

Страны Персидского залива не стоят на месте в индустрии технологии 3D-печати в строительстве, ведь она позволяет с лёгкостью создавать сложные конструкции. Например, Дубай работает над созданием первой в мире полностью функциональной мечети, напечатанной на 3D-принтере [5]. Строительство мечети площадью

2000 квадратных метров, расположенной в Бур-Дубае, началось в октябре 2023 года. По словам IACAD, строительство мечети, которая будет построена с использованием технологии 3D-печати, займёт около четырёх месяцев, и ещё 12 месяцев потребуется на добавление соответствующих помещений.

Одним из самых успешных проектов 3D-строительства является одноэтажное офисное здание штаб-квартиры «Фонда будущего Дубая». Здание также занесено в Книгу рекордов Гиннесса как первое в мире коммерческое здание, напечатанное на 3D-принтере. Вся конструкция здания была создана с использованием 3D-принтера методом «печати» из аддитивного бетона. Принтер размером 20 футов в высоту, 120 футов в длину и 40 футов в ширину включал в себя автоматизированную роботизированную руку для осуществления процесса печати. Процесс печати занял 17 дней и был установлен на месте в течение двух дней. Последующая работа над строительными услугами, интерьерами и ландшафтом заняла около трёх месяцев. Этот инновационный метод строительства позволил снизить трудозатраты более чем на 50 % по сравнению с традиционными зданиями аналогичного размера, одновременно сведя к минимуму количество отходов на стройплощадке, что привело к снижению воздействия проекта на окружающую среду.

Здание муниципалитета Дубая – двухэтажное здание, построенное российской компанией Aris Cor. По данным 2022 года, оно являлось самым большим зданием, напечатанным на 3D-принтере, в мире. Сооружение высотой 9,5 метров и площадью 640 квадратных метров было построено для муниципалитета Дубая. Печать производилась на открытом воздухе, выдерживая внешнюю температуру и факторы окружающей среды. «Проект дал нам уникальные знания и бесценный опыт, которые помогут нам усовершенствовать нашу технологию и разработать новую версию нашего 3D-принтера», – сказал Никита Ченнунтай, генеральный директор и основатель Aris Cor.

Материалы и методы

В рамках научного исследования мы анализируем процесс создания объекта при помощи аддитивных технологий, определяем основные факторы, влияющие на 3D-печать в строительстве, и изучаем причины, препятствующие развитию перспективного направления. Для этого мы использовали японский метод управления качеством в виде построения диаграммы причинно-следственных связей.

Технология 3D-печати имеет ряд потенциальных преимуществ по сравнению с традиционными методами строительства. Например, 3D-печать позволяет точно распределять материалы для определённых видов работ,

что может уменьшить количество бетона и других материалов, необходимых для проекта. Это позволяет экономить ресурсы. Кроме того, 3D-печать может сократить количество отходов, позволяя создавать индивидуальные конструкции по требованию, которые точно соответствуют установленному размеру и форме, без избытка материала [2].

Возведение зданий и сооружений при помощи 3D-принтера автоматизирует и совершенствует этапы строительства по сравнению с традиционными методами и, как следствие, упрощает процесс работы. Сокращается число рабочих для аддитивного производства, что приводит не только к сокращению затрат рабочего труда, но и к значительному уменьшению травм на строительной площадке. Также данный вид строительства не вызывает большого дискомфорта в плане шума для окружающей жизни, что также положительно влияет на здоровье как людей, так и животных.

С помощью 3D-принтера можно целиком напечатать объект на строительной площадке, как при монолитной технологии, или собрать и смонтировать его из модулей, как в сборном строительстве. В зависимости от выбранной строительной технологии определяется возможность работы на высоте, обширность архитектурных форм, а также требования к месту производства работ и климатическим особенностям. С помощью применения информационных технологий 3D-моделирования и печати возможно внесение оперативных изменений в проект ещё на стадии производства, таким образом достигается высокая точность изготовления конструкции [6].

Наиболее важные аспекты, влияющие на развитие аддитивных технологий в строительстве, систематизированы в виде диаграммы Исикавы (рисунок 1). Метод используют для отображения наиболее существенных факторов (причин), влияющих на конечный результат (следствие), которые могут быть далее проверены опытным путём или на основе имеющихся данных. Причины распределяются по четырём ключевым категориям: персонал (люди), технология (метод), материалы, оборудование (техника).

Результаты

Статья посвящена теоретическому поиску и объяснению аспектов, оказывающих влияние на использование аддитивных технологий в строительстве. Выделены основные факторы, воздействующие на развитие в мире 3D-печати. Подводя итог анализу и оценке состояния внедрения 3D-печати в отрасли, мы пришли к следующим результатам.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения аддитивных технологий на объектах капитального строительства для решения определённого круга задач, например экологических. Одним из ключевых преимуществ 3D-печати в строительстве является возможность использовать различные материалы, в том числе полученные из отходов строительства и сноса. Использование материалов на основе отходов может помочь снизить воздействие строительства зданий на окружающую среду и внести свой вклад в концепцию экономики замкнутого цикла, при которой отходы используются повторно, а не утилизируются [7].

Для этого необходимо внедрение новых технологий в строительном секторе, в том числе по переработке отходов строительства и созданию инновационных материалов. Ожидается, что геополимерные, активируемые щёлочью материалы, экологически безвредные материалы, имеющие минимальную нагрузку на окружающую среду и энергопотребление, заменят обычный портландцемент [8–9]. По сравнению с цементом геополимеры обладают превосходными механическими качествами, длительными эксплуатационными характеристиками и устойчивостью к высоким температурам, щёлочно-кремнезёмной реакции и сульфатным кислотам.

Помимо этого, данные технологии дают возможность быстро конструировать и возводить объекты с высокой трудоёмкостью в условиях обычного традиционного производства, что также является преимуществом 3D-печати и способствует разработке и оптимизации форм управления строительным производством.

В настоящий момент технология 3D-печати находится на раннем этапе своего развития, так как для неё нужно большое количество ресурсов, в том числе финансовых. Тем не менее, данная технология активно внедряется в строительную практику разных стран мира. На сегодняшний день строительство при помощи аддитивных технологий только набирает обороты, несмотря на то, что первые дома по этой технологии начали возводить ещё в 2014 г. Но до сих пор специалисты ощущают нехватку нормативных документов, регулирующих строительство зданий и сооружений с применением 3D-принтера.

Одними из факторов, которые тормозят развитие аддитивных технологий, являются отсутствие нормативной базы, высокая стоимость оборудования, дефицит квалифицированных кадров, а также нехватка необходимых строительных материалов для 3D-печати. Переход на перспективные технологии может принести большую пользу и преимущества, а также крупные изменения. Но для обеспечения необходимой нормативно-правовой базы технологии такого уровня должны поддерживаться на государственном уровне. Необходимо пересмотреть и модернизировать стандарты, касающиеся проектирования, строительных материалов, пожарной безопасности и других аспектов, касающихся аддитивного производства в строительстве.

Заключение

Таким образом, на основе опыта инженеров России, Китая и ОАЭ мы можем подчеркнуть важность и прогрессивность технологии 3D-печати сегодня. Обладая большим количеством достоинств, данная технология позволяет строить экологичные и прочные здания и сооружения за небольшой срок. Однако, несмотря на все вышеперечисленные преимущества аддитивных технологий, есть ряд проблем.

Для внедрения данной технологии нужны специальная техника и обученные кадры. В России сегодня необходимо обеспечить большее финансирование фундаментальных исследований в области аддитивных технологий и материалов для 3D-печати, а также повысить уровень образования в этой области с помощью создания учебных программ для подготовки квалифицированных кадров в главных строительных вузах страны. Большое влияние также оказывают место проведения строительства и его взаимосвязь с погодными условиями производства работ. Необходимо осуществить поиск подходящих мест. И самое главное, необходимо решать задачи слабого государственного регулирования нормативно-технической документации и стимулирования участников строительства в применении и развитии инновационных технологий.

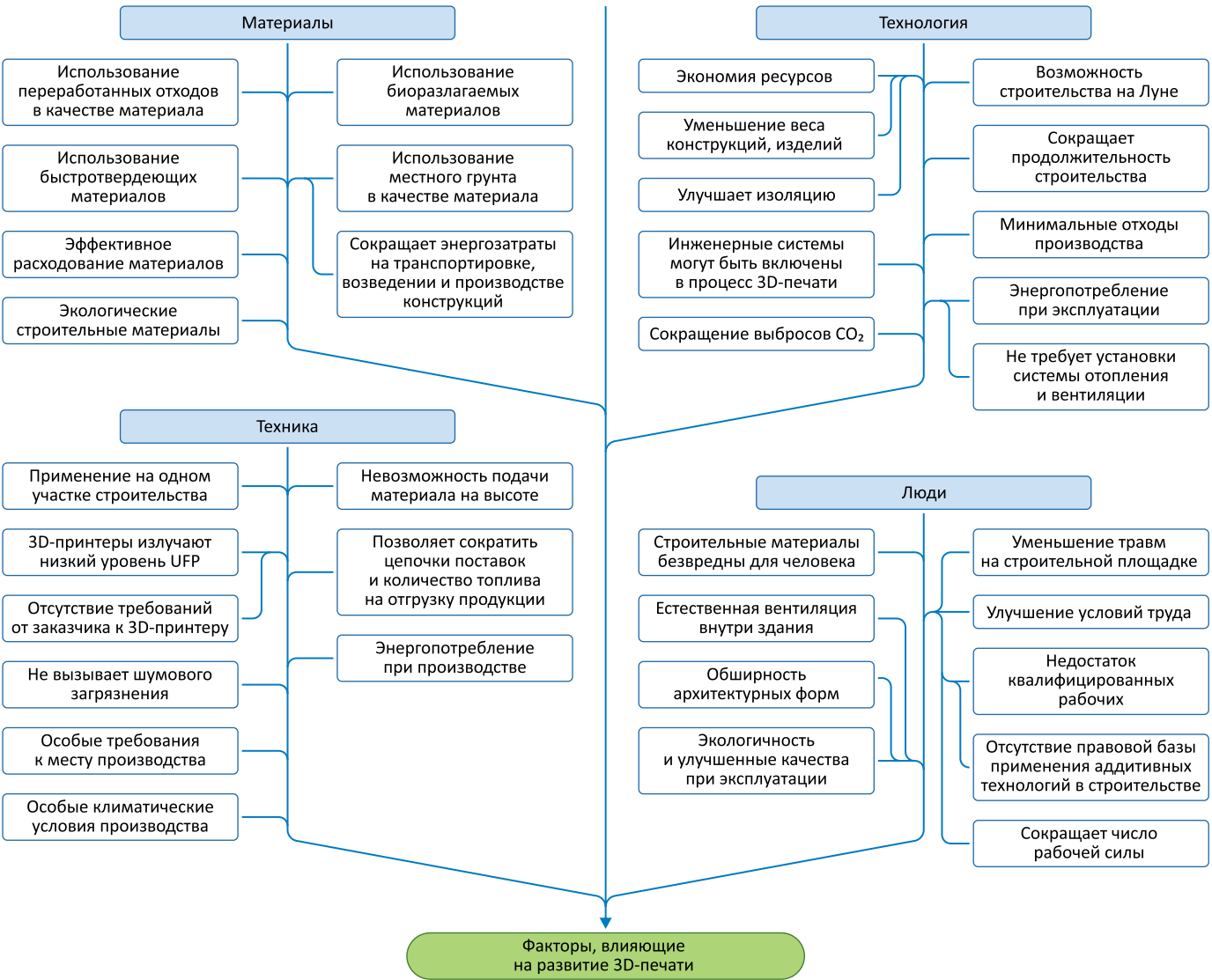


Рис. 1. Факторы, влияющие на развитие 3D-печати в строительстве
Fig. 1. Factors influencing the development of 3D printing in construction

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотова, А. С. Перспективы применения в строительстве аддитивных технологий / А. С. Болотова, М. Д. Бреева, П. Г. Полякова. – DOI 10.54950/2658534020232156 // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 156–160.

2. Коротеев, Д. Д. Аддитивные технологии в строительстве : учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство : [Электронный ресурс] / Д. Д. Коротеев, А. Н. Макаров, А. С. Болотова. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. – URL: <http://lib.mgsu.ru>.

3. Evseev, N. S. Synthesis, Structure, and Phase Composition of High-Entropy Ceramics (HfTiCN)-TiB2 / N. S. Evseev, A. E. Matveev, P. Yu. Nikitin // Inorganic Materials and Nanomaterials. – 2022. – Vol. 67. – Pp. 1319–1323.

4. 3D Printing of Batteries from Lunar and Martian Regolith / A. Maurel, A. C. Martinez Maciel, P. Cortes, B. Yelamanchi, S. B. Chavari, S. T. Sreenivasan, C. Sherrard, E. MacDonald. – DOI 10.1149/MA2023-01562724mtgabs // ECS Meeting Abstracts / Electrochemical/Materials Processing for Space Engineering. – Vol. MA2023-01. – Art. 2724.

5. Youssef, M. Applying 3D Printing Technology in Constructing Sustainable Houses / DOI:10.54729/2789-8547.1190 / M.

Youssef, L. Abbas // Architecture and Planning Journal (APJ). – 2023. – Vol. 29, Iss. 1. – Art. 4.

6. Hunbus, A. A Critical Review of Construction Using 3D Printing Technology / A. Hunbus, B. Al-Mangour DOI:10.1115/1.4062730 // ASME Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities. – 2023. – Vol. 4 (2). – Pp. 1–47.

7. 3D printing of circular materials: Comparative environmental analysis of materials and construction techniques / S. A. Khan, M. Jassim, H. Ilcan, O. Şahin, İ. R. Bayer, M. Sahmaran, M. Koc. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02059> // Case Studies in Construction Materials. – Vol. 18. – Art. e02059.

8. Eco-friendly geopolymer materials: A review of performance improvement, potential application and sustainability assessment / J. Zhao, L. Tong, B. Li, T. Chen, Ch. Wang, G. Yang, Y. Zheng. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127085> // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 307. – Art. 127085.

9. Current challenges and future potential of 3D concrete printing / B. Panda, Y. W. D. Tay, S. C. Paul, M. J. Tan // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. – 2018. – Vol. 49, Iss. 5. – URL: <https://doi.org/10.1002/mawe.201700279>.

REFERENCES

1. Bolotova, A. S. Perspektivy primeneniya v stroitel'stve additivnykh tekhnologij [Prospects for the use of additive technologies in construction] / A. S. Bolotova, M. D. Breeva, P. G. Polyakova. – DOI 10.54950/2658534020232156 // Stroitel'noe proizvodstvo. – 2023. – No. 2. – Pp. 156–160.

2. Koroteev, D. D. Additivnye tekhnologii v stroitel'stve : uchebnoe posobie dlya obuchayushhikhsya po napravleniyu podgotovki 08.03.01 Stroitel'stvo [Additive technologies in construction: a textbook for students in the field of training 08.03.01 Construction] : [Electronic resource] / D. D. Koroteev, A. N. Makarov, A. S. Bolotova. – Moscow : Izdatel'stvo MISI – MGSU, 2023. – URL: <http://lib.mgsu.ru>.

3. Evseev, N. S. Synthesis, Structure, and Phase Composition of High-Entropy Ceramics (HfTiCN)-TiB2 / N. S. Evseev, A. E. Matveev, P. Yu. Nikitin // Inorganic Materials and Nanomaterials. – 2022. – Vol. 67. – Pp. 1319–1323.

4. 3D Printing of Batteries from Lunar and Martian Regolith / A. Maurel, A. C. Martinez Maciel, P. Cortes, B. Yelamanchi, S. B. Chavari, S. T. Sreenivasan, C. Sherrard, E. MacDonald. – DOI 10.1149/MA2023-01562724mtgabs // ECS Meeting Abstracts / Electrochemical/Materials Processing for Space Engineering. – Vol. MA2023-01. – Art. 2724.

5. Youssef, M. Applying 3D Printing Technology in Constructing Sustainable Houses / DOI:10.54729/2789-8547.1190 / M. Youssef, L. Abbas // Architecture and Planning Journal (APJ). – 2023. – Vol. 29, Iss. 1. – Art. 4.

6. Hunbus, A. A Critical Review of Construction Using 3D Printing Technology / A. Hunbus, B. Al-Mangour DOI:10.1115/1.4062730 // ASME Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities. – 2023. – Vol. 4 (2). – Pp. 1–47.

7. 3D printing of circular materials: Comparative environmental analysis of materials and construction techniques / S. A. Khan, M. Jassim, H. Ilcan, O. Şahin, İ. R. Bayer, M. Sahmaran, M. Koc. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02059> // Case Studies in Construction Materials. – Vol. 18. – Art. e02059.

8. Eco-friendly geopolymer materials: A review of performance improvement, potential application and sustainability assessment / J. Zhao, L. Tong, B. Li, T. Chen, Ch. Wang, G. Yang, Y. Zheng. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127085> // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 307. – Art. 127085.

9. Current challenges and future potential of 3D concrete printing / B. Panda, Y. W. D. Tay, S. C. Paul, M. J. Tan // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. – 2018. – Vol. 49, Iss. 5. – URL: <https://doi.org/10.1002/mawe.201700279>.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_30

Анализ нормативной базы в контексте оптимизации строительного контроля высотных зданий

Analysis of Regulatory Framework in the Context of Optimizing High-Rise Building Construction Control

Лapidус Азарий Абрамович

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

Lapidus Azariy Abramovich

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

Янь Цзинцзин

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

Yan Jingjing

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, yanjingjing@mail.ru

Аннотация. Целью данного исследования является изучение контроля строительства высотных зданий в рамках китайско-российского сотрудничества, а также адаптация и интеграция китайских технологий и методов управления в российскую практику.

Метод исследования. На основе сравнительного анализа и выявления характеристик высотных зданий Китая и различий в правилах контроля строительства между Китаем и Россией было получено более глубокое понимание сходств и различий в методах контроля строительства между Китаем и Россией. Качественные аналитические методы также использовались для анализа данных, собранных из различных источников, включая научные публикации, правительственные и отраслевые отчёты, а также соответствующую исследовательскую литературу, чтобы оценить взаимосвязь между различными факторами управления строительством и их влияние на строительство высотных зданий.

Результат. Развитие цифровизации в строительстве в Китае,

Abstract. This study aims to explore the construction control of high-rise buildings in Sing-Russian cooperation and adapt and integrate Chinese technology and control methods into Russian practice.

Research method. Based on the comparative analysis and identification of the characteristics of high-rise buildings in China and the differences in construction control regulations between China and Russia, a deeper understanding of the similarities and differences in construction control methods between China and Russia was obtained. Additionally, qualitative analysis techniques were used to analyze data collected from various sources including academic publications, government and industry reports, and relevant research literature, in order to assess the relationship between various construction management factors and their impact on tall building construction.

Result. The development of digitalization in the Chinese con-

Введение

Из-за быстрого развития экономики России строительная отрасль также переживает новую волну строительства. Высотные здания появляются в России с удивительной скоростью, способствуя развитию городской экономики. В глобальной строительной индустрии строительный контроль высотных зданий стал ключевой темой благодаря обновлению строительных технологий и применению новых материалов.

С развитием науки и технологий, а также углублением международного сотрудничества взаимодействие между Китаем и Россией в области строительства становится всё более тесным. Цель данного исследования – проанализировать опыт Китая в контроле строительства высотных зданий и его применимость для России.

Один из ключевых факторов быстрого развития строительства высотных зданий – ускорение процесса урбанизации и постоянное требование к эффективно-му использованию городского пространства. В условиях ограниченных земельных ресурсов в Китае высотные здания стали основным элементом городской застройки. Это связано с тем, что существующая застройка не в состоянии удовлетворить растущие потребности населения, и городская застройка должна двигаться вверх и расширяться в вертикальном направлении. Вместе с развитием высотных зданий проявились их особенности, включая

особенно применение технологии BIM, является эталоном для России, где эта технология уже функционирует на всех стадиях строительных проектов.

Текущая политика и меры Китая по строгому контролю высоты зданий запрещают строительство высотных зданий выше 500 метров. При строительстве общественных зданий высотой более 100 метров следует проконсультироваться с пожарными и спасательными службами, чтобы обеспечить соблюдение местных пожарно-спасательных возможностей, а также следует учитывать сейсмическую безопасность и другие специальные аспекты безопасности. Для России эти меры служат руководством по достижению баланса между городской модернизацией, безопасностью зданий и устойчивым развитием, особенно при утверждении, проектировании и строительстве новых высотных зданий.

Ключевые слова: высотные здания, строительный контроль, технический надзор, строительный надзор, процесс строительства, Китай.

struction industry, especially the application of BIM technology, is a benchmark in Russia, where this technology is already used in all stages of construction projects.

China's current policies and measures to strictly control building heights prohibit the construction of high-rise buildings above 500 meters. For public buildings over 100 meters in height, fire and rescue authorities should be consulted to ensure compliance with local fire and rescue capabilities, and earthquake safety and other special safety issues should be considered. For Russia, these measures provide guidance on balancing urban modernization, building safety and sustainable development, especially when approving, designing and constructing new high-rise buildings.

Keywords: high-rise buildings, construction control, technical supervision, construction supervision, construction process, China.

увеличение высоты, усложнение структуры, преобладание комбинированных или смешанных конструкций и появление новых типов конструкций. Высотные здания будут оставаться важной частью строительства в Китае в ближайшем будущем, продолжая развиваться в направлении увеличения высоты и объёма, увеличения сложности функциональных требований и создания нестандартных архитектурных форм.

Однако быстрое развитие китайских высотных зданий также вызывает проблемы в области технологии строительства, управления, пожарной безопасности и обеспечения безопасности, что приводит к частым происшествиям и препятствует развитию этой области. Это может служить предупреждением и для России.

Данное исследование анализирует процессы, методы и технологии контроля строительства высотных зданий в Китае, а также различия в законодательстве в этой сфере между двумя странами. Учитывая культурные, экономические и правовые различия между Китаем и Россией, мы полностью оценим применимость китайского опыта к российской практике строительства.

Это исследование также рассмотрит сотрудничество Китая и России в области строительства высотных зданий. Путём сравнительного анализа процессов контроля строительства в обеих странах мы предложим рекомендации и стратегии для укрепления сотрудничества и обмена



Рис. 1. Исторические пагоды Китая, слева направо: пагода Суньюэси, Большая Гусиная пагода, деревянная пагода Фогуанси
Fig. 1. Historical Chinese Pagodas, from left to right: Songyue Temple Pagoda, Giant Wild Goose Pagoda, Foguang Temple Wooden Pagoda

технологиями в области строительства высотных зданий между Китаем и Россией.

Материалы и методы

Для достижения целей в настоящем исследовании представлен детальный анализ законодательной и нормативной базы строительного контроля высотных зданий в Китае и России. Это включает в себя сравнение строительных норм, постановлений правительства и технических условий России и Китая. Благодаря сравнительному анализу мы получаем более глубокое понимание сходств и различий в методах строительного контроля между Китаем и Россией. Кроме того, качественные аналитические методы использовались для анализа данных, собранных из различных источников, включая научные публикации, отчёты государственных и отраслевых организаций, а также соответствующую исследовательскую литературу, чтобы оценить взаимосвязь между различными факторами строительного контроля, их влияние на строительство высотных зданий.

Результаты

В истории архитектуры Китая ранние формы высотных зданий часто связываются с религиозными сооружениями, возведёнными ещё до 6 века нашей эры. Примеры таких зданий включают многоуровневые пагоды, такие как пагода монастыря Суньюэ в провинции Хэнань, построенная в 523 году нашей эры, и Большая Гусиная пагода в Сиане провинции Шэньси, возведённая в 652 году нашей эры [1].

Особое внимание заслуживает деревянная пагода в буддийском храме Фогуан в уезде Инь провинции Шаньси. Это сооружение, являющееся самым высоким и древним деревянным зданием в мире, отличается устойчивой конструкцией, что представляет значительный интерес с точки зрения инженерии и архитектуры. Конструктивные решения, применённые в данной пагоде, могут предоставить ценные уроки для современного строительства сверхвысотных зданий, особенно в контексте поиска стабильных и устойчивых архитектурных форм (рисунок 1).

Исследование исторических методов строительства, используемых в этих ранних высотных сооружениях, обогащает современные понятия архитектурного дизайна и инженерии, подчёркивая важность исторического контекста в развитии строительных технологий. Эти ранние примеры высотных зданий в Китае демонстрируют сложность и мастерство древних строителей, их знания и инновации, которые продолжают вдохновлять современные стратегии проектирования и строительства.

С момента начала реформ и политики открытости в Китае наблюдается стремительное развитие строительства высотных сооружений [2]. В 1978 году объём добавленной стоимости, создаваемой строительной отраслью, составил 13,9 миллиарда юаней, что было эквивалентно 3,8 % ВВП страны. К 2017 году этот показатель достиг уровня 5568,9 миллиарда юаней, демонстрируя увеличение на 5555 миллиардов юаней по сравнению с 1978 годом и отражая среднегодовой рост в размере 16,6 %. Доля добавленной стоимости строительной отрасли в ВВП

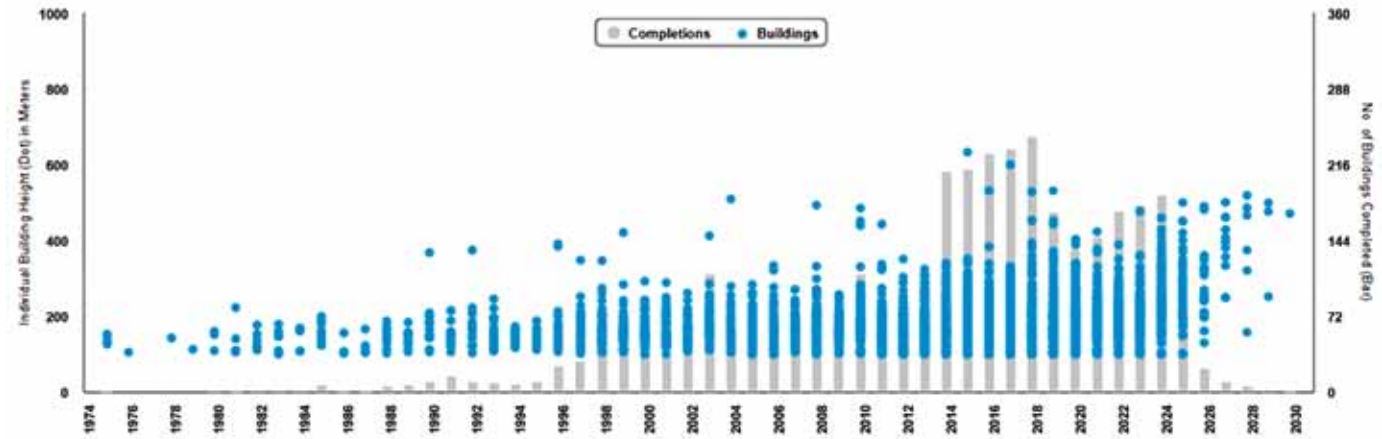


Рис. 2. Временной график завершения строительства высотных зданий в Китае
Fig. 2. The Timeline for Completion of High-rise Building Construction in China

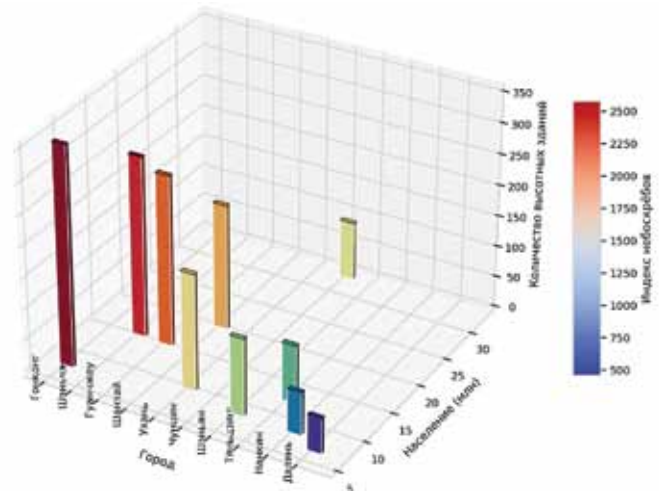


Рис. 3. Графическое представление высотных зданий и плотности населения в городах
Fig. 3. Visualization of High-rise Buildings and Urban Population Density

увеличилась до 6,7 %, что на 2,9 процентных пункта превышает показатель 1978 года [3]. По итогам 2023 года количество зданий в Китае высотой свыше 100 метров достигло 2988 единиц [4] (рисунок 2).

В Китае более 74 городов имеют здания выше 100 метров [5], и на рисунке 3 представлена информация о первых десяти из них, включая население, площадь в квадратных километрах, количество высотных зданий и индекс высотных зданий. Гонконг занимает лидирующую позицию по индексу высотных зданий с результатом в 2576.68, что свидетельствует о высокой плотности небоскрёбов. Шэньчжэнь и Гуанчжоу также отличаются значительным числом высотных сооружений, с индексами 1946.07 и 1703.75 соответственно. Шанхай известен своим стремительно развивающимся городским горизон-

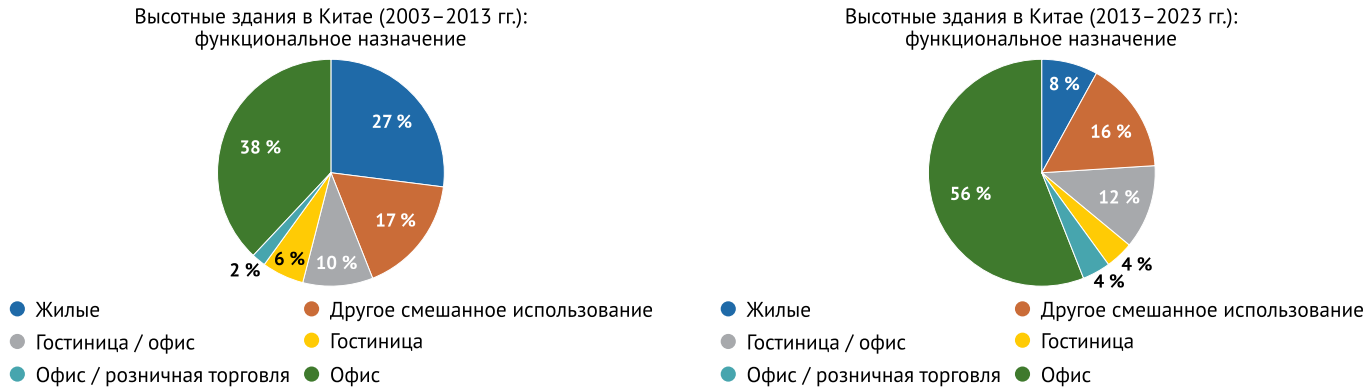


Рис. 4. Тенденции функционального использования высотных зданий в Китае (2003–2013 гг. и 2013–2023 гг.)
Fig. 4. Trends in Functional Utilization of High-rise Buildings in China (2003-2013 and 2013-2023)

№	Виды законов	Россия	Китай
1	Закон	Статья 53 «Строительный контроль» Градостроительного кодекса РФ	Глава 4 «Строительный контроль» Закона о строительстве
2	Административные правила	Постановление Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 468 Постановление Правительства Российской Федерации от 13.10.2022 г. № 1816	Положение об управлении качеством строительных работ Положение об управлении безопасностью производства в строительстве
3	Стандарты и нормы	СП 48.13330-2019	Положение о регулировании регистрации инженера-супервизора Нормы по строительному надзору для строительных проектов

Табл. 1. Сравнительный анализ законодательных актов и нормативов по строительному контролю в России и Китае
Tab. 1. Comparative Analysis of Legislative Acts and Regulations on Construction Control in Russia and China

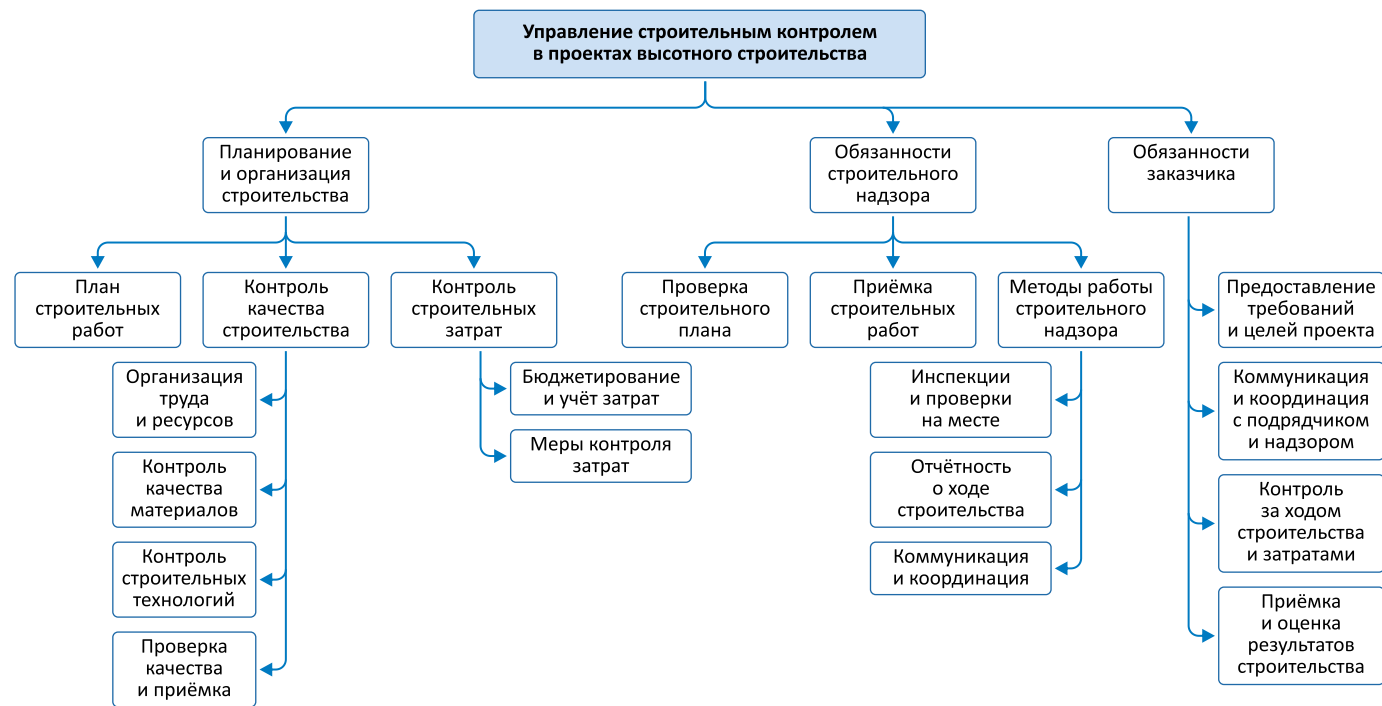


Рис. 5. Схема управления строительным контролем в проектах высотных зданий в Китае
Fig. 5. Diagram of Construction Control Management in High-rise Building Projects in China

и регламенты охватывают различные аспекты строительной деятельности, такие как качество строительства, безопасность труда, выполнение контрактных обязательств и так далее (таблица 1).

Таким образом, хотя в Китае не существует точного юридического термина, эквивалентного российскому «строительному контролю», его функции выполняются через комплекс соответствующих законов и регламентов, обеспечивающих всесторонний контроль за строительными процессами в стране (рисунок 5).

Эта схема (рисунок 5) демонстрирует роли и процессы, которые подрядчики, строительный надзор и заказчики играют в управлении строительным контролем в проектах высотного строительства в Китае. Подрядчики несут ответственность за планирование, организацию и контроль качества и затрат строительства. Строительный надзор обеспечивает проверку и приёмку работ, а также отчётность и координацию процессов [7]. Заказчики формулируют требования и цели проекта, осуществляют координацию работы с подрядчиками и надзором, а также контролируют ход и затраты строительства.



Рис. 6. Проблемы строительного контроля высотных зданий в Китае и ключевые аспекты надзора
Fig. 6. Challenges in construction control of high-rise buildings in China and key aspects of supervision

Анализируя высотные здания в Китае и изучая соответствующую техническую литературу и отраслевую практику, мы определили основные проблемы «строительного надзора» [8]. Наши исследования охватывают весь цикл строительства: от этапа проектирования до реализации объекта и окончательной приёмки, уделяя особое внимание управлению проектом, оценке рисков, обеспечению качества и безопасности [9]. Ниже приведены наши выводы (рисунок 6).

Заключение

За последние двадцать лет в России наблюдается значительный рост высотного строительства: от 10 зданий в 1990-х до 101 небоскрёба к 2019 году [10], с расширением за пределы Москвы и Санкт-Петербурга до региональных центров. Такие здания, как «Лахта-центр», «Башня Федерация. Восток» и «Око», лидируют в рейтинге высотных зданий России к 2023 году [11].

Развитие цифровизации строительства в Китае, особенно использование технологии BIM, является ориентиром для России, и эта технология уже играет роль на всех стадиях строительных проектов. Например, на протяжении всего строительства Шанхайской башни проект BIM обеспечивал ценность во многих аспектах, таких как основная конкурентоспособность, контроль изменений, контроль затрат, моделирование мышления и точные расчёты. Например, в проекте в основном используется AutoCAD для чертежей, программное обеспечение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чжан, Пэнчэн. Исследование конструкции и ее сейсмического поведения в китайских древних деревянных сооружениях / Чжан Пэнчэн // Исследования по философии науки и техники. – 2017. – № 1. – С. 59–60.
2. Ван, Цуйкунь. Развитие и перспективы строительных конструкций в Китае / Ван Цуйкунь, Чэнь Цайхуай, Цуй Минчжэ // Строительная наука. – 2022. – № 7. – С. 14–20.
3. Министерство жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Республики : официальный сайт. – Пекин, 2001. – URL: <https://www.mohurd.gov.cn> (дата обращения: 02.01.2024).
4. Совет по высотным зданиям и городской среде : официальный сайт. – Чикаго, 2003. – URL: <https://www.ctbuh.org> (дата обращения: 02.01.2024).
5. Национальное бюро статистики Китайской Народной Республики : официальный сайт. – Пекин, 2001. – URL: <https://translate.google.com> (дата обращения: 03.01.2024).
6. Ли, Сюэхуа. Краткий анализ проблем и контроля качества в процессе строительного контроля высотных зданий / Ли Сюэхуа // Новые технологии и новые продукты Китая. – 2011. – № 20. – С. 54–59.
7. Вэнь, Бо. Изучение сложностей и ключевых моментов надзора при строительстве сверхвысотных зданий / Вэнь Бо, Не Цюинь, Чжан Хуа // Строительные материалы и отделка. – 2018. – № 44. – С. 163–164.
8. Цзин, Фуцзянь. Опыт контроля качества и надзора за без-

REFERENCES

1. Zhang, Pengchen. Research on the Structure and Seismic Behavior of Ancient Chinese Wooden Structures / Zhang Pengchen // Studies in Philosophy of Science and Technology. – 2017. – No. 1. – Pp. 59–60.
2. Wang, Cuiyun. Development and Prospects of Construction Structures in China / Wang Cuiyun, Chen Caihuai, Cui Minzhe // Construction Science. – 2022. – No. 7. – Pp. 14–20.
3. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China : [Official website]. – Beijing, 2001. – URL: <https://www.mohurd.gov.cn> (accessed: 02.01.2024).

Autodesk Revit в качестве базового метода моделирования, а также Autodesk Navisworks и Autodesk Ecotect для обнаружения столкновений и моделирования CFT для их соединения друг с другом, тем самым достигается высокая эффективность чертежей и сокращается объём доработок, экономятся материалы. Этот опыт может помочь России улучшить управление строительными проектами и цифровое развитие отрасли [12].

Опыт Китая в области контроля за строительством высотных зданий, особенно с точки зрения управления рисками, управления погодными условиями и динамического контроля безопасности может послужить вспомогательным материалом для развития высотного строительства в России [13].

Текущая политика и меры Китая по строгому контролю высоты зданий запрещают строительство высотных зданий выше 500 м. При строительстве общественных зданий высотой более 100 м следует запрашивать мнение пожарных и спасательных агентств, чтобы обеспечить гарантии, что они соответствуют местным возможностям пожаротушения и спасения [14], а также учитывать сейсмическую безопасность и другие специальные аспекты безопасности. Для России эти меры становятся рекомендациями, как достичь баланса между городской модернизацией, безопасностью зданий и устойчивым развитием, особенно при утверждении, проектировании и строительстве новых высотных зданий [15].

опасностью строительства навесных стен в сверхвысотных зданиях / Цзин Фуцзянь, Фэй Чанда // Строительный надзор. – 2019. – № 5. – С. 68–70.
9. Липидус, А. А. Риск-ориентированный строительный контроль технического заказчика / А. А. Липидус, А. Н. Макаров, Р. В. Волков // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 2–5.
10. Генералова, Е. М. Анализ существующей нормативной базы для строительства высотных зданий в России / Е. М. Генералова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. – 2015. – С. 52–55.
11. Ерыков, А. А. Ретроспектива развития и современные тенденции строительства высотных зданий в России / А. А. Ерыков // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2017. – № 3. – С. 414–415.
12. Липидус, А. А. Анализ международного опыта внедрения BIM-технологий строительного контроля высотного строительства / А. А. Липидус, Янь Цзинцзин // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 46–51.
13. Бородачёва, Э. Н. Проблемы и перспективы строительства высотных зданий в России / Э. Н. Бородачёва // Современное строительство и архитектура. – 2019. – № 3 (15). – С. 12–14.
14. Ли, Шуанлань. Исследование рисков процесса строительства сверхвысотных зданий / Ли Шуанлань, Ли Шуаньянь, Лу Синьюэ // Современное управление недвижимостью. – 2022. – № 3. – С. 34–37.

4. Council on Tall Buildings and Urban Habitat : [Official website]. – Chicago, 2003. – URL: <https://www.ctbuh.org> (accessed: 02.01.2024).
5. National Bureau of Statistics of the People's Republic of China : [Official website]. – Beijing, 2001. – URL: <https://translate.google.com> (accessed: 03.01.2024).
6. Li, Xuehua. Brief Analysis of Problems and Quality Control in the Process of Construction Control of High-Rise Buildings / Li Xuehua // New Technologies and New Products of China. – 2011. – No. 20. – Pp. 54–59.
7. Wen, Bo. Study of Complexities and Key Points in Supervision

during the Construction of Super High-Rise Buildings / Wen Bo, Nie Qiuzhen, Zhang Hua // Construction Materials and Decoration. – 2018. – No. 44. – Pp. 163–164.

8. Jin, Fujian. Experience in Quality Control and Safety Supervision of Construction of Suspended Walls in Super High-Rise Buildings / Jin Fujian, Fei Chanda // Construction Supervision. – 2019. – No. 5. – Pp. 68–70.

9. Lapidus, A. A. Risk-orientirovannyj stroitel'nyj kontrol' tekhnicheskogo zakazchika [Risk-Oriented Construction Control by the Technical Client] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov, R. V. Volkov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 2–5.

10. Generalova, E. M. Analiz sushhestvuyushhej normativnoj bazy dlya stroitel'stva vysotnykh zdaniy v Rossii [Analysis of the Existing Regulatory Framework for the Construction of High-Rise Buildings in Russia] / E. M. Generalova // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture [Traditions and Innovations in Construction and Architecture]. – 2015. – Pp. 52–55.

11. Erykov, A. A. Retrospektiva razvitiya i sovremennye tendentsii stroitel'stva vysotnykh zdaniy v Rossii [Retrospective De-

velopment and Modern Trends in High-Rise Building Construction in Russia] / A. A. Erykov // Nauka, obrazovanie i ehksperimental'noe proektirovanie [Science, Education, and Experimental Design]. – 2017. – No. 3. – Pp. 414–415.

12. Lapidus, A. A. Analiz mezhdunarodnogo opyta vnedreniya BIM-tekhnologij stroitel'nogo kontrolya vysotnogo stroitel'stva [Analysis of International Experience in Implementing BIM Technologies of Construction Control of High-Rise Construction] / A. A. Lapidus, Yan Jingjing // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 46–51.

13. Borodacheva, E. N. Problemy i perspektivy stroitel'stva vysotnykh zdaniy v Rossii [Problems and Prospects of High-Rise Building Construction in Russia] / E. N. Borodacheva // Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura [Modern Construction and Architecture]. – 2019. – No. 3 (15). – Pp. 12–14.

14. Li, Shuanlan. Research on Risks in the Construction Process of Super High-Rise Buildings / Li Shuanlan, Li Shuanyan, Lu Xinyue // Modern Real Estate Management, – 2022. – No. 3. – Pp. 34–37.

УДК 69.009.1

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_36

Разработка структуры требований к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства на основе показателей качества

Development of a Requirements Structure for Building Information Models of Capital Construction Assets Based on Quality Indicators

Фомин Никита Игоревич

Кандидат технических наук, доцент, директор Института строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (ИСА УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира, 17, ni.fomin@urfu.ru

Fomin Nikita Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Construction and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (ICA UrFU), Russia, 620002, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 17, ni.fomin@urfu.ru

Серёгина Наталья Юрьевна

Начальник ГАУ Свердловской области «Управление государственной экспертизы», Россия, 620004, Екатеринбург, улица Малышева, 101, n.seregina@egov66.ru

Seregina Natalia Yurievna

Head of the State Autonomous Institution of the Sverdlovsk region "Department of State Expertise", Russia, 620004, Yekaterinburg, ulitsa Malysheva, 101, n.seregina@egov66.ru

Сербин Сергей Андреевич

Главный специалист ГАУ Свердловской области «Управление государственной экспертизы», Россия, 620004, Екатеринбург, улица Малышева, 101, s.serbin@egov66.ru

Serbin Sergey Andreevich

Main specialist of the State Autonomous Institution of the Sverdlovsk region "Department of State Expertise", Russia, 620004, Yekaterinburg, ulitsa Malysheva, 101, s.serbin@egov66.ru

Аннотация. Целью исследования, представленного в статье, стало формирование структуры требований к цифровой информационной модели на стадии проектной документации, при выполнении которых становится возможным произвести её проверку в формате экспертизы графической части проектной документации. В статье рассмотрено понятие качества цифровой информационной модели объектов капитального строительства на стадии проектирования. На основании анализа массива типовых ошибок, допускаемых при формировании трёхмерных моделей, а также проведённого экспертного исследования, было сформировано пять показателей качества. Определена древовидная структура качества модели, по которой выполнено ранжирование параметров с учётом их влияния

на показатели качества. Введено понятие востребованности параметров для распределения их по значимости в процессе экспертизы цифровой информационной модели. Представлены результаты анализа параметров показателей на основании введённого понятия востребованности и полученного ранжирования параметров.

В результате проведённого анализа параметров показателей на основании введённого понятия востребованности и полученного ранжирования параметров разработана структура требований для формирования цифровых информационных моделей объектов капитального строительства. Следование сформированной структуре при проектировании позволит повысить качество цифровых информационных моделей и обе-

спечит возможность их проверки при экспертизе проектной документации.

Ключевые слова: цифровая информационная модель здания, трёхмерная модель, экспертиза проектной документации,

Abstract. The purpose of the research presented in the article was to form a structure of requirements for a building information model at the stage of design documentation, upon implementation of which it becomes possible to verify it in the format of examination of the graphic part of the design documentation. The article discusses the concept of quality of a building information model of capital construction assets at the design stage. Based on an analysis of an array of typical errors made when creating building information models, as well as an expert study, five quality indicators were formed. A tree structure of the model quality has been determined, according to which the parameters have been ranked taking into account their influence on quality indicators. The concept of demand for parameters has been introduced to distribute them by importance in the process of examining a digital information model. The results of the analysis of indica-

Введение

В настоящее время технологии информационного моделирования активно применяются на всех этапах жизненного цикла строительных объектов. Их внедрение в государственный сектор в России происходит сверху вниз. В своё время такой подход был принят в Великобритании, где правительство инициировало процесс внедрения информационного моделирования (Building information modeling) ещё в 2010 году; а последующий выпуск требований к информационным моделям – в 2011 году для всех проектов, которые были расширены на все объекты, финансируемые за счёт государства, к 2016 году [1; 2; 3]. В наши дни Великобритания признана мировым лидером в области стандартов и руководств технологий информационного моделирования. В 2007 году Британский институт стандартов совместно с отраслевыми организациями и исследователями приступил к разработке стандартов технологий информационного моделирования, а также необходимых рекомендаций по внедрению таких технологий [4].

В России внедрению информационного моделирования также способствуют законодательные инициативы, в частности [5; 6; 7; 8 и 9]. Разработка и поддержание жизнеспособности информационной модели на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства должно обеспечиваться заказчиком [5] в случаях, установленных [6]. На данный момент это необходимо при проектировании строительных объектов, финансируемых из государственного бюджета, а с 2024 года это будет обязательно и для долевого строительства в соответствии с требованиями [7].

Основные проблемы явного установления требований к трёхмерным моделям в части проектной документации обусловлены отсутствием адаптации [8] к применению трёхмерных моделей [10]. Несмотря на препятствия и сложности, связанные с внедрением технологий информационного моделирования [11], большинство частных инициатив нашей страны направлено на развитие технологий информационного моделирования в строительной отрасли и расширение возможностей применения на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства [12; 13].

Информационная модель объекта капитального строительства (далее – информационная модель) – со-

качество информационной модели, показатели качества, признаки информационной модели, параметры информационной модели, атрибуты, структура требований, формат IFC.

tor parameters are presented based on the introduced concept of demand and the resulting ranking of parameters.

As a result of the analysis of the parameters of the indicators, based on the introduced concept of demand and the resulting ranking of parameters, a structure of requirements was developed for the creation of building information models of capital construction assets. Following the established structure during design stage will improve the quality of building information models and provide the opportunity to verify them during the examination of design documentation.

Keywords: digital information model, three-dimensional model, state examination, quality of a digital information model, quality indicators, features of a three-dimensional model, parameters of a digital information model, attributes, structure of requirements for building information models, IFC format.

вокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства [5].

Цифровая информационная модель (трёхмерная модель) – электронный документ в составе информационной модели объекта капитального строительства (ИМ ОКС), представленный в цифровом объектно-пространственном виде [9].

Требования к структуре и содержанию информационной модели в [14] (утратил силу в соответствии с [15]) обязывали при разработке дополнять такую модель трёхмерной моделью по требованию заказчика. В проекте постановления [16], находящемся в настоящий момент на публичном обсуждении, которое должно стать следующей редакцией, эти требования распространяются на все объекты, упомянутые в [6]. Так как государственные и муниципальные заказчики ориентируются на региональный документ в соответствии с [17], то в обозримом будущем все объекты капитального строительства на стадии проектирования будут дополняться цифровой информационной моделью и в таком составе проходить государственную экспертизу проектной документации.

Внедрение технологий информационного моделирования в процесс реализации инвестиционно-строительного проекта обусловлено не только законодательной необходимостью, но и значимыми положительными аспектами, которые выражаются в сокращении сроков реализации инвестиционно-строительного проекта [18], а также повышении качества проектной документации (исключение избыточности информации, повторного ввода и потери данных, ошибок при передаче и преобразовании информации [19]). Для экспертных организаций наличие цифровой информационной модели проектной документации тоже имеет большое значение, связанное с удобством получения информации, комплексной обработкой данных, автоматизированными проверками [20].

Несмотря на вышеперечисленные движущие факторы, внедрение и применение технологий информационного моделирования остаются не реализованными в большей части инвестиционно-строительных проектов

на стадии проектной документации и, как следствие, не применимыми для экспертных организаций. Это связано, в частности, с появившейся необходимостью перехода на отечественные программные комплексы, что потребовало от большей части организаций провести подбор необходимых программ, перестроение внутренних процессов, подготовку компетенций [21].

Однако основной проблемой применения технологий информационного моделирования при проведении экспертизы является отсутствие единого подхода к понятию качества цифровой информационной модели, в то время как большинство застройщиков, ориентируясь на эффективность собственных процессов [22], выстроили внедрение таким образом, что первостепенная задача состоит в получении правильных спецификаций и ведомостей объёмов работ. Такой подход, во-первых, рассматривает понятие качества как отсутствие геометрических противоречий в цифровой информационной модели [23; 24], во-вторых, опирается на внутреннюю классификацию элементов, описанную в стандартах организации. Это приводит к сложностям получения информации из цифровых информационных моделей различных заказчиков, а отсутствие аналога [8], применёмого для цифровых информационных моделей, не даёт возможность эксперту получить гарантию соответствия трёхмерной модели стадии проектной документации, т. е. отсутствия излишней детализации, присущей стадии рабочей документации, для точности получения объёмов [10].

Вышеперечисленные разночтения в понимании качества цифровой информационной модели сформировали необходимость в описании понятия *качества цифровой информационной модели на стадии проектной документации*, которое бы давало возможность оценить перспективы рассмотрения трёхмерной модели при проведении экспертизы в качестве графической части раздела рассматриваемой проектной документации.

Авторы организовали экспертное исследование мнений 24 экспертов ГАУ СО «Управление государственной экспертизы», имеющих широкий диапазон экспертных областей (объёмно-планировочные, конструктивные и инженерно-технические решения, сметы, информационное моделирование). В исследовании приняли участие как руководители отделов государственной экспертизы, так и рядовые эксперты. По результатам исследования мнений выявлено, что в полноценную работу с трёхмерными моделями объектов, которые проходят экспертизу, по сути, вовлечён только отдел информационного моделирования, который проверяет модель на выполнение требований, указанных заказчиком. При этом сотрудники других отделов проводят экспертизу проектных решений только на основании графической части проектной документации, выполненной без использования трёхмерной модели. При этом во многих случаях выполнение экспертизы затруднено вследствие того, что цифровая информационная модель, которая представляется на экспертизу, имеет неудовлетворительное качество.

Авторы проанализировали ряд действующих нормативных документов в части технологий информационного моделирования [5; 6; 7; 8 и 9], включая действующий свод правил [9]. В результате анализа было установлено, что понятие качества цифровой информационной модели нормативно не определено, что, в свою очередь, не по-

зволяет обеспечить организацию оценки качества модели стадии проектной документации на основе содержания нормативного определения и его критериев. В связи с этим назрела необходимость формулирования понятия качества цифровой информационной модели здания, а также её основных показателей для возможности подготовки и представления модели на экспертизу проектной документации и успешного её прохождения.

В результате исследования массива типовых ошибок, которые допускаются проектировщиками при разработке цифровых информационных моделей, были определены те из них, которые не позволяют в полной мере выполнить экспертизу модели. Перечислим их.

1) Несоответствие проработанности трёхмерной модели решениям для стадии «проектная документация». Основные причины: избыточная детализация модели (например, детализированные инженерные сети, армирование), недостаток требуемой детализации (отсутствие мебели, состава стен, пола, кровли, количественных значений проектных параметров).

2) Наличие геометрических противоречий элементов трёхмерных моделей как внутри цифровой информационной модели одного раздела проектной документации, так и при объединении трёхмерных моделей нескольких разделов в сводную модель. Причины: технологические противоречия внутри одного раздела (например, помещение пересекается со штукатурной отделкой), противоречия между элементами моделей смежных разделов (например, стены в архитектурной модели не соответствуют стенам конструктивной модели).

3) Точность модели не соответствует параметрам проектируемого объекта. Причины: толщины полов показаны условно, кровля не проработана послойно, мебель и стены смещены относительно проектного положения.

4) Трёхмерная модель не соответствует требованиям [8] и [16]. Причины: модель выгружена в формат NWD или RVT, которые являются проприетарными форматами проектов программных комплексов Autodesk Navisworks и Revit соответственно и не могут быть открыты в других программных комплексах; требования заказчика к модели не выполняются (например, регионального ТИМ-Стандарта [17]).

5) Цифровая информационная модель не читаема. Причины: перенасыщенность атрибутивной информации без указания однозначно верной, отсутствие единообразия при именовании элементов, материалов, уровней, недоработка информационной составляющей, приводящая к невозможности идентифицировать элемент, отсутствие количественных показателей и размеров в атрибутивной проработке.

Основываясь на полученных результатах, авторы сформулировали следующую цель исследования: определить перечень основных требований к цифровой информационной модели на стадии проектной документации, позволяющий при их удовлетворении выполнить экспертизу информационной модели в качестве графической части проектной документации.

Для достижения вышеизложенной цели были решены следующие задачи:

1) Сформулировано определение качества цифровой информационной модели на стадии проектной документации, содержание которого позволяет вы-

полнить экспертизу информационной модели в качестве графической части проектной документации.

2) По результатам анализа и ранжирования массива ошибок, допускаемых при формировании цифровых информационных моделей, определены основные показатели её качества, позволяющие определить применимость модели при проведении экспертизы в качестве графической части, а также параметры, от которых они зависят.

3) Предложена структура требований к цифровой информационной модели объекта капитального строительства, при выполнении которых будет обеспечен надлежащий уровень качества цифровой информационной модели при проведении экспертизы проектной документации.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач на основе сложившегося нормативного понятия качества из ГОСТ [25] предлагается следующее авторское определение цифровой информационной модели на стадии проектной документации.

Качество цифровой информационной модели на стадии проектной документации – это совокупность показателей трёхмерной модели, обуславливающих её применимость в качестве графической части при проведении экспертизы проектной документации объектов капитального строительства.

Для оценки качества модели было сформулировано пять показателей качества на основании структурирования массива типовых ошибок, допускаемых при формировании модели, проанализированных в ходе экспертного исследования: целостность, соответствие стадии проектирования, идентичность, правомерность, читаемость.

Целостность цифровой информационной модели – показатель трёхмерной модели, демонстрирующий отсутствие значимых геометрических противоречий между элементами модели внутри каждого раздела проектной документации, а также между элементами смежных разделов проектной документации. Значимость геометрических противоречий обусловлена влиянием их устранения на изменение проектной документации. Это бинарный показатель, имеющий возможные значения: 1 и 0. Значение 1 соответствует ситуации, когда устранение геометрических противоречий не требует внесения корректировок в проектную документацию, значение 0 – когда устранение геометрических противоречий приведёт к изменению проектных решений.

Соответствие цифровой информационной модели стадии проектирования – показатель трёхмерной модели, демонстрирующий соответствие состава трёхмерной модели составу графической части проектной документации на стадии проектирования в соответствии с требованиями [7]. Это бинарный показатель, имеющий возможные значения: 1 и 0. Значение 1 соответствует ситуации, когда уровень детализации модели соответствует проектной документации, значение 0 – когда модель недостаточно или избыточно наполнена информацией в сравнении с графической частью проектной документации.

Идентичность цифровой информационной модели – показатель трёхмерной модели, демонстрирующий достаточный уровень сходства реальных элементов и их

цифровых копий для идентификации объекта, его положения в пространстве, прямого назначения и габаритов в объекте капитального строительства. Это бинарный показатель, имеющий возможные значения: 1 и 0. Значение 1 соответствует ситуации, когда все элементы цифровой информационной модели, являющиеся частью проектных решений, позволяют получить требуемую информацию о себе и однозначно идентифицировать его, значение 0 – когда хотя бы один элемент модели несёт в себе информацию, заведомо не соответствующую реальному объекту или не позволяющую его однозначно идентифицировать.

Правомерность цифровой информационной модели – показатель трёхмерной модели, демонстрирующий выполнение требований к составу трёхмерной модели, изложенных в [14; 16]. Выполнение данного показателя регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации, а это означает, что данный показатель является наиболее строгим для выполнения, а также весомым, так как является основанием для отказа от рассмотрения трёхмерной модели в целом, и его выполнение должно быть обеспечено в полной мере. Данный показатель также является бинарным, имеющим возможные значения: 1 и 0. Значение 1 соответствует ситуации, когда модель выполнена в соответствии с требованиями [14; 16], значение 0 – когда модель имеет хотя бы одно несоответствие требованиям действующей нормативной документации в части формирования трёхмерных моделей.

Читаемость цифровой информационной модели – показатель трёхмерной модели, демонстрирующий возможность получения всей необходимой информации для проведения экспертизы из цифровой информационной модели без дополнительных трудозатрат по поиску и расчёту необходимых данных. Это числовой показатель, имеющий два возможных значения: 1 и 0. Значение 1 соответствует ситуации, когда информация, влияющая на проектные решения, может быть получена из цифровой информационной модели и интерпретирована однозначно, значение 0 – когда информация о проектных решениях не может быть интерпретирована однозначно или необходимы дополнительные расчёты или поиск для получения данных.

Уровень качества цифровой информационной модели, необходимый и достаточный для выполнения её экспертизы, при оценке модели как графической части проектной документации, обусловлен достижением всеми показателями качества значения 1. Нулевое значение любого из показателей качества приводит к ситуации, когда для трёхмерной модели невозможно выполнить экспертизу проектной документации. Таким образом, можно считать все выделенные показатели её качества условно равноценными.

Результаты

Для каждого из показателей был определён перечень признаков трёхмерной модели, от которых зависит значение каждого показателя. Далее были выделены параметры цифровой информационной модели, которые, в свою очередь, влияют на каждый из выделенных признаков.

Древовидная структура качества цифровой информационной модели и вышеизложенных взаимосвязей представлена на рисунке 1.

Для демонстрации связей и взаимного влияния показателей качества, признаков и параметров трёхмерной

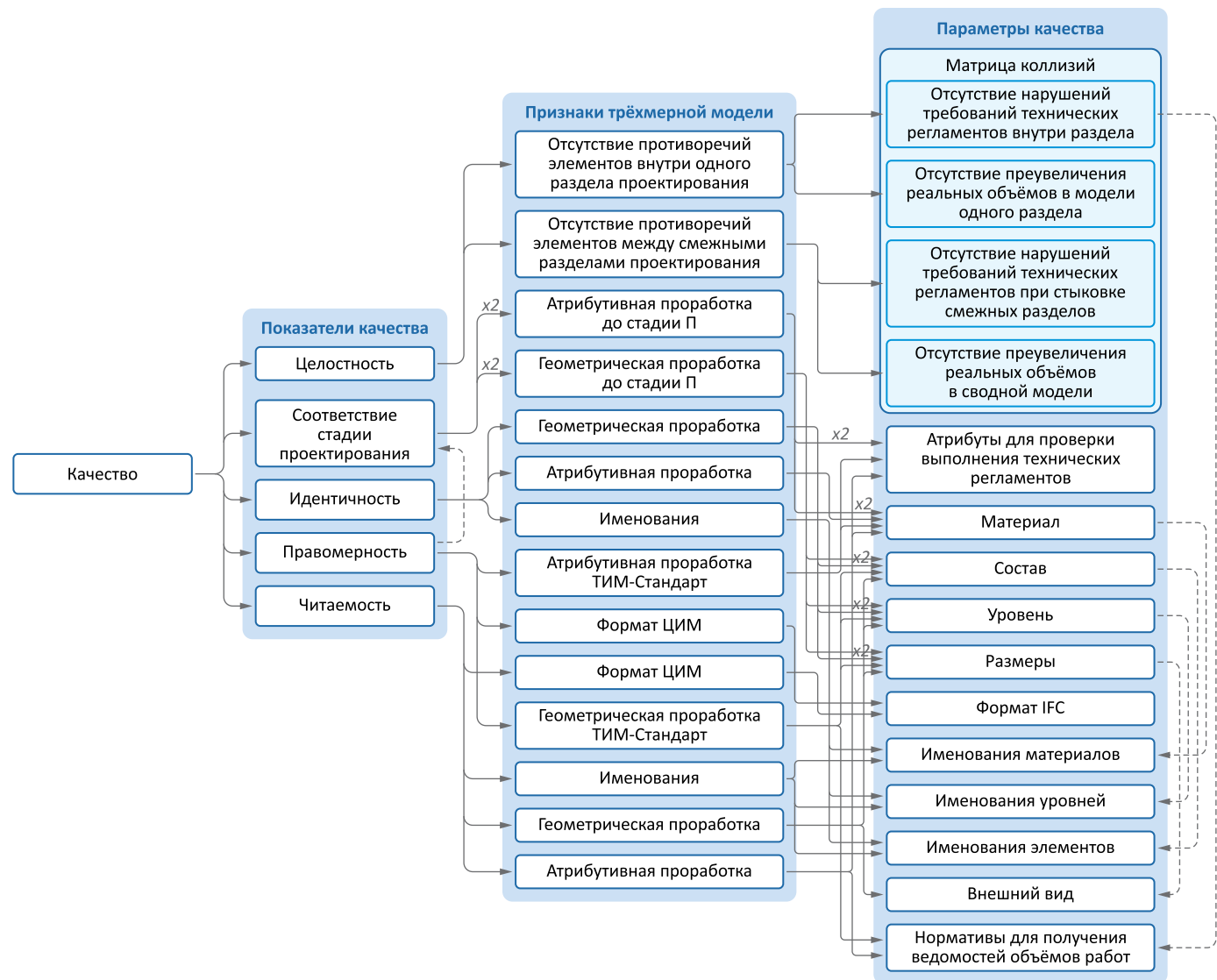


Рис. 1. Древовидная структура качества цифровой информационной модели
Fig. 1. The tree-like structure of the building information model quality

Параметры качества	Количество показателей качества, на которые влияет параметр	Востребованность V, %
Параметры 1 категории востребованности		
Материал	5	100
Состав	5	100
Уровень	5	100
Размеры	5	100
Матрица пересечений	4	80
Параметры 2 категории востребованности		
Именование материалов	3	60
Именование уровней	3	60
Именование элементов	3	60
Наполнение атрибутов	3	60
Сметные показатели	3	60
Параметры 3 категории востребованности		
Внешний вид	2	40
Формат IFC	2	40

Табл. 1. Востребованность параметров цифровой информационной модели
Tab. 1. Relevance of building information model parameters

модели были введены следующие условные обозначения: сплошная линия со стрелкой показывает взаимосвязь показателя качества с признаком модели или взаимосвязь признака с соответствующим параметром; пунктирная линия со стрелкой показывает взаимосвязь элементов одного уровня. Начало линии – это зависящая позиция от позиции, к которой ведёт стрелка. Подпись «x2» означает, что в связи с тем, что правомерность также обеспечивается выполнением [8], то зависит от соответствия трёхмерной модели стадии проектирования, значит, каждая стрелка от показателя «Соответствие стадии проектирования» несёт в себе две взаимосвязи.

Перечень параметров трёхмерной модели, представленный на рисунке 1, был проработан в соответствии с его востребованностью при оценке уровня качества.

Востребованность параметра – показатель значимости параметра, демонстрирующий уровень его влияния на показатели качества цифровой информационной модели на стадии проектной документации. Востребованность определялась по отношению к показателям качества. Все параметры были приняты равноценными, и расчёт производился по формуле 1, так как нулевое значение любого из параметров является препятствием к применению трёхмерной модели при проведении экспертизы.

$$V = \frac{N_p}{5} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где V – востребованность параметра по отношению к показателям качества, выражается в процентах;
 N_p – количество признаков трёхмерной модели, зависящих от параметра, определено по рисунку 1;
5 – количество показателей качества, участвующих в древовидной структуре, число, равное количеству показателей качества, принято из-за их условно равного веса;
100 % – перевод показателя в процентный вид.

Для ранжирования параметров была введена следующая система распределения параметров по значению востребованности:

- параметры первой категории востребованности, $80 \% \leq V \leq 100 \%$;
- параметры второй категории востребованности, $60 \% \leq V < 80 \%$;
- параметры третьей категории востребованности, $40 \% \leq V < 60 \%$;
- невостребованные параметры (могут быть заменены более востребованными аналогами), $V < 40 \%$.

Обсуждение

Для обеспечения требуемого уровня качества цифровой информационной модели на этапе архитектурно-строительного проектирования необходимо задать его минимальным значением.

Основным критерием минимального уровня качества является применимость цифровой информационной модели при проведении экспертизы, а значит, качество может быть только бинарным:

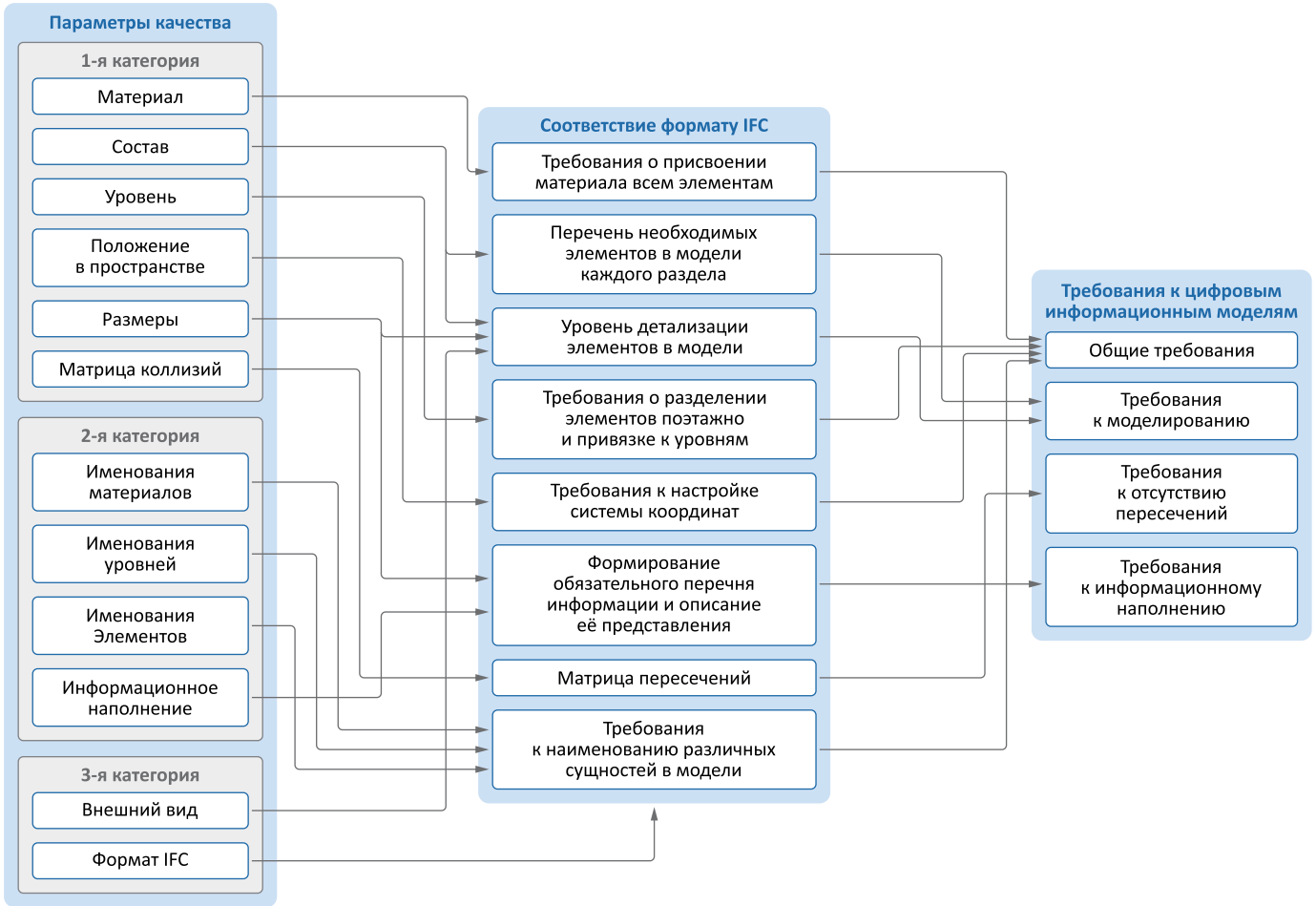


Рис. 2. Структурная модель требований к цифровым информационным моделям на основании параметров
Fig. 2. Structural model of requirements for building information models based on parameters

- надлежащий уровень (трёхмерную модель можно рассматривать в качестве графической части проектной документации), когда все показатели качества имеют ненулевое значение;
- ненадлежащий уровень (трёхмерная модель не применима при проведении экспертизы проектной документации), когда хотя бы один показатель имеет нулевое значение.

Таким образом, минимально необходимый уровень качества (надлежащий) – уровень качества, при котором значения всех показателей имеют ненулевое значение, что обеспечивает наличие всех параметров качества, представленных в древовидной структуре на рисунке 1.

Для обеспечения соответствия параметров цифровой информационной модели надлежащему уровню качества необходимо сформировать перечень требований и условия их выполнения. В результате были выявлены взаимосвязи между параметрами трёхмерной модели, обуславливающими составляющие её качества (см. рисунок 1), и требованиями, которые обеспечивают надлежащий уровень качества. Структурная модель требований к цифровым информационным моделям представлена на рисунке 2.

Связи между элементами, представленными на рисунке 2, следует читать следующим образом: стрелка, направленная из параметра качества цифровой информационной модели, ориентирована на конкретное требование, которое регламентирует выполнение параметра. Таким образом, был сформирован второй столбец схемы.

Следует отметить, что все требования, за исключением «Требования к наименованию различных сущностей в модели», образованы параметрами первой категории востребованности, что исключает возможность их невыполнения при формировании общего документа. Однако «Требования к наименованию различных сущностей в модели» образованы параметрами «именования материалов», «именования уровней», «именования элементов», которые, в свою очередь, косвенным образом влияют на параметры первой категории «материал», «уровень», «состав», что можно заметить на рисунке 1. Параметры «Внешний вид» и «формат IFC» не создают дополнительных требований. Это приводит к тому, что все полученные требования необходимы и должны быть учтены при формировании регламентирующего документа.

На следующем этапе формализации полученный перечень требований был структурирован в четырёх разделах. Ниже представлено описание каждого раздела.

Общие требования объединяют основные рекомендации к выполнению моделирования, такие как присвоение материала элементам, поэтажное разделение модели и описание системы координат. В общем случае данный раздел существенно не зависит от раздела проектирования, к которому будет применён, однако может иметь дополнительные уточнения с точки зрения типа объектов капитального строительства. Данный раздел также включает в себя требования к именованию сущностей, которые описывают метод формирования имени каждой из них, чья идентификация необходима для проведения экспертизы. Эта часть раздела является «связующим звеном» между экспертом и сущностью цифровой информационной модели, которая должна обеспечить беспрепятственное получение информации экспертом, идентификацию любой сущности трёхмерной модели: материал, уровень, наименование элемента.

Требования к *моделированию* описывают перечень необходимых элементов в каждом разделе проектирования, их геометрическую проработку и детализацию, в частности передают информацию о том, в каком разделе содержится тот или иной элемент. Например, отделка должна содержаться в разделе архитектурных и объёмно-планировочных решений. Данный раздел должен основываться на анализе чертежей выбранного раздела проектной документации и указывать на перечень необходимых элементов и конструкций. Также важна легитимность дан-

ного раздела, а значит, необходимо выделить класс IFC применительно к каждой категории элементов, необходимой для моделирования в разделе.

Требования к *отсутствию пересечений* описывают для элементов каждого раздела перечень значимых пересечений, наличие которых делает модель не применимой для проведения экспертизы. Данный блок должен основываться на основных задачах при проведении экспертизы, т. е. должны отсутствовать пересечения, которые могут воспрепятствовать достоверному получению информации из трёхмерной модели.

Требования к *информационному наполнению* описывают способ передачи информации в цифровой информационной модели, а также обеспечивают её достаточность для проведения экспертизы каждого раздела проектной документации. Данный раздел посвящён методу передачи необходимой информации в трёхмерную модель и способам её получения. Так как основой получения информации из трёхмерной модели является атрибут, то данный раздел описывает необходимые атрибуты и их формат данных.

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что определения качества информационной модели до настоящего времени не сложилось. В связи с этим для возможности подготовки и представления модели на экспертизу проектной документации было предложено авторское определение качества цифровой информационной модели здания. В результате экспертного анализа и ранжирования массива ошибок, допускаемых при формировании цифровых информационных моделей, определены основные показатели её качества, а также их признаки и параметры. Установлено, что совокупность показателей, признаков и параметров качества модели образует его древовидную структуру.

Анализ востребованности параметров качества позволил сформировать структурную модель требований к информационным моделям объектов капитального строительства, выполнение которых необходимо для применения трёхмерной модели при проведении экспертизы проектной документации. Полученную структуру можно применить для описания алгоритма формирования требований к цифровым информационным моделям любого раздела проектной документации.

ральный Закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года : [текст ред. от 01.05.2022, с изм. и доп. вступ. в силу с 01.02.2024]. – КонсультантПлюс : [справ.-правовая система]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/.

6. Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства: Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 : [с изменениями и дополнениями от 20 декабря 2022 г.]. – Гарант : [система информ.-правового обеспечения]. – URL: <https://base.garant.ru/400424628/>.

7. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 : утв. по-

становлением Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2022 года № 2357 / Правительство России. Документы. – URL: <http://government.ru/docs/all/144974/>.

8. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 (ред. от 15.09.2023 г.) / Правительство России. Документы. – URL: <http://government.ru/docs/all/63014/>.

9. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : СП 333.1325800.2020 : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 928/пр : введены в действие с 1 июля 2021 г. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Росстандарт, 2020.

10. Сербин, С. А. Анализ текущей нормативной документации по отношению к технологиям информационного моделирования / С. А. Сербин, Н. Ю. Серегина, Н. И. Фомин // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2022. – № 6 (61). – С. 18–21.

11. Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity / S. Siebelink, H. Voordijk, M. Endedijk, A. Adriaanse // Frontiers of Engineering Management. – 2021. – Vol. 8. – Pp. 236–257.

12. Научно-техническому и социально-экономическому развитию Дальнего Востока России – инновации молодых : Тезисы докладов 80-й Межвузовской студенческой научно-практической конференции, Хабаровск, 21–25 марта 2022 года. – В 2-х томах. – Отв. редакторы А. З. Ткаченко, А. А. Холодилов. – Хабаровск : дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2022. – 324 с.

13. Вальтер, Ф. Управление проектами разработки объектов медицинского назначения на основе методов информационного моделирования (Building Information Modelling – BIM) / Ф. Вальтер, А. В. Желтенков // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. – 2015. – № 4. – С. 60–71.

14. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства : Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1431 / Правительство России. Документы. – URL: <http://government.ru/docs/all/129915/>.

15. О порядке формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства после 1 марта 2023 года : Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 апреля 2023 г. № 10629-ОГ/14. – КонсультантПлюс : [справ.-правовая система]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_446690/.

16. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции

объектов капитального строительства : Постановление от 15 сентября 2020 г. № 1431 / Правительство России. Документы. – URL: <http://government.ru/docs/all/129915/>.

17. Об утверждении Требований к подготовке проектной документации, содержащей материалы в форме информационной модели площадных объектов, финансирование строительства которых осуществляется с привлечением средств областного бюджета : Приказ Министерства строительства и развития инфраструктуры Свердловской области от 17.02.2023 № 121-17. – Официальный интернет-портал правовой информации Свердловской области. – URL: <http://www.pravo.gov66.ru/37941/>.

18. Волощук, Я. А. Влияние технологий информационного моделирования на сроки реализации инвестиционно-строительного проекта / Я. А. Волощук // Серия «Строительство» : сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. – 2022. – Том 2, вып. 5. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – С. 112–118.

19. Машковцев, И. Б. BIM-технологии в современном строительстве / И. Б. Машковцев // Системные технологии. – 2022. – № 2 (43). – С. 48–56.

20. Ланкина, Ю. А. Оценка эффективности внедрения BIM модели в процесс экспертизы проектной документации / Ю. А. Ланкина // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора Соломатова Василия Ильича, Саранск, 12–14 декабря 2016 года ; Ответственный редактор: Т. А. Низина. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2016. – С. 71–74.

21. Зотова, К. А. Проблемы внедрения технологий информационного моделирования в России / К. А. Зотова, Ю. А. Ланкина, Н. С. Мельникова // Огарёв-Online : [электронный ресурс]. – 2023. – № 7 (192). – URL: <https://journal.mrsu.ru/arts/problemy-vnedreniya-texnologij-informacionnogo-modelirovaniya-v-rossii>.

22. Лушников, А. С. Обеспечение качества, стоимости и сроков реализации инвестиционно-строительных проектов на основе внедрения информационного моделирования : дисс. ... канд. экон. наук : специализация 08.00.05 / Лушников Александр Сергеевич ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 2019. – 157 с.

23. Кушицкий, А. В. Контроль качества BIM-модели проекта / А. В. Кушицкий // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении : IV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием : сборник докладов, Тула, 18–20 апреля 2023 года. – Тула : Тульский государственный университет, 2023. – С. 402–405.

24. Иванов, А. Ю. BIM-модели: борьба с коллизиями при проектировании инженерных систем / А. Ю. Иванов, В. А. Ливанов // АВОВ: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2023. – № 5. – С. 52–64.

25. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 15467-79 : Межгосударственный стандарт : утв. и введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.01.79 № 244 : дата введения 1979-07-01 / Гос. комитет СССР по стандартам. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001719>.

REFERENCES

- Kassem, M. A proposed approach to comparing the BIM maturity of countries / M. Kassem, B. Succar, N. Dawood // 30th International Conference on the Applications of IT in the AEC Industry. – Beijing, China, 2013. – P. 13–24.
- Construction M. H. The business value of BIM for infrastructure: Addressing America's infrastructure challenges with collaboration and technology / Smart Market Report. – McGraw-Hill Construction, 2012. – 62 p.
- Construction M. H. The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling / Smart Market Report. – McGraw-Hill Construction, 2014. – 62 p.
- National BIM Report / NBS : [website]. – URL: <https://www.thenbs.com/knowledge/introducing-the-nbs-national-bim-report-2017>.
- Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii [The Urban Planning Code of the Russian Federation] : Federal'nyj Zakon ot 29.12.2004 № 190-FZ [Federal Law No. 190-FZ of 12/29/2004] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2004 goda [adopted by the State Duma on December 22, 2004] : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda [approved by the Federation Council on December 24, 2004] : [text as amended on 05/01/2022, with amendments and additions, effective from 02/01/2024]. – ConsultantPlus : [legal reference system]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/.
- Ob ustanovlenii sluchaya, pri kotorom zastrojshhikom, tekhnicheskim zakazchikom, litsom, obespechivayushhim ili osushhestvlyayushhim podgotovku obosnovaniya investitsij, i (ili) litsom, otvetstvennym za ehkspluatatsiyu ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva, obespechivayutsya formirovanie i vedenie informatsionnoj modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva: Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 05.03.2021 № 331 [On the establishment of a case in which the developer, the technical customer, the person providing or preparing the investment justification, and (or) the person responsible for the operation of the capital construction facility, ensures the formation and maintenance of an information model of the capital construction facility: Resolution of the Government of the Russian Federation dated 03/05/2021 No. 331] : s izmeneniyami i dopolneniyami ot 20 dekabrya 2022 g. [as amended and supplemented on December 20, 2022]. – Garant : [information and legal support system]. – URL: <https://base.garant.ru/400424628/>.
- O vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 5 marta 2021 g. № 331 [On Amendments to Resolution of the Government of the Russian Federation No. 331 of March 5, 2021] : utv. postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 20 dekabrya 2022 goda № 2357 [approved by Resolution of the Government of the Russian Federation No. 2357 of December 20, 2022] / Pravitel'stvo Rossii. Dokumenty [Government of the Russian Federation. Documents]. – URL: <http://government.ru/docs/all/144974/>.
- O sostave razdelov proektnoj dokumentatsii i trebovaniyakh k ikh soderzhaniyu [On the composition of sections of project documentation and requirements for their content] : Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 16.02.2008 № 87 (red. ot 15.09.2023 g.) [Decree of the Government of the Russian Federation dated 02/16/2008 No. 87 (edition dated 09/15/2023)] / Pravitel'stvo Rossii. Dokumenty [The Government of the Russian Federation. Documents]. – URL: <http://government.ru/docs/all/63014/>.
- Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoj modeli ob'ektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla : SP 333.1325800.2020 [Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle : SP 333.1325800.2020] : utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozayajstva Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2020 g. № 928/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 31, 2020 No. 928/pr] : vvedyon v dejstvie s 1 iyulya 2021 g. [effective July 1, 2021] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. – Moscow : Rosstandart, 2020.
- Serbin, S. A. Analiz tekushchej normativnoj dokumentatsii po otnosheniyu k tekhnologiyam informatsionnogo modelirovaniya [Analysis of current regulatory documentation in relation to information modeling technologies] / S. A. Serbin, N. Y. Seregina, N. I. Fomin // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij [Natural and man-made risks. Safety of structures]. – 2022. – No. 6 (61). – Pp. 18–21.
- Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity / S. Siebelink, H. Voordijk, M. Endedijk, A. Adriaanse // Frontiers of Engineering Management. – 2021. – Vol. 8. – Pp. 236–257.
- Nauchno-tekhnicheskomu i sotsial'no-ehkonomicheskomu razvitiyu Dal'nego Vostoka Rossii – innovatsii molodykh [Scientific, technical and socio-economic development of the Russian Far East - innovations of the young] : Tezisy dokladov 80-j Mezhhvuzovskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Khabarovsk, 21–25 marta 2022 goda [Abstracts of reports of the 80th Interuniversity Student Scientific and Practical Conference, Khabarovsk, March 21–25, 2022, Khabarovsk]. – In 2 volumes. – Editors A. Z. Tkachenko, A. A. Kholodilov. Khabarovsk : Far Eastern State University of Railway Engineering, 2022. – 324 p.
- Walter, F. Upravleniye proyektami razrabotki ob'yektov meditsinskogo naznacheniya na osnove metodov informatsionnogo modelirovaniya (Building Information Modelling - BIM) [Management of projects for the development of medical objects based on information modeling methods (Building Information Modeling - BIM)] / F. Walter, A.V. Zheltenkov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ehkonomika [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Economics. Moscow]. – 2015. – No. 4. – Pp. 60–71.
- Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i vedeniya informatsionnoj modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva, sostava svedenij, dokumentov i materialov, vkluychaemykh v informatsionnyuyu model' ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva i predstavlyaemykh v forme ehlektronnykh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannykh ehlektronnykh dokumentov, a takzhe o vnesenii izmeneniya v punkt 6 Polozheniya o vypolnenii inzhenernykh izyskanij dlya podgotovki proektnoj dokumentatsii, stroitel'stva, rekonstruktsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [On approval of the Rules for the formation and maintenance of an information model of an object of capital construction, the composition of information, documents and materials included in the information model of an object of capital construction and presented in the form of electronic documents, and requirements for the formats of these electronic documents, as well as on amendments to paragraph 6 of the Regulations on the Performance of engineering surveys for the preparation of design documentation, construction, reconstruction of capital construction facilities] : Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 15.09.2020 № 1431 [Resolution of the Government of the Russian Federation dated 09/15/2020 No. 1431] / Pravitel'stvo Rossii. Dokumenty [Government of the Russian Federation. Documents]. – URL: <http://government.ru/docs/all/129915/>.
- O poryadke formirovaniya i vedeniya informatsionnoj modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva posle 1 marta 2023 goda [On the procedure for forming and maintaining an information model of a capital construction facility after March 1, 2023] : Pis'mo Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozayajstva Rossijskoj Federatsii ot 17 aprelya 2023 g. № 10629-OG/14 [Letter from the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated April 17, 2023 No. 10629-OG/14]. – ConsultantPlus : [legal reference system]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_446690/.
- Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i vedeniya informatsionnoj modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva, sostava svedenij, dokumentov i materialov, vkluychaemykh v informatsionnyuyu model' ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva i predstavlyaemykh v forme ehlektronnykh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannykh ehlektronnykh dokumentov, a takzhe o vnesenii izmeneniya v punkt 6 Polozheniya o vypolnenii inzhenernykh izyskanij dlya podgotovki proektnoj dokumentatsii, stroitel'stva, rekonstruktsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [On approval of the Rules for the formation and maintenance of an information model of an object of capital construction, the composition of information, documents and materials included in the information model of an object of capital construction and submitted in the form of electronic documents, and requirements for the formats of these electronic documents, as well as on amendments to paragraph 6 of the Regulations on the performance of engineering surveys for the preparation of project documentation, construction, reconstruction of capital construction facilities] : Postanovlenie ot 15 sentyabrya 2020 g. № 1431 [Resolution No. 1431 dated September 15, 2020] / Pravitel'stvo Rossii. Dokumenty [Government of Russia. Documents]. – URL: <http://government.ru/docs/all/129915/>.
- Ob utverzhdenii Trebovanij k podgotovke proektnoj dokumentatsii, soderzhashhej materialy v forme informatsionnoj modeli ploshhadnykh ob'ektov, finansirovanie stroitel'stva kotorykh osushhestvlyatsya s privilecheniem sredstv oblastnogo byudzheta [On approval of Requirements for the preparation of project documentation containing materials in the form of an information model of areal facilities, the financing of which is carried out with the involvement of funds from the regional budget] : Prikaz Ministerstva stroitel'stva i razvitiya infrastruktury Sverdlovskoj oblasti ot 17.02.2023 № 121-17 [Order of the Ministry of Construction and Infrastructure Development of the Sverdlovsk Region dated 02/17/2023 No. 121-17]. – Ofitsial'nyj internet-portal pravovoj informatsii Sverdlovskoj oblasti [The official Internet portal of legal information of the Sverdlovsk region]. – URL: <http://www.pravo.gov66.ru/37941/>.
- Voloshchuk, Ya. A. Vliyanie tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya na sroki realizatsii investitsionno-stroitel'nogo proekta [The influence of information modeling technologies on the timing of the implementation of an investment and construction project] / Ya. A. Voloshchuk // Seriya «Stroitel'stvo» : sbornik statej magistrantov i aspirantov. V 2-kh tomakh [The Construction series : a collection of articles by undergraduates and graduate students. In 2 volumes]. – 2022. – Volume 2, Issue 5. – St. Petersburg : St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. – Pp. 112–118.
- Mashkovtsev, I. B. BIM-tekhnologii v sovremennom stroitel'stve [BIM technologies in modern construction] / I. B. Mashkovtsev // Sistemnye tekhnologii [System technologies]. – 2022. –

No. 2 (43). – Pp. 48–56.

- Lankina, Yu. A. Otsenka ehffektivnosti vnedreniya BIM modeli v protsess ehkspertizy proyektnoy dokumentatsii [Assessment of the effectiveness of introducing BIM models in the process of examination of design documentation] / Yu. A. Lankina // Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij : Materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashhennoj pamyati zaslužennogo deyatelya nauki Rossijskoj Federatsii, akademika RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk, professora Solomatova Vasiliya Il'icha, Saransk, 12–14 dekabrya 2016 goda [Durability of building materials, products and structures : Materials of the All-Russian scientific and technical conference dedicated to the memory of the Honored Scientist of the Russian Federation, academician RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor Vasily Ilyich Solomatov, Saransk, December 12–14, 2016] ; Executive editor: T. A. Nizina. – Saransk : National Research Mordovian State University named after. N.P. Ogareva, 2016. – Pp. 71–74.
- Zotova, K. A. Problemy vnedreniya tekhnologiy informatsionnogo modelirovaniya v Rossii [Problems of introducing information modeling technologies in Russia] / K. A. Zotova, Yu. A. Lankina, N. S. Melnikova // Ogarev-Online : [Electronic resource]. – 2023. – No. 7 (192). – URL: <https://journal.mrsu.ru/arts/problemy-vnedreniya-texnologij-informacionnogo-modelirovaniya-v-rossii>.
- Lushnikov, A. S. Obespecheniye kachestva, stoimosti i srokov realizatsii investitsionno-stroitel'nykh proyektov na osnove vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya [Ensuring the quality, cost and timing of implementation of investment and construction projects based on the introduction of information modeling] : diss. ... kand. ehkon. nauk : spetsial'nost' 08.00.05 [dissertation for the degree of candidate of economic sciences : specialty 08.00.05] / Lushnikov Alexander Sergeevich ; St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. – 157 p.
- Kushitskiy, A. V. Kontrol' kachestva BIM-modeli proyekta [Quality control of the BIM project model] / A.V. Kushitskiy // Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt obespecheniya kachestva v mashinostroenii : IV Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem : sbornik dokladov, Tula, 18–20 aprelya 2023 goda [Domestic and foreign experience in quality assurance in mechanical engineering : IV All-Russian scientific and technical conference with international participation : collection of reports, Tula, April 18–20 2023]. – Tula : Tula State University, 2023. – Pp. 402–405.
- Ivanov, A. Yu. BIM-modeli: bor'ba s kolliziyami pri proyektirovanii inzhenernykh sistem [BIM models: combating collisions in the design of engineering systems] / A. Yu. Ivanov, V. A. Livanov // AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [ABOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermophysics]. – 2023. – No. 5. – Pp. 52–64.
- Upravlenie kachestvom produktsii. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya : GOST 15467-79 [Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions : GOST 15467-79] : Mezhhgosudarstvennyj standart : utv. i vved. v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 26.01.79 № 244 : data vvedeniya 1979-07-01 [Interstate Standard : approved and put into effect by Resolution of the USSR State Committee on Standards dated 01/26/79 No. 244 : date of introduction 1979-07-01] / Gos. komitet SSSR po standartam [USSR State Committee on Standards]. – Electronic fund of legal and regulatory documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001719>.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_46

Определение прочности элементов опорных домкратов рамных лесов при сжатии

Determination of the Strength of the Elements of the Support Jacks of Frame Scaffolding During Compression

Бунт Андрей Михайлович

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, Bynt177@yandex.ru

Bunt Andrey Mikhailovich

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, Bynt177@yandex.ru

Аннотация. Цель. Существенную роль в обеспечении несущей способности опалубочных систем играет надёжность конструктивных элементов системы в целом, при этом прочностные характеристики составляющих элементов систем рамных лесов являются не изученными. В связи с этим определение прочности элементов опорных домкратов рамных лесов при сжатии является актуальной задачей.

Материалы и методы. В проводимом эксперименте производится нагружение элементов опорных домкратов рамных лесов из разных толщин шовных сварных труб. С элементами проводятся циклические испытания, заключающиеся в макси-

Abstract. Object. A significant role in ensuring the bearing capacity of formwork systems is played by the reliability of the structural elements of the system as a whole, while the strength characteristics of the constituent elements of frame scaffolding systems are not studied. In this regard, determining the strength of the elements of the support jacks of frame scaffolding during compression is an urgent task.

Material and methods. In the experiment, the elements of the support jacks of the frame scaffolding are loaded from different thicknesses of seam welded pipes. Cyclic tests are carried out with

Введение

Начиная с середины 90-х годов на территории Российской Федерации большое распространение получило монолитное строительство, так как оно широко применяется при возведении зданий различного назначения (промышленно-гражданское и инфраструктурное строительство) [1]. Параллельно с распространением монолитного строительства развивались и совершенствовались опалубочные системы, надёжность и эффективность которых, в свою очередь, определяют качество, сроки и безопасность монолитных работ. Существенную роль в обеспечении несущей способности опалубочных систем играет надёжность конструктивных элементов.

Необходимо отметить, что прочность элементов является в определённой степени не исследованной. Особенно актуальными исследованиями являются вопросы определения прочности элементов для горизонтальных опалубочных систем, так как на них приходится максимальные нагрузки при возведении конструкций, и в случае возникновения критических нагрузок последствия таких ситуаций носят максимально негативный характер: разрушение бетонизируемых конструкций и используемых опалубочных систем, травмы персонала [2; 3]. Прочность составляющих элементов системы является важным фактором снижения технического риска как возможного отклонения от запланированного результата, причинами

маленьком нагружении и определении несущей способности при сжатии.

Результаты. В итоге эксперимента определена несущая способность домкратов рамных опалубок в зависимости от толщины стенки применяемого сортамента. Даны рекомендации по выбору сортамента для производства опорных домкратов рамных лесов.

Ключевые слова: опалубка перекрытий, нагрузки на опалубку, рамные леса, рамная опалубка, давление бетонной смеси, испытания строительного оборудования, надёжность.

the elements, which consist in maximum loading and determining the bearing capacity during compression.

Results. As a result of the experiment, the bearing capacity of frame formwork jacks was determined depending on the wall thickness of the assortment used. Recommendations are given on the selection of a range for the production of frame scaffolding support jacks.

Keywords: floor formwork, formwork loads, frame scaffolding, frame formwork, concrete mix pressure, testing of construction equipment, reliability.

возникновения которого является непредсказуемое и (или) неконтролируемое функционирование технических систем [4; 5].

Одним из вариантов опалубок для горизонтальных конструкций является использование рамных лесов (объёмные стойки или башни), которые обеспечивают наиболее эффективные показатели с точки зрения качества и сроков строительства в сравнении со стержневыми системами (стойки, клиновые леса или кап-локи) опалубок перекрытий из-за того, что несущие элементы этих систем объединяют между собой две или несколько стоек [6]. Также к основным технологическим преимуществам рамных лесов можно отнести: возможность бетонирования конструкций высотой до 50–70 м в зависимости от типа применяемой опалубки; различные наборы элементов в системах обеспечивают возможность возведения различных конструкций сложного сечения с возможностью одновременного бетонирования как несущих плит перекрытий, так и смежных элементов – вутов, балок, капителей; простота сборки, хранения и транспортировки; высокий запас несущей способности в рамных лесах, гарантирующий прочность конструкции и снижающий риск её обрушения при неправильной эксплуатации.

Рамная опалубка состоит из элементов (рамок) с диапазонами высот от 300 до 1800 мм (в зависимости от производителя), включающих горизонтальные, верти-

кальные элементы, диагональные связи, регулировочные домкраты, оголовки (универсилки) и опорные пятки. Рамные опалубки чаще применяются для конструкций с толщинами плит перекрытий от 600 мм и с высотами от 5–6 м и более и для нагрузок до 10 тс/м² (паспортные данные производителей). Производители опалубочных систем используют разные конструктивные особенности элементов, которые могут отличаться сечением, толщиной применяемых профилей (чаще всего опалубку для горизонтальных конструкций изготавливают из сортамента с толщинами: 2,5, 3 или 3,5 мм).

Основными системами, которые используются в качестве башен (рамных лесов) с изменяемой несущей способностью, являются: Peri PD 8, Harsco ID 15, Сталформ, Ста-

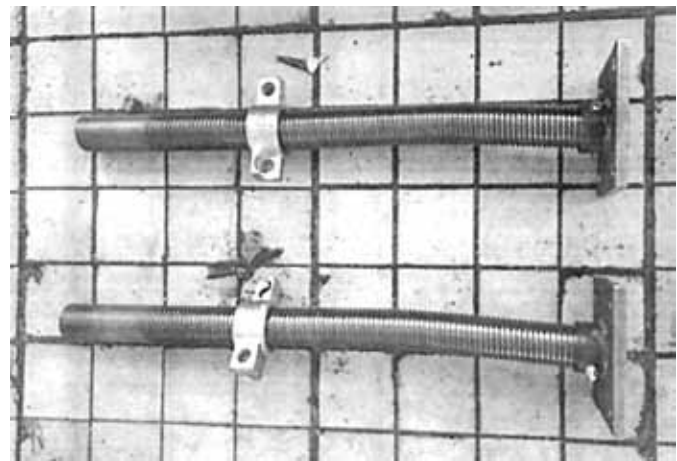


Рис. 3. Образцы после испытаний
Fig. 3. Samples after testing

тико, Башни PSK-TOP, Doka Staxo, Doka D2, ГАММА ST [7–11]. Исходя из технического задания и в зависимости от построечных условий, делается оптимальная схема расстановки опалубки рамных лесов, которая обеспечивает возможность бетонирования любой конфигурации горизонтальной конструкции в плане и любой высоты при заданной несущей способности. Более точная регулировка высоты палубы достигается при помощи универсальных винтовых домкратов, которые используются в верхней и нижней частях элементов [12].

Основные нагрузки на рамные элементы опалубки перекрытий возникают при укладке бетона, вибрировании и распалубливании готовых конструкций (например, удары по элементам монтажными молотками или иными приспособлениями). К основным дефектам, которые возникают на несущих элементах, можно отнести: появление прогиба, возникновение местного смятия, разрушение основного металла. Необходимо отметить, что вероятность появления дефектов – это сложноформализуемый параметр, который зависит от многих факторов [13].

В данных эксплуатационных условиях несущий элемент – находящееся в статическом или динамическом равновесии твёрдое тело, воспринимающее воздействие и реакции связей с другими телами [14]. На устранение дефектов тратятся дополнительные материальные и временные ресурсы, что, в свою очередь, не позволяет рационально использовать комплект опалубки и обеспечить непрерывность работ [15].

В эксплуатационных условиях критически важным является несущий элемент рамных лесов – опорный домкрат, на который приходится максимальные нагрузки при проведении бетонирования. Производители рамных лесов наиболее часто используют в качестве материала бесшовные трубы с диаметром 48 мм и толщиной стенки 3–3,5 мм. При этом стоимость бесшовных труб в два раза выше, чем шовных. Таким образом, представляется актуальным проведение исследований, направленных на определение прочностных характеристик домкратов рамных элементов опалубки перекрытий из бесшовных труб различных толщин и сопоставление получившихся результатов по несущей способности с паспортными данными на систему в целом.

Материалы и методы

Объектом исследования выбраны два типа образцов: 1 тип – опорный шпindel с толщиной стенки 3,0 мм – 2 шт.; 2 тип – опорный шпindel с толщиной стенки

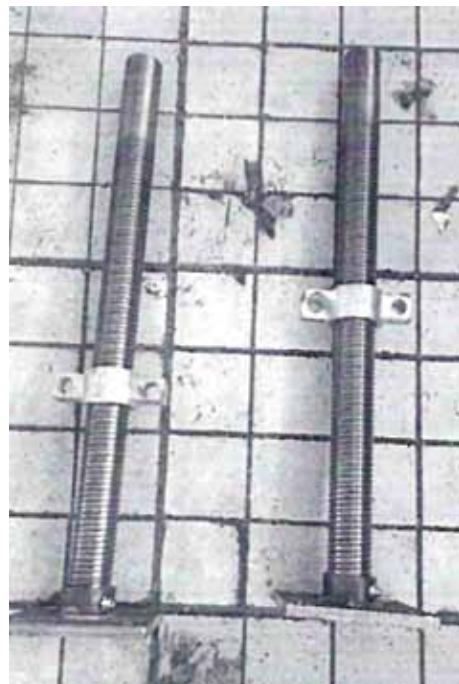


Рис. 1. Образцы перед испытанием
Fig. 1. Samples before testing

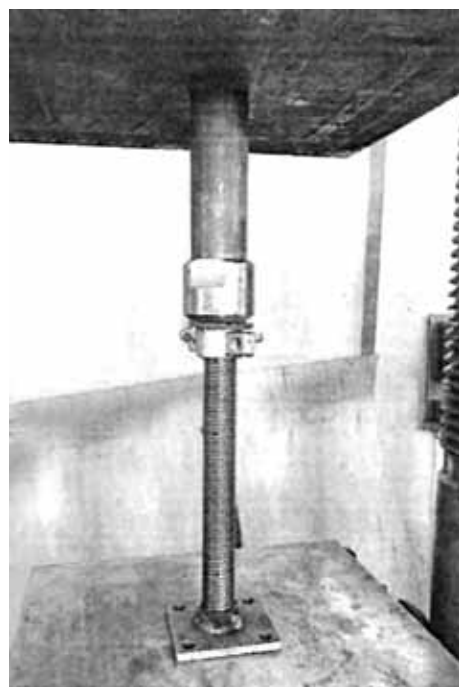


Рис. 2. Образец в испытательной машине
Fig. 2. The sample is in the testing machine

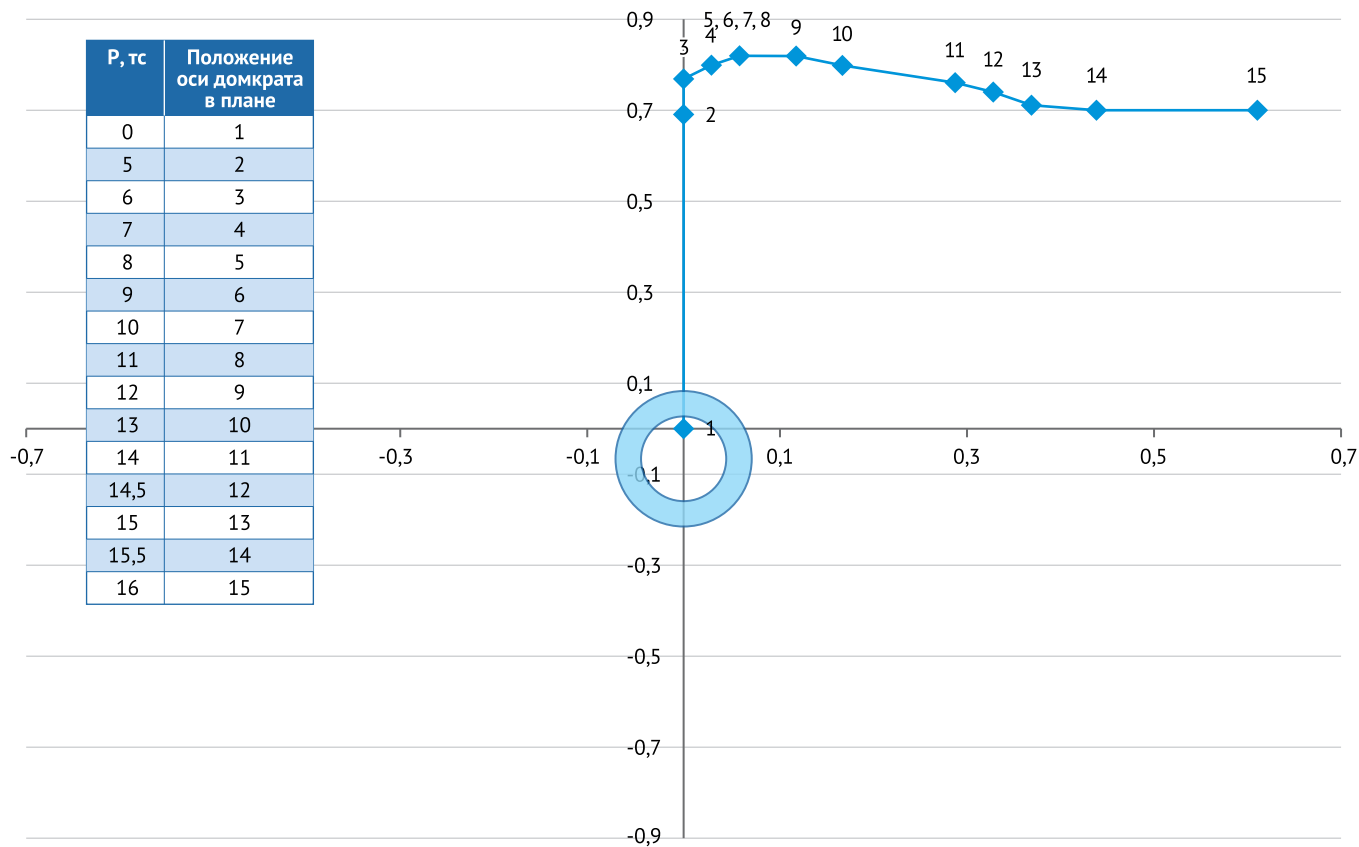


Рис. 4. Перемещение среднего сечения 1 образца (размерности по осям – мм)
Fig. 4. Moving the middle section of 1 sample (dimensions along the axes – mm)

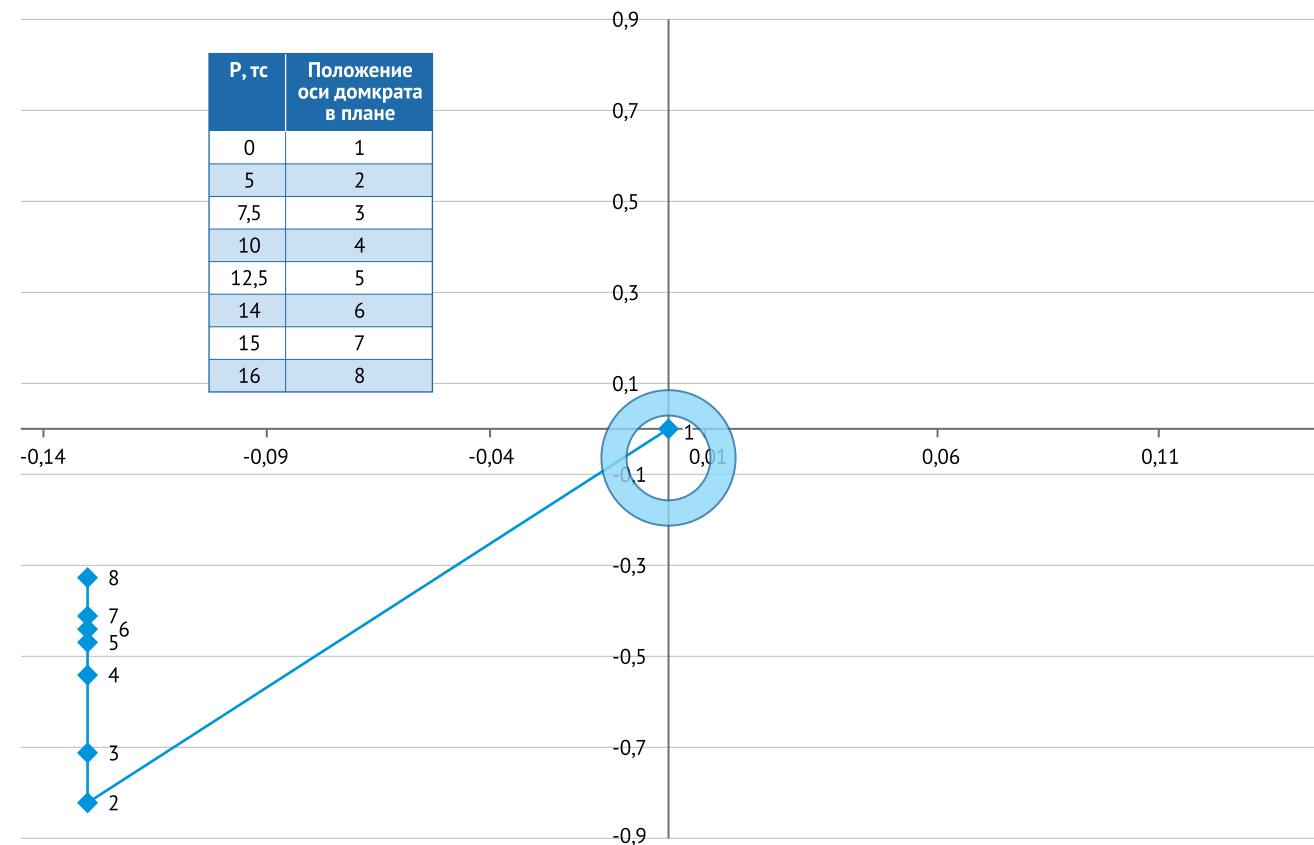


Рис. 5. Перемещение среднего сечения 2 образца (размерности по осям – мм)
Fig. 5. Displacement of the middle section of 2 samples (dimensions along the axes – mm)

3,5 мм (все образцы оснащены гайкой и подпятником 150 × 150 мм, толщиной 8 мм).

Было принято решение провести испытания в горизонтальном положении без учёта возникновения возможных эксцентриситетов (что, в свою очередь, на 100 %

моделировало бы нагрузки, возникающие на строительных объектах). Это не внесло существенных изменений в работу конструкции стенда, но значительно упростило осуществление граничных экспериментов: опирание домкратов и приложение нагрузок.

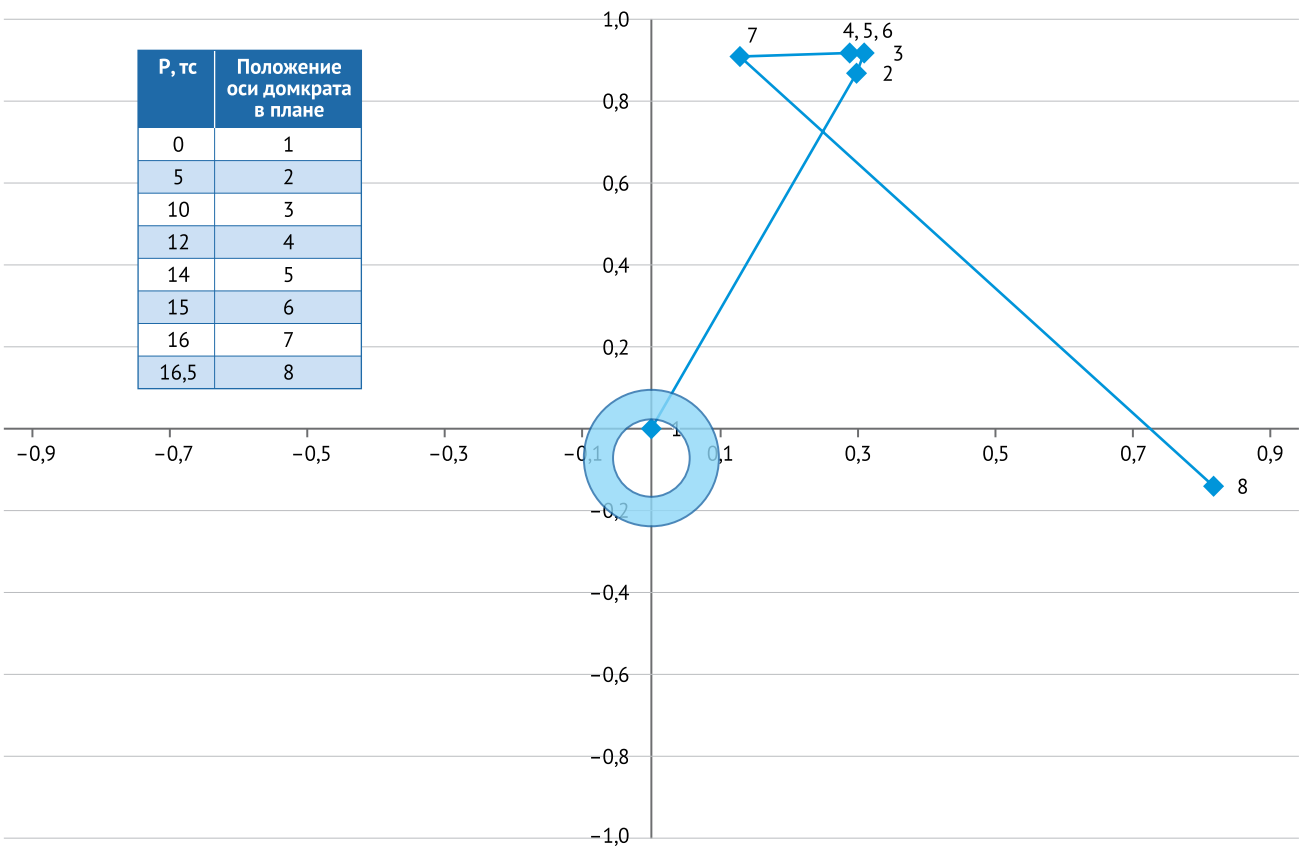


Рис. 6. Перемещение среднего сечения 3 образца (размерности по осям – мм)
Fig. 6. Displacement of the middle section of 3 samples (dimensions along the axes – mm)

Домкраты испытывались в прессе П-500, гайка домкрата устанавливалась на высоте 450 мм (верхний край) от плиты пресса; на стальную трубу домкрата надевалась опорная труба (внутренний диаметр 53 мм) с опорной площадкой сверху. Для фиксации возможного горизонтального выгиба трубы домкрата при нагружении в среднем сечении этой трубы использовались два прогибомера 6ПАО с ценой деления 0,01 м. Образцы перед испытанием приведены на рисунке 1, общий вид винтовой пары в ходе испытания – на рисунке 2, общий вид винтовой пары после испытаний – на рисунке 3. Нагружение проводилось этапами (для образцов с толщиной стенки 3,5 мм: рисунки 4–6).

Обсуждение

Основные результаты испытаний домкратов из труб с толщиной стенки 3,5 мм показаны на рисунках 4–6. На них видно, как, в какую сторону, насколько и от какой нагрузки перемещались средние поперечные сечения трубы каждого домкрата. Для всех испытаний характерно то, что на первом нагружении (до 5 тс) труба в подпятнике принимает наиболее устойчивое положение, и в этот момент протекают наибольшие подвижки среднего поперечного сечения труб при достижении сжимающей нагрузки:

- первый и второй образцы – 16 тс.
- третий образец – 16,5 тс.

Далее происходит стремительное нарастание выгиба труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищенко, А. В. Инновации в высотном строительстве / А. В. Ищенко, М. И. Осетрова // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 24–28.
2. Peurifoy, R. L. Formwork for concrete structures / R. L. Peurifoy, G. D. Oberlender. – The McGraw-Hill Companies, 2011. – 146 p.
3. Кругликов, С. Е. Вопросы устойчивости опалубки при бетони-

Анализируя эти данные, можно отметить, что во всех случаях каждое новое нагружение цикла начинается с остаточного прогиба от предыдущего нагружения. Это свидетельствует о том, что при непрерывном цикле «нагружение – разгружение» система (конструкция) не успевает вернуться в исходное положение [16; 17].

Результаты испытаний для домкратов из труб с толщиной стенки 3,0 мм: первый образец выдержал нагрузку 15,0 тс, второй – 14,9 тс. После достижения максимальной нагрузки в обоих случаях происходила потеря устойчивости трубы. При этом при испытании всех представленных образцов деформация резьбовой пары отсутствовала, гайка свободно вращалась по трубе.

Заключение

Три испытанных образца винтовых домкратов (с толщиной стенки 3,5 мм) со свободной высотой от места приложения нагрузки до основания 450 мм выдержали продольное сжатие до величины 16–16,5 тс, после чего началась потеря устойчивости труб домкратов. Домкраты с толщиной стенки 3,0 мм выдержали 14,9–15,0 тс. Таким образом, в ходе эксперимента установлено, что несущая способность домкратов выше (более чем на 50 %), чем все элементы рамных систем в целом; также подтверждается возможность замены бесшовной трубы на шовную без потери технико-эксплуатационных характеристик опорных домкратов рамных лесов.

ровании наклонных перекрытий / С. Е. Кругликов, А. А. Мельник // Инновации в строительстве. Технологии КНАУФ : Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции [Электронный ресурс] / под ред. Т. Н. Черных. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – С. 95–98.
4. Олейник, П. П. Повышение эффективности проектирование и применение строительных лесов / П. П. Олейник, В. В. Брод-

ский // Системные технологии. – 2018. – № 3. – С. 39–42.

5. Липидус, А. А. Идентификация и анализ технических рисков при строительстве малоэтажных зданий / А. А. Липидус, А. С. Воробьёв // Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 2–7.

6. Опалубка. Общие технические условия : ГОСТ 34329-2017 : Межгосударственный стандарт : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2017 г. № 52–2017) : введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. № 1954-ст с 1 апреля 2018 г. / ООО НТЦ «Стройопалубка». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 32 с. – Издание официальное.

7. Опорные леса Staxo 100: Мощная и быстровозводимая система / Doka.com : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.doka.com/ru/system-groups/doka-load-bearing-systems/shoring-towers/load-bearing-tower-staxo-100/index>.

8. Рамная опорная система «Гамма ST» / Гамма. Опалубочные системы : [Электронный ресурс]. – URL: <https://opalubka-gamma.com/wp-content/uploads/2020/11/Gamma-ST.pdf>.

9. PERI – несущие башни PD5 / PERI Group : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.peri.ru/products/stroitelniye-lesa/pd-5-nesushiye-lesa.html#&gid=1&pid=1>.

10. Stalform – Статика / Stalform : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.stalformint.ru/products/statika/>.

11. Опорные башни PSK-TOP для опалубки монолитных пере-

REFERENCES

1. Ishchenko, A. V. Innovatsii v vysotnom stroitel'stve [Innovations in high-rise construction] / A. V. Ishchenko, M. I. Osetrova // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – No. 4 – Pp. 24–28.

2. Peurifoy, R. L. Formwork for concrete structures / R. L. Peurifoy, G. D. Oberlender. – The McGraw-Hill Companies, 2011. – 146 p.

3. Kruglikov, S. E. Voprosy ustojchivosti opalubki pri betonirovanii naklonnykh perekrytij [Issues of formwork stability during concreting of inclined floors] / S. E. Kruglikov, A. A. Melnik // Innovatsii v stroitel'stve. Tekhnologii KNAUF : Materialy XVI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovations in construction. KNAUF Technologies : Materials of the XVI All-Russian Scientific and Practical conference] : [Electronic resource] / edited by T. N. Chernykh. – Chelyabinsk : SUSU Publishing Center, 2023. – Pp. 95–98.

4. Oleinik, P. P. Povyshenie ehffektivnosti proektirovanie i primeneniye stroitel'nykh lesov [Improving the efficiency of design and application of scaffolding] / P. P. Oleinik, V. V. Brodsky // Sistemye tekhnologii [System technologists]. – 2018. – No. 3. – Pp. 39–42.

5. Lapidus, A. A. Identifikatsiya i analiz tekhnicheskikh riskov pri stroitel'stve maloetazhnykh zdaniy [Identification and analysis of technical risks in the construction of low-rise buildings] / A. A. Lapidus, A. C. Vorobyov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – No. 2. – Pp. 2–7.

6. Opalubka. Obshhie tekhnicheskie usloviya : GOST 34329-2017 [Formwork. General technical conditions : GOST 34329-2017] : Mezhgosudarstvennyy standart : prinyat Mezhgosudarstvennym sovetom po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii (protokol ot 30 noyabrya 2017 g. № 52–2017) [Interstate standard : adopted by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (Protocol No. 52-2017 dated November 30, 2017)] : vvedyon v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniya i metrologii ot 14 dekabrya 2017 g. № 1954-st s 1 aprelya 2018 g. [put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 14, 2017 No. 1954-st from April 1, 2018] / ООО НТЦ «Стройопалубка». [STC Stroyopalubka LLC]. – Moscow : Standartinform, 2017. – 32 p. – Official publication.

крытий / Группа компаний «ПромСтройКонтракт» : [Электронный ресурс]. – URL: https://psk-holding.ru/products/opornye_bashni_psk-top_dlya_opalubki_monolitnykh_perekrytiy/?ysclid=lu5xlz60yr123188331.

12. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Липидус. – Москва : Высшая школа, 2004. – 448 с.

13. Макаров А. Н. Априорные риски строительных процессов в системе контроля качества / // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 29–33.

14. Фридкин, В. М. Формообразование строительных конструкций: монография / В. М. Фридкин ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. Гос. Строит. Ун-т». – Москва : МГСУ, 2011. – 171 с.

15. Погодин, Д. А. Совершенствование современных технологий и возведение многоэтажных жилых зданий за счет оптимизации опалубочных работ / Д. А. Погодин, Н. Н. Спиридонов, А. А. Халидов // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6, № 2. – URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS219.pdf>.

16. Дружинина, О. Э. Возведение зданий и сооружений с применением монолитного бетона и железобетона / О. Э. Дружинина, Н. Е. Муштаева ; ред. И. Дрожжина. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 50 с.

17. Falsework – Performance requirements and general design : DIN EN 12812-2004 : German version EN 12812:2004 : Date of rate 01.09.2004. – URL: <https://standards.globalspec.com/std/1120280/DIN%20EN%2012812>.

7. Opornye lesa Staxo 100: Moshhnaya i bystrovovzvodimaya sistema [Staxo 100 support scaffolding: A powerful and fast-erecting system] / Doka.com : [Electronic resource]. – URL: <https://www.doka.com/ru/system-groups/doka-load-bearing-systems/shoring-towers/load-bearing-tower-staxo-100/index>.

8. Ramnaya opornaya sistema «Gamma ST» [Frame support system «Gamma ST»] / Gamma. Opalubochnye sistemy [Gamma. Shuttering systems] : [Electronic resource]. – URL: <https://opalubka-gamma.com/wp-content/uploads/2020/11/Gamma-ST.pdf>.

9. PERI – несущие башни PD5 / PERI Group : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.peri.ru/products/stroitelniye-lesa/pd-5-nesushiye-lesa.html#&gid=1&pid=1>.

10. Stalform – Статика / Stalform : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.stalformint.ru/products/statika/>.

11. PSK-TOP support towers for formwork of monolithic floors / PromStroyContract Group of Companies : [Electronic resource]. – URL: https://psk-holding.ru/products/opornye_bashni_psk-top_dlya_opalubki_monolitnykh_perekrytiy/?ysclid=lu5xlz60yr123188331.

12. Telichenko, V. I. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij [Technology of construction of buildings and structures] / V. I. Telichenko, O. M. Terentyev, A. A. Lapidus. – Moscow : Higher School, 2004. – 448 p.

13. Makarov, A. N. Apriornye riski stroitel'nykh protsessov v sisteme kontrolya kachestva [A priori risks of construction processes in the quality control system] / A. N. Makarov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 4. – Pp. 29–33.

14. Fridkin, V. M. Formoobrazovanie stroitel'nykh konstruksij: monografiya [Formation of building structures: monograph] / V. M. Fridkin ; M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Federatsii, FG-BOU VPO «Mosk. Gos. Stroit. Un-t» [Ministry of Education and Science Ross. Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State University. Builds. Un-t"]. – Moscow : MGSU, 2011. – 171 p.

15. Pogodin, D. A. Sovershenstvovanie sovremennykh tekhnologij i vozvedenie mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy za schet optimizatsii opalubochnykh rabot [Improvement of modern technologies and construction of multi-storey residential build-

ings due to optimization of formwork works] / D. A. Pogodin, N. N. Spiridonov, A. A. Khalidov // Transportnye sooruzheniya [Transport structures]. – 2019. – Vol. 6, No. 2. – URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS219.pdf>.

16. Druzhinina, O. E. Vozvedenie zdaniy i sooruzhenij s primeneniem monolitnogo betona i zhelezobetona [Construction of buildings and structures using monolithic concrete and rein-

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_51

Теоретический анализ системы управления проектами капитального строительства на современном этапе

Theoretical Analysis of the Capital Construction Project Management System At the Present Stage

Топчий Дмитрий Владимирович

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

Topchiy 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@mgsu.ru

Голованов Андрей Юрьевич

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; директор по развитию отраслевого строительного комплекса – начальник Управления по развитию квалификаций и коммуникаций в строительном комплексе, Частное учреждение Госкорпорации «Росатом» «Отраслевой центр капитального строительства», Россия, 117485, Москва, ДЦ «Кругозор», улица Обручева, 30/1, строение 1, AYGolovanov@rosatom.ru

Golovanov Andrey 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, Yaroslavskoe shosse, 26; Director of development of the industry construction complex and Head of the Office of qualifications and communications in the construction complex of Centre of Expertise for Major Construction Projects, Private Enterprise of the Rosatom State Atomic Energy Corporation, Russia, 117485, Moscow, Krugozor Business Center, ulitsa Obrucheve, 30/1, building 1, AYGolovanov@rosatom.ru

Газдаров Арсен Аланович

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

Gazdarov Arsen Alanovich

Graduate student, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, guazdart@mail.ru

Аннотация. Значимость строительства сложных инженерных и уникальных объектов в современных условиях трудно переоценить. Сооружение таких объектов связано со множеством параллельно протекаемых процессов: постоянное совершенствование производственных технологий, участие различных уровней организаций в возведении промышленного объекта, большие площади строительства, технологическая взаимосвязь всех операций и составление многоуровневых бюджетов. Проектный подход к управлению сооружением объекта капитального строительства позволяет учесть и нивелировать основные риски, а также оперативно реагировать на малейшие изменения.

Настоящее исследование посвящено выявлению проблемных аспектов при нормативном регулировании процесса управления проектом капитального строительства и подготовке предложений по совершенствованию национальной системы управления проектами. На основе проведённого анализа существующей нормативной и методологической базы управ-

forced concrete] / O. E. Druzhinina, N. E. Mushtayeva ; ed. by I. Drozhzhina. – Moscow : INFRA- M, 2013. – 50 p.

17. Falsework – Performance requirements and general design : DIN EN 12812-2004 : German version EN 12812:2004 : Date of rate 01.09.2004. – URL: <https://standards.globalspec.com/std/1120280/DIN%20EN%2012812>.

ления проектами, в том числе в области капитального строительства, получен вывод о существовании серьёзного отрыва теоретических материалов от практического опыта реализации. По мере аналитической работы выработаны направления для изменений: создание базы выученных уроков, синхронизация теории и практического опыта на их основе, сокращение срока актуализации регламентирующих область управления проектами капитального строительства документов. Предложенные направления решений при их внедрении будут способствовать переориентации подхода национальных стандартов с теоретической на практикоориентированную составляющую, а также позволят сформировать собственную базу знаний по управлению проектом капитального строительства на основе реальной практики реализации мегапроектов в России.

Ключевые слова: управление проектом, сложные инженерные объекты, уникальные объекты, жизненный цикл, капитальное строительство, технический заказчик, постинвестиционный период, мегапроекты, база знаний.

Abstract. The importance of building complex engineering and unique facilities in modern conditions is difficult to underestimate. The construction of such facilities is associated with many parallel processes: continuous improvement of production technologies, participation of various levels of organizations in the construction of an industrial facility, large construction areas, technological interconnection of all operations and the preparation of multi-level budgets. The design approach to managing the construction of a capital construction facility allows you to take into account and mitigate the main risks, as well as respond promptly to the slightest changes. This study is devoted to identifying problematic aspects in the regulatory regulation of the capital construction project management process and preparing proposals for improving the national project management system. Based on the analysis of the existing regulatory and methodological framework for project management, including in the field of

Введение
Инфраструктура современных городов, как и секторов промышленного производства, развивается крайне высокими темпами с точки зрения строительной отрасли. Действительно, при сравнении облика городов конца XX века и современных строительных объектов можно сделать вывод об огромном влиянии технологического прогресса, который затронул практически каждую отрасль экономики. Возможно, больше всего ему подвержена область именно инфраструктурного и промышленного строительства, поскольку уже невозможно представить очертания современного города без возведения уникальных строительных объектов.

Строительство такого рода объектов, ввиду их сложности и исключительности, требует особого комплексного подхода к реализации проекта на всём жизненном цикле его сооружения, чтобы обеспечить единые условия качества и безопасности как при разработке самой идеи строительства, так и при вводе в эксплуатацию и последующем использовании.

Кроме того, важно также учитывать необходимость применения современных инструментов управления рисками и повышения уровня рентабельности конечного объекта. Таким образом, возникает задача комплексного управления проектом капитального строительства как главного фактора эффективности его реализации.

Материалы и методы
Системность подхода и прогрессивное масштабирование строительного производства всё чаще указывает на необходимость перехода от традиционных методов управления к проектному. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года формулирует амбициозные задачи, такие как сокращение продолжительности инвестиционно-строительного цикла, формирование высокотехнологичных отраслей строительства, повышение энергоэффективности объектов капитального строительства и минимизация негативного воздействия строительной отрасли на окружающую среду [1].

Реализация указанных задач соединяет в себе совокупность проблем: устаревание существующих методов управления приводит к необходимости совершенствования теоретических и разработке практикоориентированных способов, алгоритм применения которых будет способствовать завершению цикла строительства в оптимальные сроки и с меньшей стоимостью. Проблемы мо-

capital construction, it was concluded that there is a serious gap between theoretical materials and practical implementation experience. As the analytical work progressed, directions for changes were developed: creating a database of lessons learned, synchronizing theory and practical experience based on them, shortening the period for updating documents regulating the field of capital construction project management.

The proposed directions of solutions during their implementation will contribute to the reorientation of the approach of national standards from a theoretical to a practice-oriented component, and will also allow you to form your own knowledge base on capital construction project management based on the real practice of implementing mega-projects in Russia.

Keywords: project management, complex engineering facilities, unique facilities, life cycle, capital construction, technical customer, post-investment period, megaprojects, knowledge base.

гут быть связаны с рассмотрением целого спектра вопросов – от конструктивных до юридических и финансовых. Каждый этап строительства озаменован собственным набором технических и управленческих решений, причём своевременных и на основании достоверных данных [2], необходимых для успешной реализации всего проекта. Поэтому исполнение поставленных стратегических задач, особенно учитывая современные турбулентные условия неопределённости, невозможно без внедрения инструмента «управления проектами». В проектном управлении цель декомпозируется на отдельные элементы деятельности, логически и организационно связанные в комплексы работ [3]. Актуальность внедрения данного инструмента формируется из практического опыта экономии до 30 % времени и 20 % средств [4] при реализации проекта.

С учётом постоянного совершенствования методов и поисков оптимальных решений управления проектами капитального строительства необходимо обеспечить своевременную и непрерывную актуализацию нормативно-правовой и нормативно-технической баз в рассматриваемой области. В основе управления проектами в нашей стране лежат международные и национальные стандарты. Первым явным упоминанием зачатков управления проектом капитального строительства в мире можно считать описание работ в совокупности с временем их выполнения в виде графика Ганта в 1910 году. А в России 1930-х годов был разработан первый инструмент, позволяющий провести объективную оценку срока выполнения работ с привязкой к их сложности и объёму, – сборники единых норм времени и расценок на строительные работы [5]. Так зародилось современное календарно-сетевое планирование, являющееся одним из составных элементов управления проектом капитального строительства. Зарубежные источники сравнивают проект с временной организацией, состоящей из коалиции предприятий, выбранных клиентом [6]. Изучив основные современные документы, регламентирующие область управления проектами, в том числе капитального строительства, согласно таблице 1, можно сделать следующие принципиальные выводы:

1. Российские стандарты полностью основаны на международных нормах, но могут применяться только внутри страны, не получив мирового признания.
2. Основные национальные стандарты не имеют обязательного статуса и являются документами добровольного применения.
3. Наиболее полно и актуально раскрывает процесс управления проектом капитального строительства

№ п/п	Вид документа	Наименование документа
1	Международный	Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK), 7-я редакция, 2021
2	Международный	Международный стандарт по управлению проектами ISO 21500:2012
3	Международный	BS 6079-1:2010. Project management. Principles and guidelines for the management of project
4	Международный	Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®) – Third Edition
5	Национальный	ГОСТ Р 57363-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)
6	Национальный	ГОСТ Р 54869-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом
7	Национальный	ГОСТ Р 54870-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов
8	Национальный	Серия ГОСТ Р 56715.1-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент
9	Национальный	ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 16326–2002. Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 при управлении проектом
10	Национальный	СП 48.13330.2019. Организация строительства

Табл. 1. Нормативное регулирование процесса управления проектами
Tab. 1. Regulatory regulation of the project management process

документ № 5 таблицы 1. При этом стоит отметить, что его последняя редакция датирована 2023 годом.
4. Национальные стандарты №№ 6, 7, 8, 9 не получали обновления более 9 лет и не могут считаться полностью актуальными для применения в проектном управлении.

Разберём представленные предложения более подробно на примере. Согласно [7], этапы реализации проекта строительства представлены в виде цикла на рисунке 1. Примем указанные этапы в качестве основных стадий жизненного цикла проекта капитального строительства, используемых в исследовании.

При этом стадией завершения цикла управления в документе № 5 таблицы 1 являются эксплуатация объекта уже после ввода, обслуживание на гарантийном периоде, его возможный капитальный ремонт, реконструкция и последующая ликвидация. В этот период силами управляющего проектом капитального строительства проводится обучение персонала эксплуатирующей организации и устранение возникающих дефектов, выявленных уже после сдачи объекта в эксплуатацию, на протяжении гарантийного срока в соответствии с законодательством [8]. Таким образом, управляющий проекта не устраняется после получения разрешительной документации на ввод в эксплуатацию, что соответствует современным условиям комплексного сервиса «под ключ», обеспечивает повышение уровня качества предоставляемых услуг и общей рентабельности проекта, а также создаёт конкурентное преимущество для организации – технического заказчика. Эта стадия является самой длительной и может быть определена как время между выходом на проектную мощность и завершением проекта капитального строительства [9].

В целях сопоставления рассмотрим положения документа № 6 таблицы 1. В соответствии с [10], жизненный цикл проекта имеет сокращённую структуру – завершением проекта считается приёмка продукта проекта заказчиком и закрытие расходных договоров. Стандарт не регламентирует деятельность в постинвестиционном периоде и не отражает требования к методам выполнения

процессов управления проектами, а также требования к предпроектной работе. К аналогичным результатам привёл анализ разработанных отечественных документов №№ 7, 8, 9, 10 таблицы 1.

Важность отражения и описания процессов управления на 6-м этапе реализации проекта обусловлена характерными особенностями строительства крупных промышленных и сложных инженерных объектов, в которых на первый план выходит задача по сохранению качества строительства и обеспечению безопасности эксплуатации при больших объёмах строительно-монтажных работ в совокупности с кратчайшими сроками их выполнения. Каждый такой объект по сути не имеет полных аналогов и должен предусматривать индивидуальный подход при сооружении. Поэтому управление проектом капитального строительства в постинвестиционный период выступает одной из составляющих гарантии успеха и должно быть максимально регламентировано.

В процессе сравнительного анализа нормативно-технической базы отечественных и международных стандартов было также выявлено, что существует ряд различий в общих подходах к формированию таких документов:

1. В международной практике стандарт разрабатывается исходя из комплексного подхода к реализации проекта в виде, преимущественно, одного документа, охватывающего не только сам жизненный цикл проекта, но и смежные области, такие как создание команды, разрешение конфликтов, образование и развитие персонала [11].
2. Национальные российские стандарты разработаны по структурному принципу: несколько документов, регламентирующих различные области управления проектом.
3. Отечественная нормативно-техническая база носит в большей степени теоретический характер, в то время как международные стандарты включают в себя примеры лучших практик управления проектами [12].
4. Отсутствуют специфические стандарты по управлению проектом капитального строительства уни-

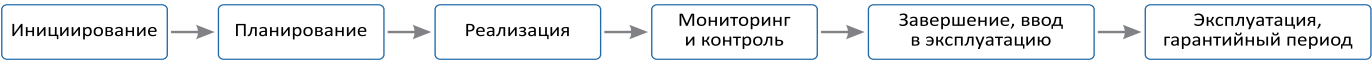


Рис. 1. Этапы реализации проекта строительства
Fig. 1. Stages of the construction project implementation

лях реализации общенациональной задачи – повышения качества принимаемых управленческих решений в системе управления проектами капитального строительства.

№ п/п	Наименование документа	Наименование стадий жизненного цикла проекта капитального строительства, используемых в исследовании					
		Инициирование	Планирование	Реализация	Мониторинг и контроль за реализацией	Завершение, ввод в эксплуатацию	Эксплуатация, гарантийный период, капитальный ремонт
1	ГОСТ Р 57363-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	ГОСТ Р 54869-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом	✓	✓	✓	✓	✓	
3	ГОСТ Р 54870-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов	✓	✓	✓	✓		
4	Серия ГОСТ Р 56715-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент	✓	✓	✓	✓	✓	
5	ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 16326–2002. Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 при управлении проектом	✓	✓	✓	✓	✓	
6	СП 48.13330.2019. Организация строительства		✓	✓	✓	✓	

Табл. 2. Обзор нормативной документации процесса управления проектами на стадиях жизненного цикла проекта капитального строительства

Tab. 2. Review of the regulatory documentation of the project management process at the stages of the life cycle of a capital construction project

кальных объектов, которые зачастую могут иметь особую специфику и расширенные стадии жизненного цикла ввиду сложности и нестандартности проектных решений.

Результаты

По итогам обзора нормативно-технической документации в области управления проектами было отмечено, что большинство документов рассматривает управление проектом капитального строительства только в разрезе 5 (а некоторые ещё меньше) этапов жизненного цикла, исключая стадию эксплуатации, гарантийного периода и капитального ремонта (см. таблицу 2).

Однако сооружение сложного инженерного или уникального объекта капитального строительства в современных условиях не заканчивается сдачей его в эксплуатацию, а продолжается вплоть до завершения жизненного цикла в конце постинвестиционной стадии. Проектный подход управления объектом капитального строительства предполагает взаимосвязь всех факторов влияния на процесс сооружения, что также необходимо учитывать при формировании бюджета проекта. И немаловажную роль здесь играют расходы по исполнению работ в период эксплуатации, гарантийного периода и капитального ремонта, а также расчёт будущей прибыли и эффективности реализации всего проекта. Это является обоснованием необходимости управления проектом на всех стадиях рассматриваемого жизненного цикла.

С основой на полученные результаты исследования выявлена недостаточность отражения в национальных стандартах специфического практического применения проектного подхода управления капитальным строительством на разных стадиях жизненного цикла проекта сооружения. Одним из способов практикоориентированной актуализации нормативных документов может выступать регулярный сбор практических решений реализации проектов капитального строительства в рамках проводимых профильных мероприятий и конференций и создание «базы выученных уроков». Наша страна в современной

истории накопила масштабный опыт реализации мега-проектов, на основе которого могут быть инициированы изменения нормативно-технической документации с целью максимального отражения полученного опыта и исключения повторения ошибок.

Современные темпы развития экономических и технологических процессов диктуют необходимость формирования обновлённых подходов к проектному управлению и планированию производственных алгоритмов капитального строительства. Поэтому важно организовать пересмотр и актуализацию нормативной базы не реже одного раза в трёхлетний период. Это будет способствовать своевременному реагированию на практические ошибки и сокращению разрыва теоретической и практической методологической базы управления проектом капитального строительства.

Заключение

Проведённое исследование показало, что нормативное регулирование управления проектами носит, в большинстве своём, теоретический характер и не ориентировано на практическое применение накопленного опыта сооружения сложных инженерных объектов, в том числе мегапроектов России. При этом постпроектная стадия сопровождения, в современных условиях формирующая основное конкурентное преимущество организации, не находит достаточного отражения в нормативно-технической документации. Однако сегодня процессы управления капитальным строительством требуют оперативной идентификации и разнообразия инструментов управления стремительно меняющимися факторами, направленных на единство и связь управления проектами с управлением процессами. Мировая практика показывает, что используемые методы и способ, которым они объединяются в процессе управления проектом, имеют основополагающее значение для достижения целей заказчика проекта [13].

С учётом технологического прорыва последних десятилетий и постоянного развития инновационных техно-

логий возникает необходимость регулярного оперативного пересмотра национальных стандартов во избежание устаревания методологии управления проектами и в це-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.10.2022 № 3268-р (ред. от 29.11.2023) // КонсультантПлюс: [справочно-правовая система]. – Москва, 2023. – 5 с. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/?ysclid=lryzlyvob2955940577.

2. Никитин, А. С. Smart Construction Casebook – 2: Технический заказчик в России. Современные практики и технологии управления строительством : второе практическое издание по теме управления и контроля строительства в российской практике / А. С. Никитин, Х. М. Плиев [и др.]; под общей редакцией А. С. Никитина ; составитель Инжиниринговая группа Smart Engineers (ООО «СМАРТ-И»). – Москва : 2022. – 376 с.

3. Оберемок, И. И. Ключевые подходы к управлению проектами в системе управления проектами / И. И. Оберемок, Н. В. Оберемок // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции «Инновационный вектор развития в условиях риска и неопределённости: новые задачи и пути их решения в экономике, проектном менеджменте, образовании, юриспруденции, языкознании, искусствоведении, культурологии, экологии, зоологии, химии, биологии, медицине, психологии, политологии, филологии, философии, социологии, градостроительстве, информатике, технике, математике, физике, истории, растениеводстве», 30–31 марта 2015 года / Негос. образовательное учреждение дополнительного проф. образования «Санкт-Петербургский институт проектного менеджмента». – Санкт-Петербург : КультИнформПресс, 2015. – С. 90–91.

4. Пак, В. Д. Что такое проект? Определение и признаки / В. Д. Пак, Н. И. Нужина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 8 (15). – С. 133–134.

5. Управление крупномасштабными проектами строительства промышленных объектов / А. С. Павлов, А. В. Гинзбург, Е. А. Гусакова, П. Б. Каган ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. –

REFERENCES

1. Strategiya razvitiya stroitel'noj otrasli i zhilischno-kommunal'nogo hozyajstva Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2035 goda [Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035] : Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 31.10.2022 № 3268-r (red. ot 29.11.2023) [Decree of the Government of the Russian Federation dated 10/31/2022 No. 3268-r (ed. from 11/29/2023)] // ConsultantPlus : spravочно-pravovaya sistema [legal reference system]. – Moscow, 2023. – 5 p. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/?ysclid=lryzlyvob2955940577.

2. Nikitin, A. S. Smart Construction Casebook – 2: Tekhnicheskij zakazchik v Rossii. Sovremennyye praktiki i tekhnologii upravleniya stroitel'stvom: vtoroe prakticheskoe izdanie po teme upravleniya i kontrolya stroitel'stva v rossijskoj praktike [Smart Construction Casebook – 2: Technical customer in Russia. Modern practices and technologies of construction management: the second practical edition on the topic of construction management and control in Russian practice] /

188 с.

6. Winch, G. M. Managing Construction Projects: an Information Processing Approach / G. M. Winch. – Second Edition. – United Kingdom : Wiley-Blackwell Publishing Ltd, 2010. – 13 p.

7. Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика) : ГОСТ Р 57363-2023 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16.12.2016 № 2043-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [информационно-правовой портал]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 15 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200142996?ysclid=ls0ihzu23r430452436>.

8. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный Закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года : текст ред. от 01.05.2022, с изм. и доп. вступ. в силу с 01.02.2024 // КонсультантПлюс: [справочно-правовая система]. – Москва, 2023. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/?ysclid=ls0iwftedu495304195.

9. Моисеев, И. А. Анализ алгоритмов проектного управления в строительстве / И. А. Моисеев, М. И. Львова // Вестник науки. – 2023. – Т. 5, № 10 (67). – С. 71–96.

10. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом : ГОСТ Р 54869-2011 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.12.2011 № 1582-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [информационно-правовой портал]. – Москва : Стандартинформ 2019. – 11 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604?ysclid=ls0irdl5tw539051902>.

11. BS 6079-1:2010. Project management. Principles and guidelines for the management of project / BSI group, Great Britain. – First edition. – 2010. – 87 p.

12. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®) / Project Management Institute (PMI), USA. – Third Edition. – 2013. – 190 p.

13. Walker, A. Project Management in Construction / A. Walker. – Sixth Edition. – United Kingdom : Wiley-Blackwell, 2015. – 353 p.

A. S. Nikitin, H. M. Pliev [et al.] ; under the general editorship of A. S. Nikitin ; compiled by Smart Engineers Engineering Group (SMART-I LLC). – Moscow : 2022. – 376 p.

3. Oberemok, I. I. Klyuchevyye podkhody k upravleniyu proektami v sisteme upravleniya proektami [Key approaches to project management in the project management system] / I. I. Oberemok, N. V. Oberemok // Sbornik nauchnykh statej po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii «Innovatsionnyj vektor razvitiya v usloviyakh riska i neopredelyonnosti: novyye zadachi i puti ikh resheniya v ehkonomie, proektnom menedzhmente, obrazovanii, yurisprudent-sii, yazykoznanii, iskusstvovedenii, kul'turologii, ehkologii, zoologii, khimii, biologii, meditsine, psikhologii, politologii, filologii, filosofii, sotsiologii, gradostroitel'stve, informatike, tekhnike, matematike, fizike, istorii, rastenievodstve», 30–31 marta 2015 goda [Collection of scientific articles on the results of the international scientific and practical conference «Innovative vector of development in conditions of risk and uncertainty: new tasks and ways to solve them in economics, project management, education, law, linguistics, art history, cultural studies, ecology, zoology, chemistry, biology, medicine, psychology, political science, philology, philosophy,

тренней среды, которые требуют своей оценки при определении основных параметров и эффективности ремонтно-строительного цикла.

Ключевые слова: пролонгация межремонтных сроков, нормативный срок эксплуатации, долговечность применяемых материалов, факторное пространство, экспертная оценка.

of repair work, technical control of the repair life cycle, the service life of the building and the number of years since the last major repair. Within the framework of the study, priority vectors were calculated to compile curves of indicators of the importance of evaluation criteria for each of the groups under consideration. During scientific and practical research, it was found that the formation of reserves for the service life of structural elements occurs in conditions of constantly changing factors of the external and internal environment, which require their assessment in determining the main parameters and efficiency of the repair and construction cycle.

Keywords: prolongation of repair periods, standard service life, durability of the materials used, factor space, expert assessment.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: определить факторы, влияющие на пролонгацию межремонтных сроков; путём экспертного анализа и расчёта определить более значимые факторы [2].

Материалы и методы

С целью пролонгации межремонтных сроков капитального ремонта многоквартирных жилых домов необходимо сформировать факторное пространство, которое оказывает существенное влияние на организационно-технологические решения ремонтных работ [3]. В настоящем исследовании использованы теоретические положения и методы системного анализа, методы множественного

следного капитального ремонта. В рамках исследования были рассчитаны векторы приоритетов для составления кривых показателей важности оценочных критериев для каждой из рассматриваемых групп. При проведении научных и практических исследований было установлено, что образование резервов сроков эксплуатации конструктивных элементов происходит в условиях постоянно меняющихся факторов внешней и вну-

Abstract. The article considers the main factors influencing the prolongation of the renovation periods of an apartment building. Using theoretical principles and the method of system analysis, the method of multiple correlation and regression analysis, mathematical modeling and expert assessment, the calculation was made and the factors that have the greatest impact on the frequency of repair and restoration work were identified.

When planning repairs, it is necessary to consider all factors from the following groups: organizational and technological, organizational and technical, and socio-economic. The study showed that special attention should be paid to the quality of repair and construction work, the choice of rational organizational forms of project management of restoration work, the durability of the materials used, the organization of a flow-through method

Введение

Нормативный срок эксплуатации жилых домов – показатель, который устанавливается в зависимости от материалов изготовления, несущих конструкций, условий содержания и использования [1]. По факту к окончанию этого срока большинство важных составляющих здания не исчерпывают свои резервы прочности, поэтому могут безопасно использоваться ещё немалое время.

Целью данного исследования является анализ основных факторов, которые влияют на пролонгацию межремонтных сроков и, как следствие, сохранение долгосрочной надёжности здания.

Исполнитель	Виды работ	Выявленные судом причины ухудшения срока службы
ООО «Специализированный застройщик «Квартал-Инвестстрой»»	• Устройство вентилируемых фасадов • Устройство конструкций из кирпича • Устройство кровель из рулонных материалов	• Низкий уровень технической оснащённости ремонтных работ • Использование недолговечных конструктивных элементов • Ненадёжность поставщиков материалов и оборудования • Несвоевременное проведение технического контроля жизненного цикла ремонта • Невыполнение контрактных обязательств подрядчиками
ООО «Стройальянс»	• Устройство кровель из штучных и листовых материалов	• Несвоевременное проведение / отсутствие технического контроля жизненного цикла ремонта
ООО СЗ «ЖБИ-Жилстрой 910»	• Устройство конструкций из кирпича	• Использование недолговечных конструктивных элементов
ООО «Главстрой-СПБ СЗ»	• Устройство монолитных бетонных и железобетонных конструкций	• Степень сложности проведения ремонтных работ • Отсутствие комплексности ремонтно-восстановительных работ • Плохая координация действий по объёму, месту и времени между последовательно выполняемыми работами
ООО «Строительная Компания МИС»	• Устройство кровель из рулонных материалов • Гидроизоляция строительных конструкций	• Отсутствие комплексности ремонтно-восстановительных работ
ООО «Андриада-Строй»	• Устройство оклеечной изоляции	• Несвоевременное проведение технического контроля жизненного цикла ремонта
ООО «ЖЭУ Строймонтажсервис»	• Работы по теплоизоляции зданий, строительных конструкций и оборудования	• Невыполнение контрактных обязательств подрядчиками
ООО «СЗ «Самолёт Девелопмент»»	• Устройство вентилируемых фасадов • Устройство кровель из штучных и листовых материалов	• Отсутствие комплексности ремонтно-восстановительных работ • Ненадёжность поставщиков материалов и оборудования
ТСН «Набережная Сетунь»	• Гидроизоляция строительных конструкций	• Низкая механизация и роботизация при ремонтных работах
ООО «Эверест»	• Устройство монолитных бетонных и железобетонных конструкций • Устройство наливных кровель	• Использование недолговечных конструктивных элементов

Табл. 1. Данные строительно-технических экспертиз в рамках судебных решений. Источник: <https://судебныерешения.рф>
Tab. 1. Data from construction and technical expertise in the framework of court decisions. Source: <https://судебныерешения.рф>

sociology, urban planning, computer science, engineering, mathematics, physics, history, crop production», March 30–31, 2015] / Negos. obrazovatel'noe uchrezhdenie dopolnitel'nogo prof. obrazovaniya «Sankt-Peterburgskij institut proektnogo menedzhmenta» [Non-governmental educational institution of additional professional education "St. Petersburg Institute of Project Management"]. – St. Petersburg : Kulturinformpress, 2015. – Pp. 90–91.

4. Pak, V. D. Chto takoe proekt? Opredelenie i priznaki [What is a project? Definition and signs] / V. D. Pak, N. I. Nuzhdina // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2013. – № 8 (15). – Pp. 133–134.
5. Upravlenie krupnomasshtabnymi proektami stroitel'stva promyshlennykh ob'ektov [Management of large-scale industrial construction projects] / A. S. Pavlov, A. V. Ginzburg, E. A. Gusakova, P. B. Kagan : Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federatsii, Natsional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet. – Moscow : Izdatel'stvo MISI – MGSU [Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, National Research Moscow State University of Civil Engineering], 2019. – 188 p.
6. Winch, G. M. Managing Construction Projects: an Information Processing Approach / G. M. Winch. – Second Edition. – United Kingdom : Wiley-Blackwell Publishing Ltd, 2010. – 13 p.
7. Upravlenie proektom v stroitel'stve. Deyatel'nost' upravlyayuschego proektom (tekhnicheskogo zakazchika) [Project management in construction. Activity of the project manager (technical customer)] : GOST R 57363-2023 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [GOST R 57363-2023 : National standard of the Russian Federation]: utverzhdyon i vvedyon v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 16.12.2016 № 2043-st [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 12/16/2016 No. 2043-st] // Ehlektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov : informatsionno-pravovoj portal [Electronic fund of legal and regulatory documents : legal information portal]. – Moscow : Standartinform, 2019. – 15 p. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200142996?ysclid=ls0ihzu23r430452436>.
8. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii [The Urban

Planning Code of the Russian Federation] : Federal'nyj Zakon ot 29.12.2004 № 190-FZ (red. ot 25.12.2023) [Federal Law No. 190-FZ of 12/29/2004 (as amended on 12/25/2023)] : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda : tekst red. ot 01.05.2022, s izm. i dop. vstup. v silu s 01.02.2024 [approved by the Federation Council on December 24, 2004 : text of the ed. from 05/01/2022, with amendments and additions. introduction. effective from 02/01/2024] // Konsul'tatnPlyus : spravочно-pravovaya sistema [ConsultantPlus : legal reference system]. – Moscow, 2023. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/?ysclid=ls0iwwfte495304195.

9. Moiseev, I. A. Analiz algoritmov proektnogo upravleniya v stroitel'stve [Analysis of algorithms for project management in construction] / I. A. Moiseev, M. I. Lvova // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2023. – Vol. 5, No. 10 (67). – Pp. 71–96.
10. Proektnyj menedzhment. Trebovaniya k upravleniyu proektom [Project management. Project management requirements] : GOST R 54869-2011 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [GOST R 54869-2011 : The national standard of the Russian Federation] : utverzhdyon i vvedyon v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 22.12.2011 № 1582-st [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 12/22/2011 No. 1582-st] // Ehlektronnyj fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov : informatsionno-pravovoj portal [Electronic fund of legal and regulatory documents : legal information portal]. – Moscow : Standartinform, 2019. – 11 p. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604?ysclid=ls0irdl5tw539051902>.
11. BS 6079-1:2010. Project management. Principles and guidelines for the management of project / BSI group, Great Britain. – First edition. – 2010. – 87 p.
12. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®) / Project Management Institute (PMI), USA. – Third Edition. – 2013. – 190 p.
13. Walker, A. Project Management in Construction / A. Walker. – Sixth Edition. – United Kingdom : Wiley-Blackwell, 2015. – 353 p.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2024_1_56

Основные факторы, влияющие на пролонгацию межремонтных сроков многоквартирного дома

The Main Factors Influencing the Prolongation of the Renovation Periods of an Apartment Building

Дехтярь Екатерина Владиславовна

Старший преподаватель кафедры «Организация строительства и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, dekhtyarev@mgsu.ru

Dekhtyar Ekaterina Vladislavovna

Senior Lecturer of the Department of Organization of Construction and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, dekhtyarev@mgsu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на пролонгацию межремонтных сроков многоквартирного дома. При помощи теоретических положений и метода системного анализа, метода множественного корреляционно-регрессионного анализа, математического моделирования и экспертной оценки произведён расчёт и выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на периодичность проведения ремонтно-восстановительных работ.

При планировании ремонтных работ необходимо рас-

смотреть все факторы из следующих групп: организационно-технологическая, организационно-техническая и социально-экономическая. Исследование показало, что особое внимание требуется уделить качеству ремонтно-строительных работ, выбору рациональных организационных форм управления проектами восстановительных работ, долговечности применяемых материалов, организации поточного метода выполнения ремонтных работ, техническому контролю жизненного цикла ремонта, сроку службы здания и количеству лет с момента по-

Факторы	Вес фактора
Уровень технической оснащённости ремонтных работ	9,03
Долговечность конструктивных элементов	14,54
Надёжность поставщиков материалов и оборудования	1,82
Технический контроль жизненного цикла ремонта	12,73
Степень сложности проведения ремонтных работ	7,27
Комплексность ремонтно-восстановительных работ	10,91
Координация действий по объёму, месту и времени между последовательно выполняемыми работами	1,85
Фондовооружённость и механовооружённость труда	5,45
Механизация и роботизация при ремонтных работах	3,64
Выполнение контрактных обязательств подрядчиками	0

Табл. 2. Основные факторы, влияющие на пролонгацию межремонтных сроков
Tab. 2. The main factors influencing the prolongation of the inter-repair periods

Этап 1	Создание экспертной комиссии	
	Организационно-технические факторы (n = 10, m = 10)	
Этап 2	Сбор сведений специалистов путём анкетирования (оценку степени значимости параметров эксперты производят путём присвоения им рангового номера)	
Этап 3	Составление сводной матрицы рангов. Построение матрицы переформирования рангов	
	$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n}$	$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2}$ Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы
Этап 4	Анализ значимости исследуемых факторов	
	B2, B4, B6, B1, B5, B8, B9, B7, B10, B3	
Этап 5	Оценка средней степени согласованности мнений всех экспертов	
	$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2 (n^3 - n) - m \cdot \sum T_i}$	$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_i^3 - t_i)$
	W6 = 0,89	
	W6 = 0,89 говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов	
Этап 6	Расчёт векторов приоритетов	
	$K = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)} \cdot 100$ Значения показателя важности мероприятия	
	B1 9,03; B2 14,54; B3 1,82; B4 12,73; B5 7,27; B6 10,91; B7 1,85; B8 5,45; B9 3,64; B10 0	

Рис. 1. Алгоритм анализа влияния выявленных факторов на пролонгацию межремонтных сроков
Fig. 1. Algorithm for analyzing the influence of the identified factors on the prolongation of the inter-repair periods

Результаты

В рамках исследования был проведён анализ судебных разбирательств, в ходе которых суд назначал строительно-техническую экспертизу качества проведения капитальных и текущих ремонтов. Данные судебных дел были взяты из открытого источника сайта «Судебные решения РФ» по Москве и Центральному федеральному округу (таблица 1).

При рассмотрении десяти судебных решений по качеству проведения капитальных и текущих ремонтов автором были выделены основные факторы, влияющие на качество и долговечность таких работ [5]. Далее с привлечением практикующих судебных экспертов у выделенных факторов были определены весовые коэффициенты методом экспертных оценок. Полученные данные приведены в таблице 2.

Для анализа влияния выявленных факторов на пролонгацию межремонтных сроков был применён алгоритм, представленный на рисунке 1.

Построение кривых показателей важности оценочных критериев для выбранных факторов группы А, Б и В представлено на рисунке 2.

Обсуждение

Проведённый расчёт влияния выявленных факторов на пролонгацию межремонтных сроков показал, что наиболее значимыми факторами являются долговечность

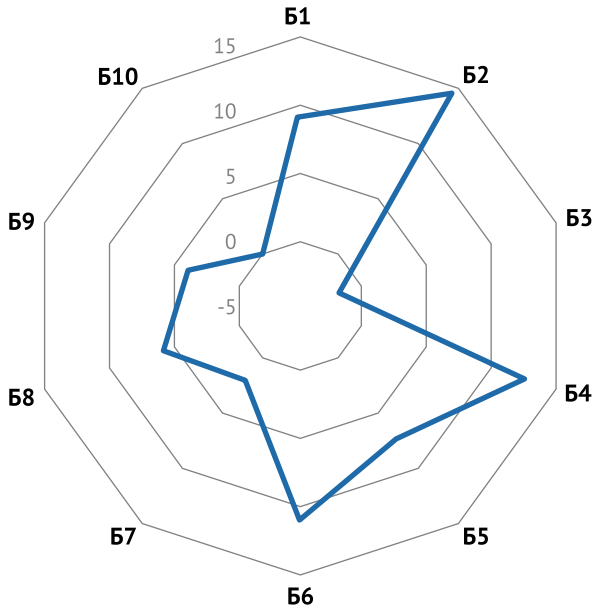


Рис. 2. Показатели важности оценочных критериев для выбранных факторов
Fig. 2. Indicators of the importance of evaluation criteria for selected factors

корреляционно-регрессионного анализа, математического моделирования и экспертной оценки [4].

применяемых материалов, технический контроль жизненного цикла ремонта, комплексность ремонтно-восстановительных работ [6].

Данные факторы были выявлены на основании анализа реальных судебных дел, причиной которых было рассмотрение качества и долговечности строительных работ капитальных и текущих ремонтов [7]. Наличие судебных разбирательств по данной теме говорит о повсеместности и актуальности проблемы. Выявление наиболее значимых факторов – важный шаг на пути решения проблем качества выполнения строительных работ и пролонгации сроков ремонтов [8].

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. Фатуллаев, Р. С. Организационно-технологические решения, обосновывающие проведение внеплановых работ по капитальному ремонту многоквартирных домов / Р. С. Фатуллаев, А. А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 3 (102). – С. 304–307.

3. Шрейбер, К. А. Технология и организация ремонтно-строительного производства / К. А. Шрейбер. – Москва : Издательство АСВ, 2008. – 296 с.

4. Организационно-технологические принципы мониторинга состояния здания на этапе эксплуатации жизненного цикла / С. В. Федосов, А. А. Лapidус, А. Б. Петрухин, Б. Е. Нармания // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 1. – С. 128–137.

5. Мищенко, В. Я. Планирование проведения ремонтно-строительных работ с целью достижения максимального срока эксплуатации строительных объектов / В. Я. Мищенко, Д. А. Драпалюк, Н. А. Понявина // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 9. – С. 28–31.

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. – No. 4. – Pp. 58–64.

2. Fatullaev, R. S. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya, obosnovyvayushhie provedenie vneplanovykh работ 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). – Pp. 304–307.

3. Shreyber, K. A. Tekhnologiya i organizatsiya remontno-stroitel'nogo proizvodstva [Technology and organization of repair and construction production] / K. A. Shreyber. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 296 p.

4. Organizatsionno-tekhnologicheskie printsipy monitoringa sostoyaniya zdaniya na etape ekspluatatsii zhiznennogo tsikla [Organizational and technological principles of monitoring the condition of a building at the stage of operation of the life cycle] / S. V. Fedosov, A. A. Lapidus, A. B. Petrukhin, B. E. Narmaniya // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Pp. 128–137.

5. Mishchenko, V. Ya. Planirovanie provedeniya remontno-stroitel'nykh работ s tselyu dostizheniya maksimal'nogo sroka ek-

Заключение

В ходе исследования был проведён комплексный анализ факторов, определяющих ключевую роль в принятии эффективной стратегии ремонтно-восстановительной программы [9]. В результате исследования можно сделать вывод, что пролонгация межремонтных сроков многоквартирного дома является многогранным процессом, требующим комплексного подхода и учёта множества факторов.

В дальнейшем автором планируется создание алгоритма действий для увеличения межремонтных сроков с учётом всех выделенных факторов проведения строительно-ремонтных работ.

6. Проблемы и мониторинг технического состояния эксплуатируемых объектов недвижимости / Ю. В. Зайнашева, И. А. Блиева, М. А. Пилигина, Е. А. Калашникова // Аллея науки. – 2017. – Т. 2, № 11. – С. 72–75.

7. 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. – Art. 2041.

8. 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)», Paphos, Cyprus, 2017. – 2017. – No. 3 (33) – Pp. 13–18.

9. 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. – Art. 02157.

spluatatsii stroitelnykh obektov [Planning of repair and construction works in order to achieve the maximum service life of construction facilities] / V. Ya. Mishchenko, D. A. Drapalyuk, N. A. Ponyavina // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. – 2010. – No. 9. – Pp. 28–31.

6. Problemy i monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya ehkspluatiruemykh ob'ektov nedvizhimosti [Problems and monitoring of the technical condition of operated real estate objects] / Yu. V. Zainasheva, I. A. Blieva, M. A. Pilyugina, E. A. Kalashnikova // Alleya nauki [Alley of Science]. – 2017. – Vol. 2, No. 11. – Pp. 72–75.

7. 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. – Art. 2041.

8. 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)», Paphos, Cyprus, 2017. – 2017. – № 3 (33) – Pp. 13–18.

9. 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. – Art. 02157.

Повышение качества производства свайных работ за счёт использования информационного моделирования

Improving the Quality of Production of the Piling by Information Modeling

Мищенко Валерий Яковлевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», директор Академии развития строительного комплекса, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, oseun@yandex.ru

Mishchenko Valery Yakovlevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management, Director of Academy of Development of Construction Complex, Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letia Oktyabrya, 84, oseun@yandex.ru

Потехин Игорь Алексеевич

Кандидат экономических наук, менеджер Инновационного бизнес-инкубатора им. проф. Ю. М. Борисова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394028, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, ipotechin@cchgeu.ru

Potekhin Igor Alekseevich

Candidate of Economic Sciences, Manager of the Innovative Business Incubator named after Professor Yu. M. Borisov, Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letia Oktyabrya, 84, ipotechin@cchgeu.ru

Казаков Дмитрий Александрович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, dkazakov@cchgeu.ru

Kazakov Dmitriy Alexandrovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management, Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letia Oktyabrya, 84, dkazakov@cchgeu.ru

Ткаченко Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, tan_k56@mail.ru

Tkachenko Alexander Nikolaevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management, Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letia Oktyabrya, 84, tan_k56@mail.ru

Добросоцких Максим Геннадьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», инженер Академии развития строительного комплекса, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, dobrmax@yandex.ru

Dobrosotskikh Maxim Gennadievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management, Engineer of the Academy of Development of the Construction Complex, Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letia Oktyabrya, 84, dobrmax@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу повышения качества производства свайных работ за счёт расширения использования информационного моделирования процесса погружения свай. Целью исследования является поиск ответов на вопрос о принципиальной возможности и факторах повышения качества производства свайных работ с применением информационного моделирования. В качестве анализируемых данных были рассмотрены источники, в которых упоминались различные по типам материалов и грунтов условия погружения. Объектом исследования в анализируемых источниках являлись результаты математического моделирования пары «свая – грунт» и экспериментальные данные опытов погружения свай

в различных условиях.

Данными для исследования являются отечественные и зарубежные научные статьи по теме лабораторного и компьютерного моделирования процесса погружения свай. Рассматриваются ситуации погружения как в твёрдые скальные грунты, так и в морские песчаные грунты. При анализе данных приоритетного вида свай не выделялось, исследование охватывало как результаты экспериментов с винтовыми сваями, так и с забивными. Полученная информация систематизирована в соответствии с действующей классификацией технологий погружения свай. Качество работ представлено такими параметрами, как бездефектность и точность. На основе выявленных и система-

тизированных факторов были разработаны рекомендации по повышению качества производства свайных работ.

Ключевые слова: производство свайных работ, информаци-

Abstract. This article is devoted to the issue of improving the quality of pile production by expanding the use of information modeling of the pile sinking process. The purpose of the study is to find answers to the question of the fundamental possibility and factors of improving the quality of pile production using information modeling. As the analyzed data, the sources were considered, which mentioned different types of materials and soils of the immersion conditions. The object of research in the analyzed sources was the results of mathematical modeling of the pile-ground pair and experimental data from pile immersion experiments under various conditions.

The data for the study are domestic and foreign scientific articles on the topic of laboratory and computer modeling of the pile

Введение

По итогам работы Второй международной научно-технической конференции памяти профессора Д. М. Шапира «Использование современных моделей в механике грунтов, геотехнических расчётах и фундаментостроении», проходившей 16–18 октября в Воронеже, рядом ведущих учёных данной области и другими участниками были сделаны выводы о необходимости более широкого вовлечения информационного моделирования в геотехнические работы – как исследовательские, так и производственные [1]. Концептуальной целью BIM (информационной модели здания или любого другого объекта строительства) является возможность управления им на протяжении всего его жизненного цикла. В данной статье авторами сделана попытка рассмотреть возможность более широкого применения информационного моделирования для производства свайных работ в контексте пары «свая – грунт». Известны случаи, когда даже при соблюдении технологической карты возникают дефекты уже погруженных свай, проявляющиеся в отклонении от оси, снижении несущей способности, нарушении геометрической формы свай [1; 2]. Задачей расширенного применения информационного моделирования является поиск этих скрытых факторов и нахождение способа управления ими на этапе подготовки производства, а не в ходе производственного процесса погружения свай.

Материалы и методы

При анализе научных трудов по проблеме моделирования погружения свай основная задача – выявить факторы качества и механизмы управления ими. Для этого нами осуществлена систематизация источников в соответствии с классификацией свайных технологий [2]. Рассматривались отечественные и зарубежные источники по проблеме информационного моделирования процесса установки свай. Обобщение информации было реализовано по следующим признакам:

- 1) вид технологии погружения свай;
- 2) объект исследования и моделирования;
- 3) выявленные факторы качества процесса погружения свай.

Авторами источников [3; 4; 5; 6] была исследована технология вдавливаемых и забивных свай. В них отмечались такие объекты исследования: лабораторные исследования на 100 сваях, которые со временем подрезались; «мягкое погружение» с помощью нового оборудования; модель из 10000 циклов погружения свай; сооружение для хранения песка в морском порту г. Роттердам; погру-

онное моделирование свайных работ, факторы качества свайных работ, совершенствование свайных работ.

sinking process. Situations of immersion in both hard rocky soils and marine sandy soils are considered. When analyzing the data, the priority type of piles was not highlighted, the study covered both the results of experiments with screw piles and with driven piles. The information obtained is systematized in accordance with the current classification of pile sinking technologies. The quality of the work is represented by such parameters as defect-free and accuracy. Based on the identified and systematized factors, recommendations were developed to improve the quality of piling operations.

Keywords: production of pile works, information modeling of pile works, factors of quality of pile works, improvement of pile works.

жение морских свай в песчаные грунты в Тайване; установка морских сооружений в Балтийском и Северном морях; установка дополнительных датчиков на сваебойное оборудование; погружение свай с использованием трёхмерного сканирования. В этих работах путём информационного моделирования методом конечных элементов моделью Эйлера типа пара «свая – грунт» были выявлены следующие факторы, влияющие на качество производства свайных работ: коррозия, сила и частота удара или вдавливания по свае, сила трения; контроль вектора силы, последовательность и амплитуда медленных и быстрых частот; накопленные нагрузки на сваю в процессе её погружения; последовательность погружения и взаиморасположение свай; осевое соответствие свай; геометрическая форма концевика сваи.

Авторы источников [7; 8; 9; 10] исследовали технологию винтовых свай. В этих источниках объектами исследования являлись: установка и длительная эксплуатация фундамента морских сооружений на песчаном грунте; глинистый грунт на склоне; фундамент 34-этажного здания; фундамент нефтяных резервуаров в сейсмоактивной зоне. Выявлены с помощью полевых опытов и информационного моделирования (методом конечных элементов, тип модели «центрифугирование») следующие факторы качества погружения винтовых свай: форма (шаг, диаметр) резьбы винтовой сваи; винтовые сваи более прочные, чем бурунабивные; опережение цикличности подъёма и шага резьбы сваи; параметры грунта; крутящий момент вращения сваи и давление на неё; грунтовые воды.

На рисунке 1 приведены модели для технологии погружения винтовых свай, полученные исследователями на компьютере методом конечных элементов, а также составлен прогноз развития производственного процесса с учётом выявленных факторов.

Организационные факторы, выявленные при лабораторном и информационном моделировании, представлены в двух источниках. В одном – авторами [11] сделан анализ рисков процесса погружения свай. В качестве примера выбрана строительная площадка в Саудовской Аравии. Экспертным методом и методом исторического анализа выявлены основные факторы. Рекомендации использованы при организации технологического процесса погружения свай. В рекомендации вошли: размеры запасов, размеры бригад.

Во втором источнике авторами [12] исследовался эффект разницы в качестве материалов и оборудования,

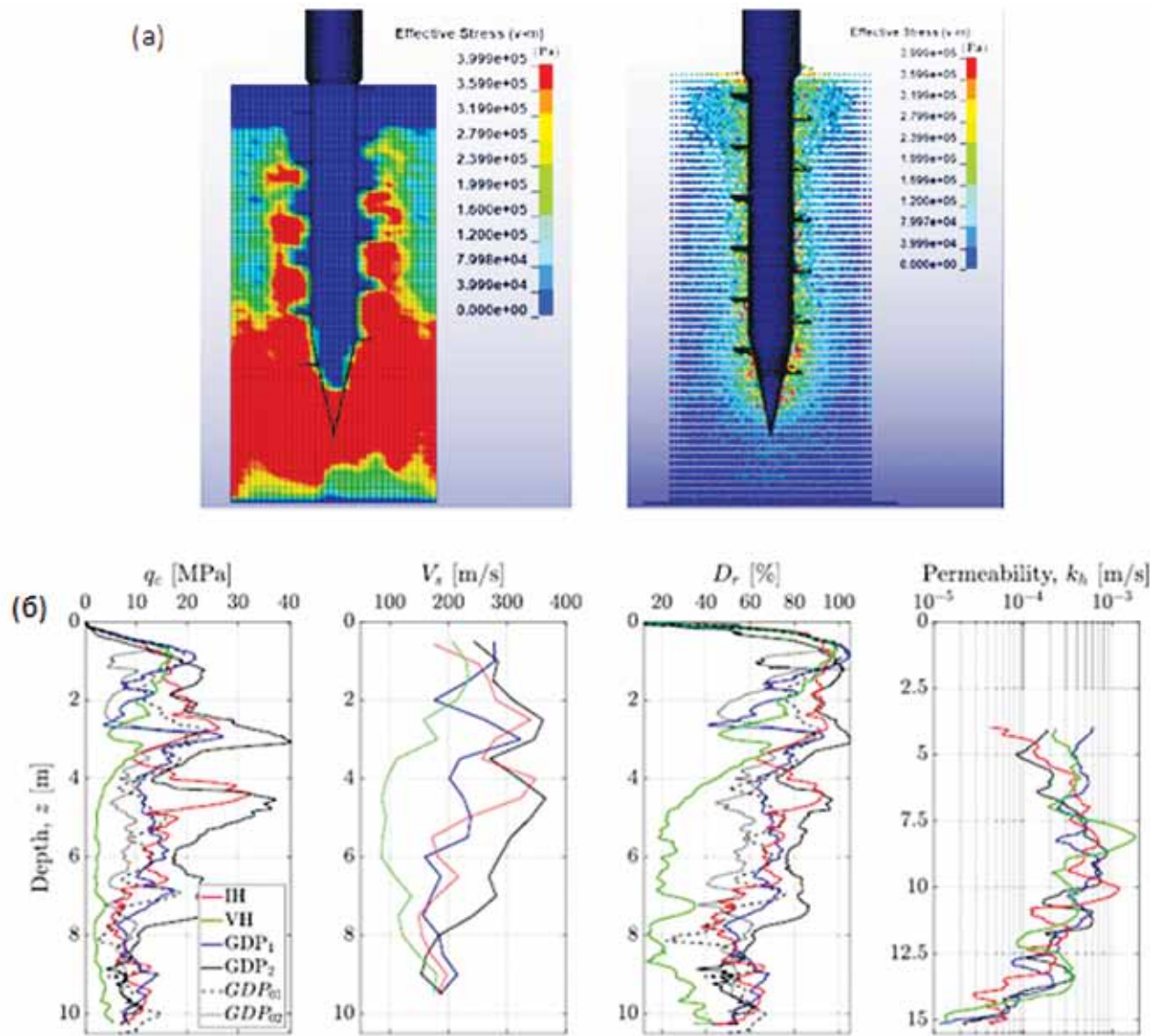


Рис. 1. Информационное моделирование процесса установки свай с помощью метода «центрифугирования» пары свая – грунт (а) и выдача прогнозных параметров производства свайных работ (б). Условные обозначения: *Effective stress* – напряжения в паре свая – грунт; q_c – давление, МПа; V_s – скорость погружения свай, м/с; D_r – отклонение, %; k_h – проницаемость, м/с; z – глубина, м. Источники: [5; 10]

Fig. 1. Information modeling of the pile installation process using the method of "centrifugation" of the pile–ground pair (a) and the output of predictive parameters of pile work (b). Symbols: *Effective stress* – stresses in the pile – soil pair; q_c – pressure, MPa; V_s – pile sinking rate, m/s; D_r – deviation, %; k_h – permeability, m/s; z – depth, m. Source: [5; 10]

поставляемых для процесса установки свай, на конечном результате – несущей способности свайного фундамента. Авторами доказано, что необходимо более тщательно согласовывать поставляемые материалы. В таблице 1 пока-

Технологии свайные	Факторы качества	Возможные дефекты	Систематизация управления факторами
Вдавливаемые	Вибрации, трение, давление, соосность	– Уход от оси – Повреждение свай – Разрыхление и разбивка места свай – Повторная забивка свай	– Датчики удалённого управления – Системы удалённого управления
Забивные (металлические, железобетонные)	Вибрации, трение, давление, соосность	Дополнительные работы по исправлению результатов установки свай	Управление частотой забивки, закручивания, осевой направленности сваебойного инструмента
Винтовые (металлические)	Вибрации, трение, давление, соосность	– Отклонение от оси – Срезание резьбы – Недостаточная несущая способность свай	Управление угловой скоростью завинчивания свай и её отклонением от оси за счёт анализа датчиков ускорений с навесного оборудования
Буронабивные (бетонные или химические)	Вибрации, трение, вязкость раствора	– Недостаточная несущая способность свай – Усиленная эрозия зоны контакта свай с грунтом	Контроль плотности прилегания раствора с грунтом

Табл.1. Анализ технологических факторов процесса погружения свай
Tab.1. Analysis of technological factors of the process of sinking piles

зан анализ выявленных при моделировании технологических факторов процесса погружения свай. В таблице 2 показан анализ организационных факторов свайных работ. Систематизированы способы совер-

Вид геотехнического объекта	Участники процесса	Предметы труда	Средства труда	Контролируемые параметры процесса
Забивная стальная свая в песчаном грунте на суше	Инженер-геотехник 1) моделирует процесс; 2) задаёт и контролирует параметры процесса (качество свай, размер, усилия оборудования, направление и частота вибраций оборудования)	Забивные сваи с различными наконечниками	Датчики параметров работы навесного оборудования с функциями: 1) телеметрии для оператора, 2) управления оборудованием	Вибрации, трение, давление, соосность, твёрдость грунта
Забивная стальная свая в песчаном грунте на море				Давление воды, текучесть грунта
Винтовая свая в песчаном грунте на суше		Винтовые сваи с различными шагами винта	Повышение точности и регулировок работы навесного свайного оборудования	Давление воды, смазываемость грунта
Винтовая свая в песчаном грунте на море				
Железобетонная свая на суше		Железобетонная свая		

Табл.2. Анализ организационных факторов процесса погружения свай
Tab.2. Analysis of organizational factors of the process of sinking piles

шенствования организации свайных работ с учётом факторов.

Результаты
Систематизация и анализ информации, полученной из научных статей по теме моделирования процессов установки свай, позволили выявить следующие закономерности:

- управление качеством установки свай осуществляется за счёт управления и корректировки частотами подачи;
- можно и нужно более точно управлять подачей, но это должен делать специалист;
- за процессом должен следить геотехник, который будет управлять частотой и направлением инструмента;
- необходимо оборудовать рабочие инструменты свайных машин как дополнительными датчиками, так и возможностями управления ими, обратной связью.

Для повышения точности установки свай целесообразно использование моделирования при подготовке производства. Опыт показывает, что при таком подходе решаются следующие задачи:

- выявляются наиболее весомые факторы качества конкретных свайных работ;
- выявляются способы управления факторами качества свайных работ;
- выявляются возможные отрицательные результаты свайных работ при их недостаточно качественном управлении.

На рисунке 2 показана предлагаемая схема усовершенствованной организации процесса производства свайных работ.

Заключение
В ходе обзора отечественного и зарубежного опыта лабораторного и информационного моделирования процесса погружения свай было получено несколько результатов. Первым результатом являются выявленные факторы повышения качества свайных работ. Вторым результатом является сформированный организационно-технологический механизм управления выявленными факторами. Третьим результатом является разработка новых требований к подготовке производства погружения свай.

Механизм управления факторами повышения качества процессов погружения свай представлен следующими основными принципами:

- моделирование позволяет повысить точность погружения, так как предупреждаются моменты перекосов и других проблем;
 - необходимо осуществлять численное моделирование перед организацией процесса погружения свай для выявления возможных дефектов полученного свайного поля.
- При подготовке производства свайных работ необходимо руководствоваться следующими новыми положениями:
- в процесс установки свай необходимо включить специалиста-геотехника, который должен управлять навесным оборудованием при погружении свай;
 - осуществлять онлайн-мониторинг и корректировку работы сваебойного оборудования и машиниста.

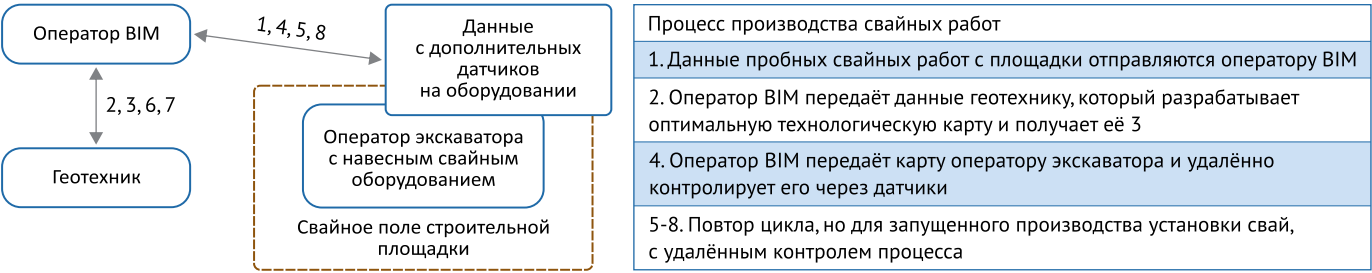


Рис. 2. Предлагаемая схема усовершенствованной организации процесса установки свай
Fig. 2. Offered scheme of piling process improvement

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Мартirosян, З. Г. Осадка и длительная несущая способность свай с учетом реологических свойств грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян, А. З. Тер-Мартirosян, Л. Ю. Ермошина // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 5–15.

2. Ткаченко, А. Н. Обоснование технологических параметров устройства свай-колонн при возведении подземных зданий / А. Н. Ткаченко, Д. Г. Жданова // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 2 (6). – С. 135–138.

3. A centrifuge study into the installation response of steel,

open-ended, tubular piles, dynamically driven using prolonged impulses / T. Quinten, Ch. Ioannou, A. Askarinejad, M. A. Cabrera, K. Gavin. – DOI 10.59490/seg.2023.618 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

4. Ciantia, M. O. On the installation effects of open ended piles in chalk / M. O. Ciantia. –DOI 10.59490/seg23.2023.601 // Symposium on Energy Geotechnics Accelerating the energy transition. – 2023.

5. Тер-Мартirosян, З. Г. Осадка и длительная несущая способность свай с учетом реологических свойств грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян, А. З. Тер-Мартirosян, Л. Ю. Ермошина // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 5–15.

2. Ткаченко, А. Н. Обоснование технологических параметров устройства свай-колонн при возведении подземных зданий / А. Н. Ткаченко, Д. Г. Жданова // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 2 (6). – С. 135–138.

3. A centrifuge study into the installation response of steel, open-ended, tubular piles, dynamically driven using prolonged impulses / T. Quinten, Ch. Ioannou, A. Askarinejad, M. A. Cabrera, K. Gavin. – DOI 10.59490/seg.2023.618 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

4. Ciantia, M. O. On the installation effects of open ended piles in chalk / M. O. Ciantia. –DOI 10.59490/seg23.2023.601 // Symposium on Energy Geotechnics Accelerating the energy transition. – 2023.

5. Hang, Zh. Ultimate Lateral Pressure of Circular Pile in Undrained Clay Considering the Strength Reduction Induced by Pile Installation / Zh. Hang, Z. Wang, L. L. Han. –DOI 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002323 // International Journal of Geomechanics. – Vol. 22, Iss. 4. – 2021.

6. Sadeghi, H. Casting and installation of segmental precast quadratic concrete driven geothermal energy piles / H. Sadeghi, R. M. Singh. – DOI 10.59490/seg23.2023.498 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

REFERENCES

1. Ter-Martirosyan, Z. G. Osadka i dlitel'naya nesushhaya sposobnost' svai s uchetom reologicheskikh svoystv gruntov [Sedimentation and long-term bearing capacity of piles taking into account rheological properties of soils] / Z. G. Ter-Martirosyan, A. Z. Ter-Martirosyan, L. Y. Yermoshina // Construction and Geotechnics [Construction and Geotechnics]. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – Pp. 5–15.

2. Tkachenko, A. N. Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov ustrojstva svaj-kolonn pri vozvedenii podzemnykh zdaniy [Substantiation of technological parameters of the pile-column device in the construction of underground buildings] / A. N. Tkachenko, D. G. Zhdanova // Stroitel'stvo i nedvizhimost' [Construction and real estate]. – 2020. – No. 2 (6). – Pp. 135–138.

3. A centrifuge study into the installation response of steel, open-ended, tubular piles, dynamically driven using prolonged impulses / T. Quinten, Ch. Ioannou, A. Askarinejad, M. A. Cabrera, K. Gavin. – DOI 10.59490/seg.2023.618 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

4. Ciantia, M. O. On the installation effects of open ended piles in chalk / M. O. Ciantia. –DOI 10.59490/seg23.2023.601 // Symposium on Energy Geotechnics Accelerating the energy transi-

7. Filho, J. M. Contribution for a root pile installation control approach using a digital odometer / J. M. Filho, A. S. Moura, F. F. Monteiro. –DOI 10.28927/SR.2022.077121 // Soils and Rocks. – 2022. – Vol. 45, No. 3. – Pp. 1–10.

8. Cerfontaine Benjamin. Effects of installation advancement ratio on cyclic uplift response of a single-helix screw pile: experimental and numerical investigation in sand / W. Wang, M. J. Brown, M. O. Ciantia, Y. Sharif, C. Davidson. – DOI 10.59490/seg.2023.615 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

9. Dijkstra, J. Eulerian simulation of the installation process of a displacement pile / J. Dijkstra, W. Broere, A. Frits van Tol. – DOI 10.1061/41022(336)18 // Geotechnical Special Publication. – 2009.

10. Evaluation of Pile Driving Effects on Slope Stability in Clay / Y. Attari, H. P. Jostad, G. Grimstad, G. R. Eiksund. – DOI 10.1007/s10706-023-02636-w // Geotechnical and Geological Engineering. – 2023. – Vol. 42. – Pp. 1623–1638.

11. Risk Interdependency Network Model for the Cost and Time of Pile Installation in Saudi Arabia, Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling / N. M. Alsanabani, Kh. S. Al-Gahtani, A. S. Almohsen, A. Alsharef. – DOI 10.3390/app131910886 // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, Iss. 19. – Art. 10886.

12. Gentle Driving of Piles (GDP) at a sandy site combining axial and torsional vibrations: Part II - cyclic/dynamic lateral loading tests / E. Kementzetzidis, F. Pisanò, A. S. K. Elkadi, A. Tsouvalas, A. Metrikine. – DOI 10.1016/j.oceaneng.2022.113452 // Ocean Engineering. – 2023. – Vol. 270 (10). – Art. 113452.

Hang, Zh. Ultimate Lateral Pressure of Circular Pile in Undrained Clay Considering the Strength Reduction Induced by Pile Installation / Zh. Hang, Z. Wang, L. L. Han. –DOI 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002323 // International Journal of Geomechanics. – Vol. 22, Iss. 4. – 2021.

tion. – 2023.

5. Hang, Zh. Ultimate Lateral Pressure of Circular Pile in Undrained Clay Considering the Strength Reduction Induced by Pile Installation / Zh. Hang, Z. Wang, L. L. Han. –DOI 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002323 // International Journal of Geomechanics. – Vol. 22, Iss. 4. – 2021.

6. Sadeghi, H. Casting and installation of segmental precast quadratic concrete driven geothermal energy piles / H. Sadeghi, R. M. Singh. – DOI 10.59490/seg23.2023.498 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

7. Filho, J. M. Contribution for a root pile installation control approach using a digital odometer / J. M. Filho, A. S. Moura, F. F. Monteiro. –DOI 10.28927/SR.2022.077121 // Soils and Rocks. – 2022. – Vol. 45, No. 3. – Pp. 1–10.

8. Cerfontaine Benjamin. Effects of installation advancement ratio on cyclic uplift response of a single-helix screw pile: experimental and numerical investigation in sand / W. Wang, M. J. Brown, M. O. Ciantia, Y. Sharif, C. Davidson. – DOI 10.59490/seg.2023.615 // Symposium on Energy Geotechnics. – 2023.

9. Dijkstra, J. Eulerian simulation of the installation process of a displacement pile / J. Dijkstra, W. Broere, A. Frits van Tol. – DOI 10.1061/41022(336)18 // Geotechnical Special Publication. – 2009.

10. Evaluation of Pile Driving Effects on Slope Stability in Clay / Y. Attari, H. P. Jostad, G. Grimstad, G. R. Eiksund. – DOI 10.1007/s10706-023-02636-w // Geotechnical and Geological Engineering. – 2023. – Vol. 42. – Pp. 1623–1638.

11. Risk Interdependency Network Model for the Cost and Time of Pile Installation in Saudi Arabia, Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling / N. M. Alsanabani, Kh. S. Al-Gahtani, A. S. Almohsen, A. Alsharef. – DOI 10.3390/

УДК 69.003

Развитие интеграционных процессов в контексте повышения уровня оснащённости строительства

Development of Integration Processes in the Context of Increasing the Level of Construction Equipment

Лapidус Азaрий Абрамович

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

Тускаева Залина Руслановна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Строительное производство», декан Архитектурно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» (СКГМИ (ГТУ)), Россия, 362021, Республика Северная Осетия – Алания, Владикавказ, улица Николаева, 44, tuskaevazalina@yandex.ru

Tuskaeva Zalina Ruslanovna

Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Architecture and Construction, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, tuskaevazalina@yandex.ru

Аннотация. Одна из проблем, с которыми столкнулся современный строительный комплекс, – недостаточность технической оснащённости на фоне высокого процента изношенной техники, эксплуатации устаревших образцов и др. Ситуация схожа во многих субъектах Российской Федерации и незначительно отличается по отдельным регионам.

Решение проблемы авторами видится в развитии интеграции, позволяющей осуществлять концентрацию техники, что обеспечит её рациональное применение за счёт повышения времени использования.

Рекомендуется частично расширение существующих и создание специализированных интегрированных, хорошо оснащённых строительной техникой структур. Структура должна

Abstract. One of the problems faced by the modern construction complex is the lack of technical equipment based on a high percentage of worn-out equipment, the operation of outdated models, etc. The situation is similar in many constituent entities of the Russian Federation, differs slightly in individual regions.

The authors see a solution to the problem in the development of integration, which allows for the concentration of equipment, which will ensure its rational use by increasing the time of use.

It is recommended to partially expand existing structures and create specialized structures well equipped with construction equipment. It should include departments specializing in various

Введение

Строительство – это отрасль народного хозяйства, в которой задействованы достаточно разнообразные по назначению машины и механизмы, а также средства малой механизации. Учитывая нарастающий объём выпол-

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО № 1 (49) 2024

app131910886 // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, Iss. 19. – Art. 10886.

12. Gentle Driving of Piles (GDP) at a sandy site combining axial and torsional vibrations: Part II - cyclic/dynamic lateral loading tests / E. Kementzetzidis, F. Pisanò, A. S. K. Elkadi, A. Tsouvalas, A. Metrikine. – DOI 10.1016/j.oceaneng.2022.113452 // Ocean Engineering. – 2023. – Vol. 270 (10). – Art. 113452.

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_65

включать управления, специализирующиеся на различных видах техники, ремонтно-техническую базу, отдел закупок техники для принятия рациональных и обоснованных решений по разовой и оптовым покупкам, логистический центр, рационально распределяющий по времени машины и механизмы между объектами на основе поточных методов.

Для реализации идеи по созданию интегрированных структур, обеспечивающих строительство необходимой техникой, требуется реализация определённых мер, которые обозначили авторы статьи.

Ключевые слова: организационные формы эксплуатации машин, базы механизации, интегрированные строительные формирования.

types of equipment, a repair and technical base, an equipment purchasing department for making rational and informed decisions on one-time wholesale purchases, a logistics center that rationally distributes machines and mechanisms between objects based on flow methods.

To implement the idea of creating integrated structures that provide construction with the necessary equipment, it is necessary to implement certain measures that the authors of the article outlined.

Keywords: organizational forms of machine operation, mechanization bases, integrated construction formations.

няемых строительных работ, согласно статистическим данным по РСО – Алания (см. таблицы 1–4), в вопросах технической оснащённости существуют определённые проблемы. Об этом свидетельствует высокий процент изношенной техники, приведённый в таблицах 2 и 3. Про-

Годы	Млн руб., в фактических ценах	В процентах в сопоставимых ценах к предыдущему году
2010	12944	100
2014	20953	154
2020	17629	76
2021	16694	96
2022	218432	124

Табл. 1. Объём работ по строительству (PCO – Алания)
Tab. 1. Scope of construction work (RNO – Alania)

блема усугубляется и тенденцией, связанной с ростом числа малых организаций численностью до 100 человек (см. таблицу 4) [1].

Материалы и методы

Техническая оснащённость строительства находилась в поле зрения многих учёных и исследователей: Асаула В. В., Абдразакова Ф. К., Горюнова Д. Г., Канторера С. Е., Колегаева Р. Н., Панкратова Е. П., Панкратова О. Е., Репина С. В., Савельева А. В., Салихова Р. Ф., Скиданова Н. В.

Общий обзор и анализ производственно-хозяйственной деятельности ряда строительных организаций на территории PCO – Алания убедили в необходимости проведения более детальных исследований по рассматриваемой тематике в сложившихся современных условиях.

Один из факторов своевременного выполнения работ с оптимальными затратами – это наличие, состояние и вид применяемой строительной техники. Поэтому вопросы планирования и управления парком строительной техники должны быть как в поле зрения практической деятельности, так и научных исследований.

Для решения рассматриваемой проблемы авторы использовали статистический, аналогий, абстрактно-логический методы исследования.

Результаты

Рациональное использование строительной техники за счёт снижения эксплуатационных издержек – один из факторов снижения себестоимости. Высокий процент изношенной техники препятствует этому процессу [2; 3; 4; 5].

Основная проблема в использовании изношенной техники заключается в резком падении производительности труда – основополагающем факторе эффективности любого производства, в том числе и строительства.

Наименование	Год					
	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Удельный вес полностью изношенных основных фондов, в % от общего объёма основных фондов	7,4	5,7	1,7	2,9	57,9	64,1

Табл. 2. Основные фонды строительных организаций (по PCO – Алания)
Tab. 2. Fixed assets of construction organizations (for North Ossetia – Alania)

	Процент машин с истекшим сроком						
	2000	2010	2017	2018	2019	2020	2021
Экскаваторы одноковшовые	50	58	63	60	53	86	77
Бульдозеры на тракторах	42	68	52	67	56	47	60
Краны башенные	76	62	100	–	–	–	–
Краны на автомобильном ходу	49	50	57	57	57	46	77
Краны на гусеничном ходу	50	100	100	–	50	–	–
Тракторы	45	61	72	100	100	100	100

Табл. 3. Данные о состоянии отдельных видов парка строительных машин (по PCO –Алания)
Tab. 3. Data on the state of certain types of construction machinery fleet (for North Ossetia –Alania)

Год	Общее количество организаций строительной сферы	Малые организации (численностью до 100 чел.)
2000	444	410
2010	731	718
2019	556	541
2020	668	661
2021	706	693

Табл. 4. Численность строительных организаций (по территории PCO – Алания)

Tab. 4. Number of construction organizations (across the territory of North Ossetia – Alania)

Показатель	2005	2021	2022
Основные фонды, млрд руб.	264,3	1747,8	2335,2
Структура основных фондов, в % на конец года:			
Машины, оборудование	42,0	35,0	32,0
Степень износа на конец года, в %	42,0	46,4	45,6
Удельный вес полностью изношенных основных фондов, в % от общего их объёма	12,2	15,0	15,0

Табл. 5. Основные фонды организаций строительной отрасли по РФ

Tab. 5. Fixed assets of Construction organizations

По истечении десятилетнего срока выработка экскаватора снижается приблизительно в пределах сорока – пятидесяти процентов (почти в два раза), крана (башенного) – в пределах двадцати пяти – тридцати пяти процентов [6].

При анализе статистических данных по РФ обнаружили следующие тенденции (см. таблицы 5, 6) в использовании парка строительных машин, хотя некоторые отличия всё же существуют по отдельным регионам (см. таблицы 1–4).

В целом по строительному комплексу сохраняется тенденция многочисленности мелких строительных организаций. Это, пожалуй, самый весомый фактор, влияющий на общую обеспеченность отрасли машинами и механизмами.

Решение этой проблемы следует искать в концентрации и централизованном использовании техники [6; 7; 8; 9].

Крупные интегрированные структуры – центры технического оснащения строительства (ЦТОС) – обеспечат больший эффект, так как создадут условия для развития как материальной составляющей технического оснащения, так и трудовой составляющей, и инфраструктуры

№ п. п.	Наименование	2022		Удельный вес машин с истекшим сроком службы, в %	
		Всего, тыс. шт.	В том числе зарубежного производства, тыс. шт.	2010	2022
1	Экскаваторы	12,9	9,9	37,3	29,8
2	Скреперы	0,1	0,0	64,2	57,1
3	Краны башенные	2,4	1,1	55,8	35,3
4	Краны автомобильные	7,0	2,7	41,4	32,9

Табл. 6. Наличие и состояние основных строительных машин в действующих строительных организациях по РФ
Tab. 6. Availability and condition of basic construction machines in existing construction organizations

(см. рисунок 1).

Деятельность интегрированных специализированных структур открывает гораздо больше возможностей:

- рационально формирует комплекты машин,
- обеспечивает повышение сменности работы и коэффициента использования машин по времени,
- расширяет номенклатуру используемых видов техники,
- увеличивает коэффициенты обновления и выбытия,
- улучшает условия эксплуатации, включая текущие и капитальный ремонты [10; 11; 12; 13].

В российской практике существуют различные организационные формы эксплуатации строительной техники: на балансе строительной организации; в составе подразделения механизации, входящего в структуру организации; самостоятельные предприятия механизации; лизинг и аренда.

Следует также подчеркнуть, что все эти формы могут и должны существовать параллельно, так как условия функционирования строительных организаций, объёмы, специфика работ могут отличаться.

Однако современная практика показывает, что наиболее эффективным подходом становится наличие крупных организационных структур, занимающихся вопросами организации механизированных работ. Проведённые исследования на площадках ряда строительных организаций, баз механизации на территории PCO – Алания позволили получить следующие данные:

- коэффициент повышения сменности работы в крупных организациях выше в пределах 25–45 %;
- коэффициент использования машинного времени выше в пределах 0,16–0,27.

В условиях цифровизации информационное обеспечение интегрированных структур имеет особо важное значение. Оно должно охватывать поступление информации об объёмах работ, сроках их исполнения и на основе корректного анализа осуществлять планирование и регулирование потоков строительной техники между объектами или организациями, иметь полную информацию о парке строительной техники, о её состоянии и технических возможностях [14; 15; 16; 17].

Содержательная часть, элементы информационного центра представлены на рисунке 2.

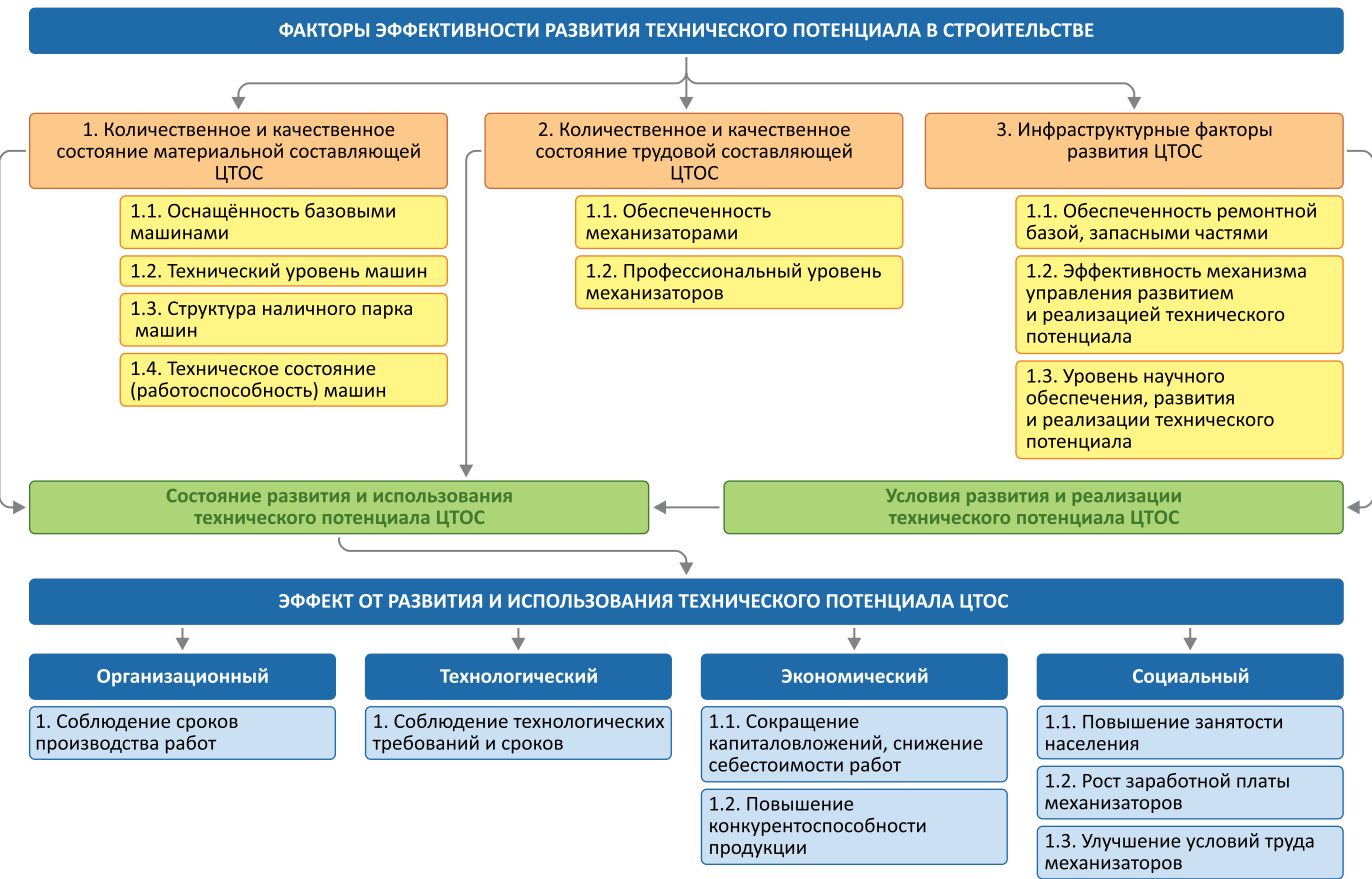


Рис. 1. Эффекты от деятельности интегрированных структур в строительстве
Fig.1. Effects from the activities of integrated structures in construction

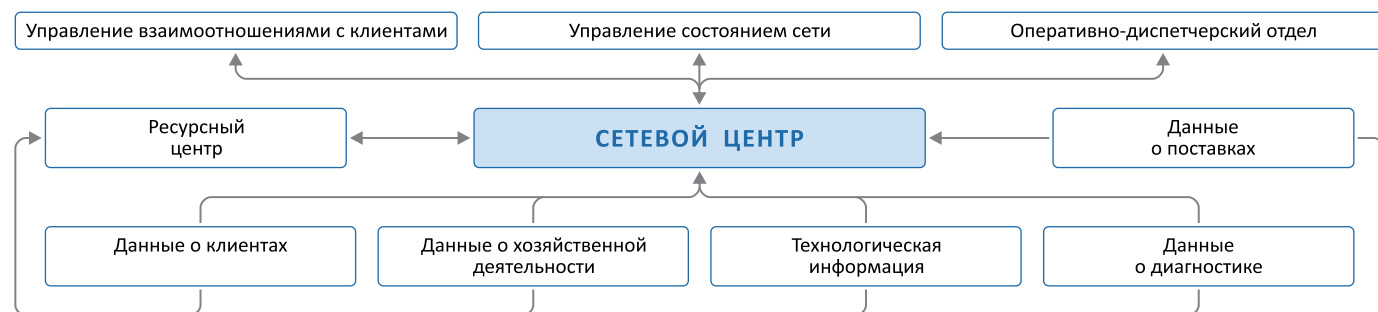


Рис. 2. Структура информационного центра
Fig. 2. Information center structure

Обсуждение

Чтобы идея создания и совершенствования деятельности предприятий механизации регионального уровня как перспективного направления повышения технической оснащённости имела развитие, требуются определённые меры [18; 19; 20]:

- предусмотреть в федеральном и региональных бюджетах расходы на развитие сети развитых интегрированных предприятий механизации;
- рекомендуется рассмотреть возможность установления сроков выплаты финансового лизинга, приближающегося к сроку амортизации машин, а первоначального взноса – в размере 8–10 % от цены. Это позволит значительно обновить парк строительной техники;

– при создании центров технического оснащения строительства стремиться превратить их в центры передовой техники и технологии.

Заключение

Приведённые статистические данные за продолжительный период времени требуют развития форм использования строительной техники. На взгляд авторов, для решения проблем технической оснащённости рациональное всего – суммарное повышение доли крупных интегрированных структур, обеспечивающих наиболее рациональные подходы к использованию строительной техники и создающих предпосылки для роста общего уровня механизации строительной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Республика Северная Осетия – Алания в цифрах : Краткий статистический сборник / Росстат. – Владикавказ, 2023. – 140 с.
2. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация формирования парков машин и распределения техники по производственным объектам / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. – 2002. – № 3. – С. 12–14.
3. Асаул, В. В. Анализ конкурентного рынка строительных работ и услуг / В. В. Асаул // Экономика строительства. – 2005. – № 1. – С. 14–25.
4. Каменецкий, М. И. Инвентаризация и переоценка производственных фондов на основе модернизации строительства / М. И. Каменецкий, М. Ф. Костецкий // Экономика строительства. – 2010. – № 4. – С. 17–22.
5. Панкратов, Е. П. Проблемы повышения производственного потенциала предприятий строительного комплекса / Е. П. Панкратов, О. Е. Панкратов // Экономика строительства. – 2015. – № 3 (33). – С. 4–17.
6. Репин, С. В. Механизация строительных работ и проблемы, связанные с использованием строительной техники / С. В. Репин, А. В. Савельев // Строительная техника. – 2006. – С. 31–35.
7. Вошанов, П. И. Сбалансированность планов строительного производства с мощностями строительных организаций / П. И. Вошанов. – Москва : Стройиздат, 1993. – 142 с.
8. Двизов, Д. А. Различные методы повышения эффективности использования машинного парка предприятий и организаций / Д. А. Двизов, Н. В. Скиданов // X Межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов г. Волжского (г. Волжский, 2004 г.) : Сборник материалов конференции. – Волжский : ВГТУ, ВПИ, 2004. – С. 4–5.
9. Иванов, В. Н. Повышение эффективности производственной и технической эксплуатации парка дорожно-строительных машин / В. Н. Иванов, Р. Ф. Салихов // Омский научный вестник. – Омск : ОмГТУ, 2004. – № 1. – С. 92–94.
10. Конторер, С. Е. Строительные машины и экономика их применения (детали, конструкции и экономика применения машин) / С. Е. Конторер. – Москва : Высшая школа, 1973. – 528 с.
11. Колегаев, Р. Н. Экономическая оценка качества и оптимизации ремонта машин / Р. Н. Колегаев. – Москва : Машиностроение, 1980. – 239 с.
12. Тускаева, З. Р. Формирование центров технической оснащённости строительства / З. Р. Тускаева // Вестник МГСУ. – 2016. – № 9. – С. 75–85.
13. Tuskava, Z. R. Criteria for the building machinery units alternatives / Z. R. Tuskava // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – No. 6. – Pp. 4369–4376.
14. Tuskava, Z. R. Software Product Development for the construction equipment selection / Z. R. Tuskava, G. Aslanov // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – Pp. 1184–1191.
15. Липидус, А. А. Инструмент оперативного управления производством – интегральный потенциал эффективности организационно-технологических и управленческих решений строительного объекта / А. А. Липидус // Вестник МГСУ. – 2015. – № 1. – С. 97–100.
16. Липидус, А. А. Формирование интегрального потенциала организационно-технологических решений посредством декомпозиции основных элементов строительного проекта / А. А. Липидус // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 114–123.
17. Липидус, А. А. Оценка организационно-технологического потенциала строительного проекта, формируемого на основе информационных потоков / А. А. Липидус, А. О. Фельдман // Вестник МГСУ. – 2015. – № 11. – С. 193–201.
18. Мальцев, Ю. А. Оптимизация работы мобильных парков машин в дорожном строительстве с применением экономико-математических моделей / Ю. А. Мальцев, А. В. Мясников // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4. – С. 21–23.

19. Уварова, С. С. Экономическая устойчивость строительных предприятий и проектов / С. С. Уварова, С. В. Беляева, В. С. Канхва. – Москва : МГСУ, 2011. – 154 с.

20. Tuskava, Z. One of the criteria for selecting a contractor for

REFERENCES

1. Respublika Severnaya Osetiya – Alaniya v tsifrakh : Kratkij statisticheskiy sbornik [The Republic of North Ossetia – Alania In numbers : A short statistical collection] / Rosstat. – Vladikavkaz, 2023. – 140 p.
2. Abdrazakov, F. K. [Optimization of the formation of machine parks and the distribution of equipment for production facilities] Optimizatsiya formirovaniya parkov mashin i raspredeleniya tekhniki po proizvodstvennym ob'ektam / F. K. Abdrazakov, D. G. Goryunov // Mekhanizatsiya stroitel'stva [Construction Mechanization]. – 2002. – No. 3. – Pp. 12–14.
3. Asaul, V. V. Analiz konkurentnogo rynka stroitel'nykh rabot i uslug [Analysis of the competitive market for construction works and services] / V. V. Asaul // Ehkonomika stroitel'stva [Construction Economics]. – 2005. – No. 1. – Pp. 14–25.
4. Kamenetsky, M. I. Inventarizatsiya i pereotsenka proizvodstvennykh fondov na osnove modernizatsii stroitel'stva [Inventory and revaluation of production assets based on the modernization of construction] / M. I. Kamenetsky, M. F. Kostetsky // Ehkonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2010. – No. 4. – Pp. 17–22.
5. Pankratov, E. P. Problemy povysheniya proizvodstvennogo potentsiala predpriyatij stroitel'nogo kompleksa [Problems of Increasing the Production Potential of Building Complex Enterprises] // Ehkonomika stroitel'stva [Construction Economics]. – 2015. – No. 3 (33). – Pp. 4–17.
6. Repin, S. V. Mekhanizatsiya stroitel'nykh rabot i problemy, svyazannye s ispol'zovaniem stroitel'noy tekhniki [Mechanization of construction works and problems associated with the use of construction equipment] / S. V. Repin, A. V. Savel'ev // Stroitel'naya tekhnika [Construction machinery]. – 2006. – Pp. 31–35.
7. Voshchanov, P. I. Sbalansirovannost' planov stroitel'nogo proizvodstva s moshnostyami stroitel'nykh organizatsij [Balancing the plans of construction production with the capacities of construction organizations] / P. I. Voshchanov. – Moscow : Strojizdat, 1993. – 142 p.
8. Dvizov, D. A. Razlichnye metody povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya mashinnogo parka predpriyatij i organizatsij [Various methods of improving the efficiency of using the machine park of enterprises and organizations] / D. A. Dvizov, N. V. Skidanov // X Mezhvuzovskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov g. Volzhskogo (g. Volzhskij, 2004 g.) : Sbornik materialov konferentsii [X Interuniversity scientific and practical conference of young scientists and students of Volzhsky (Volzhsky, 2004) : Collection of conference materials]. – Volzhsky : VSTU, VPI, 2004. – Pp. 4–5.
9. Ivanov, V. N. Povyshenie ehffektivnosti proizvodstvennoj i tekhnicheskoy ehkspluatatsii parka dorozhno-stroitel'nykh mashin [Improving the efficiency of production and technical operation of the fleet of road-building machines] / V. N. Ivanov, R. F. Salikhov // Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]. – Omsk : OmSTU, 2004. – No. 1. – Pp. 92–94.
10. Kontorer, S. E. Stroitel'nye mashiny i ehkonomika ikh primeneniya (detali, konstruksii i ehkonomika primeneniya mashin) [Construction machines and the economics of their use (details, structures and economics of the use of machines)]. / S. E. Kontorer. – Moscow : Vysshaya shkola, 1973. – 528 p.
11. Kolegaev, R. N. Ehkonomicheskaya otsenka kachestva i optimizatsii remonta mashin [Economic evaluation of the quality and optimization of machine repair]. / R. N. Kolegaev. – Moscow : Mashinostroenie, 1980. – 239 p.
12. Tuskava, Z. R. Formirovanie tse ntrov tekhnicheskoy osnashennosti stroitel'stva [Formation of centers of technical equipment of construction] / Z. R. Tuskava // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – No. 9. – Pp. 75–85.
13. Tuskava, Z. R. [Criteria for the building machinery units alternatives] / Z. R. Tuskava // [International Journal of Applied Engineering Research]. – 2016. – No. 6. – Pp. 4369–4376.
14. Tuskava, Z. R. [Software Product Development for the construction equipment selection] / Z. R. Tuskava, G. Aslanov // [Procedia Engineering]. – 2016. – Vol. 165. – Pp. 1184–1191.
15. Lapidus, A. A. Instrument operativnogo upravleniya proizvodstvom – integral'nyj potentsial ehffektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh i upravlencheskikh reshenij stroitel'nogo ob'ekta [A tool for operational management of production - an integral potential for the effectiveness of organizational, technological and managerial decisions of a construction object] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2015. – No. 1. – Pp. 97–100.
16. Lapidus, A. A. Formirovanie integral'nogo potentsiala organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij posredstvom dekompozitsii osnovnykh ehlementov stroitel'nogo proekta [Formation of the integral potential of organizational and technological solutions through the decomposition of the main elements of the construction project] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – No. 12. – Pp. 114–123.
17. Lapidus, A. A. Otsenka organizatsionno-tekhnologicheskogo potentsiala stroitel'nogo proekta, formiruemogo na osnove informatsionnykh potokov [Assessment of the organizational and technological potential of a construction project, formed on the basis of information flows] / A. A. Lapidus, A. O. Feldman // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2015. – No. 11. – Pp. 193–201.
18. Maltsev, Y. A., Myasnikov A. V. Optimizatsiya raboty mobil'nykh parkov mashin v dorozhnom stroitel'stve s primeneniem ehkonomiko-matematicheskikh modelej [Optimization of the work of mobile fleets of machines in road construction using economic and mathematical models] / Y. A. Maltsev, A. V. Myasnikov // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli [Science and technology in the road industry]. – 2008. – No. 4. – Pp. 21–23.
19. Uvarova, S. S. Ehkonomicheskaya ustojchivost' stroitel'nykh predpriyatij i projektov [Economic sustainability of construction enterprises and projects] / S. S. Uvarova, S. V. Belyaeva, V. S. Kanhwa. – Moscow : MGSU, 2011. – 154 p.
20. Tuskava, Z. [One of the criteria for selecting a contractor for high-rise construction] / Z. Tuskava, T. Tagirov // High-Rise Construction 2017 : E3S Web of Conferences. – 2018. – Vol. 33. – Pp. 03071. – URL: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303071>.

Распределение основных функций технического заказчика по этапам жизненного цикла строительства объекта

Distribution of the Main Functions of the Technical Customer by Stages of the Object Construction Life Cycle

Топчий Дмитрий Владимирович

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

Topchiy 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@ mgsu.ru

Токарский Андрей Ярославович

Кандидат технических наук, руководитель Органа инспекции, Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве» (ГБУ «ЦЭИИС»), Россия, 109052, Москва, Рязанский проспект, 13, 89253221611@mail.ru

Tokarskiy Andrey Yaroslavovich

Candidate of Engineering Sciences, Head of the Inspection Body, State Budgetary Institution of Moscow «Center for Expertise, Research and Testing in Construction» (SBI «CERTC»), Russia, 109052, Moscow, Ryazansky prospekt, 13, 89253221611@mail.ru

Лавреняк Илья Вячеславович

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

Lavrenyak Ilya Vyacheslavovich

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

Газдаров Арсен Аланович

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

Gazdarov Arsen Alanovich

Graduate student, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, guazdart@mail.ru

Аннотация. Цель: определение этапов жизненного цикла возведения объекта капитального строительства, влияющих на введение объекта в эксплуатацию и распределение базовых функций технического заказчика по данным этапам.

Методы: систематизация и анализ данных о текущем состоянии и методологических основах процесса приёмки в эксплуатацию зданий, синтез, сравнение, группировка, обобщение, абстракция, индукция и дедукция.

Результаты: в процессе исследования представлены особенности и основные сложности, которые характерны для введения объекта в эксплуатацию. Также отмечено, что на сегодняшний день существует неясность и фрагментарность рекомендаций в отношении использования научно обоснованного принципа формирования организационной структуры и разработки организационно-технических решений, которые необходимо осуществлять техническому заказчику для того, чтобы своевременно ввести объект в эксплуатацию. В данном

Abstract. Objective: to determine the stages of the life cycle of construction of a capital construction object that affect the commissioning of the object and the distribution of the basic functions of the ACA by these stages.

Methods: systematization and analysis of data on the current state and methodological basis of the commissioning process, analysis, synthesis, comparison, grouping, generalization, abstrac-

контексте в статье выделены базовые функции технического заказчика. Кроме того, определены этапы жизненного цикла возведения объекта капитального строительства и представлено распределение действий и задач технического заказчика в разрезе каждого из этих этапов.

Выводы: процесс приёмки в эксплуатацию объектов строительства должен быть чётко разделён на конкретные этапы. В рамках каждого из этих этапов следует подробно описать, определить и установить для технического заказчика и других сторон шаги, задачи, обязанности и мероприятия, которые должны быть выполнены, чтобы обеспечить проведение, завершение и документирование ввода в эксплуатацию здания в структурированной, методичной манере, с полным соблюдением требований заказчика.

Ключевые слова: эксплуатация, заказчик, объект, введение, документы, проверка.

tion, induction and deduction.

Results: in the process of the study are presented the features and main complexities that characterize the building commissioning. It is also noted that to date there is a lack of clarity and fragmentation of recommendations regarding the use of science-based principle of formation of organizational structure and development of organizational and technical solutions that

need to be implemented by the ACA in order to put the building into operation in a timely manner. In this context, the article emphasizes the basic functions of the ACA. In addition, the stages of the life cycle of construction of the object of capital construction are defined and the distribution of actions and tasks of the technical customer in the context of each of these stages is presented.

Conclusions: the process of commissioning of construction objects should be clearly divided into specific stages. Within each

Введение

Для многих организаций ключевым препятствием при создании строительного проекта является отсутствие понимания того, как добиться успеха на различных этапах строительного процесса, как лучше всего начать строительный проект, как успешно его завершить и без задержек ввести здание в эксплуатацию. Понимание фаз жизненного цикла строительства требует глубокого погружения в вопросы индивидуальных требований на каждом этапе, как они согласуются и взаимосвязаны, чтобы проект в конечном итоге увенчался успехом [1]. Эта задача усложняется, если организация всё ещё полагается на старые или устаревшие решения для отслеживания строительных проектов – будь то внутренние решения или даже просто электронные таблицы.

Особые сложности возникают с процессом ввода в эксплуатацию. Технические заказчики и клиенты ожидают бесперебойной передачи объекта, что является залогом эффективного управления и его использования. В свою очередь, для подрядчиков беспрепятственный процесс передачи – это действенный и наглядный способ получить новые заказы и удержать постоянных клиентов. Но несмотря на то, что завершение работ имеет большое значение, планирование ввода в эксплуатацию происходит задолго до закладки фундамента. Фактически этот процесс начинается ещё на стадии проектирования и продолжается на протяжении всего строительства [2].

Не подлежит сомнению тот факт, что каждый проект уникален и должен иметь свой адаптивный план для достижения желаемого результата. Однако общий процесс планирования, ввода в эксплуатацию и запуска проекта в каждом случае одинаков и должен включать в себя серию процессов документирования, планирования и тестирования [3]. В то же время необходимо отметить, что на сегодняшний день существует неясность и фрагментарность рекомендаций в отношении использования научно обоснованного принципа формирования организационной структуры и разработки соответствующих технических решений, которые необходимо осуществлять техническому заказчику в качестве представителя застройщика, для

of these phases, the steps, tasks, responsibilities and activities to be performed by the ACA and other parties should be detailed, defined and established to ensure that the commissioning of the building is carried out, completed and documented in a structured, methodical manner and in full compliance with the requirements of the client.

Keywords: operation, customer, building, introduction, documents, inspection.

того чтобы своевременно ввести объект в эксплуатацию, поставить его на кадастровый учёт и передать в эксплуатацию.

Таким образом, дискуссионность и необходимость решения обозначенных вопросов предопределяет выбор темы данной статьи.

Анализ публикаций по теме исследования

Над разработкой методического подхода в строительстве, чётко регламентирующего состав работ, в результате чего все эксплуатационные компоненты проекта будут функционировать должным образом, трудятся такие авторы, как Горькова А. А., Минаев А. В., Агеев С. М., Зейниев Г. Я., Глазкова В. В., Jennifer Whyte, Andrew Davies, Lynn Brown.

Обоснованию типологии ввода в эксплуатацию зданий и сооружений, которая позволит удовлетворить потребности проекта в соответствии с его текущим статусом, посвятили свои публикации Аверин М. С., Пирогова Ю. Н., Калпаева З. А., Егемкулова Б. А., Назарова А. Н., Jui Chou, Jung-Ghun Yang, Xiaopeng Deng, Low Sui Pheng, Xianbo Zhao.

Нерешённые части общей проблемы

Высоко оценивая имеющиеся на сегодняшний день наработки, необходимо отметить, что ряд вопросов в данной предметной плоскости требует дополнительного анализа и изучения. Так, особого внимания заслуживает формализация и структуризация документов, которые должны сопровождать ввод в эксплуатацию объекта, с детальным выделением планов и процедур испытаний, обязательных к исполнению, а также описанием контрольных списков и чертежей, которые должны быть в наличии. Кроме того, в уточнении нуждаются контуры информационной среды, которая должна сопровождать весь процесс введения объекта в эксплуатацию и обеспечивать отслеживание и управление активами строительного проекта от начала и до конца.

Цель статьи

Цель статьи – определение этапов жизненного цикла возведения объекта капитального строительства (ОКС), оказывающих влияние на введение объекта в эксплуата-

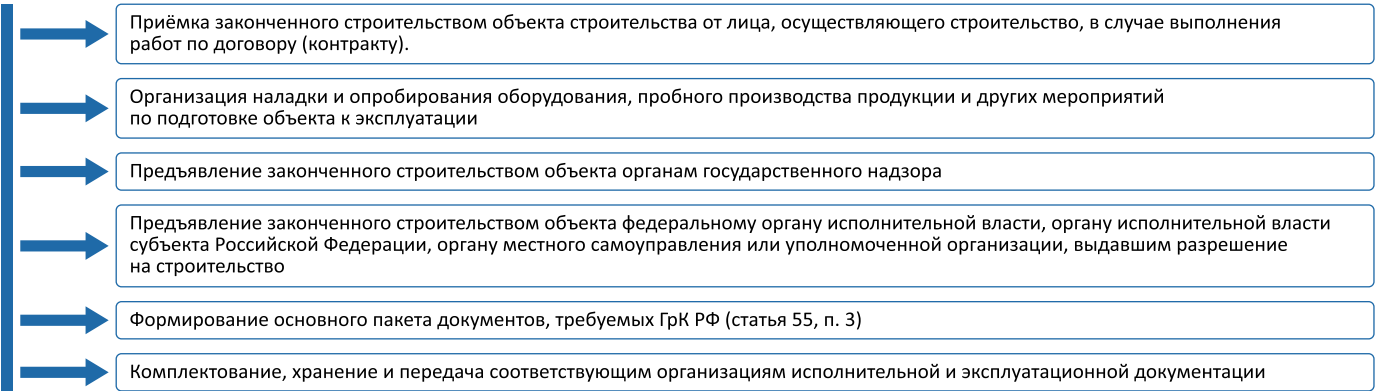


Рис. 1. Базовые функции технического заказчика
Fig. 1. Basic functions of the technical customer



Рис. 2. Этапы жизненного цикла объекта строительства
Fig. 2. Stages of the life cycle of the construction object

цию и распределение базовых функций технического заказчика по данным этапам.

Методы исследования

Методы исследования: систематизация и анализ данных о текущем состоянии и методологических основах процесса приёмки в эксплуатацию зданий и сооружений, синтез, сравнение, группировка, обобщение, абстракция, индукция и дедукция.

Результаты

Процесс ввода в эксплуатацию ОКС можно рассматривать как процесс обеспечения качества, который позволяет строительным группам проекта сдать здание в полном рабочем состоянии в соответствии с установленными требованиями [4]. В своде правил 68.13330.2017 и СНиП 3.01.04-87 рассмотрены основные функции технического заказчика, а также документы, которые ему необходимо оформить в процессе приёмки в эксплуатацию здания, однако какие именно и на каком этапе жизненного цикла необходимо их оформить – не регламентировано.

Для того, чтобы устранить существующие пробелы, по мнению автора, прежде всего, целесообразно формализовать структурную схему базовых функций технического заказчика (см. рисунок 1).

По мнению автора, критически важно, чтобы технический заказчик, который будет отвечать за ввод объекта в эксплуатацию, подключался ко всем значимым процессам на этапе предпроектных работ. Такое раннее участие имеет решающее значение для своевременной и полезной разработки проектных требований заказчика, последующих проектных основ, плана ввода в эксплуатацию и

начала подготовки руководства по эксплуатации и техническому обслуживанию систем. Если эти задачи оставить на более поздний срок и «переделать» под проект, их полезность как катализаторов диалога, управления затратами и рисками, а также инструментов отслеживания качества будет утрачена.

На рисунке 2 представлен ориентировочный перечень функций технического заказчика на всех этапах жизненного цикла, которые имеют взаимосвязь друг с другом и стремятся к одной цели – обеспечение качества и своевременности ввода в эксплуатацию.

Функции технического заказчика на стадиях предпроектной подготовки рассматриваются как профессиональная деятельность в части подготовки исходно-разрешительной документации в разрезе управления проектами. Важно подчеркнуть, что поэтапная поддержка технического заказчика в части получения необходимых согласований в нормативно-технической документации отсутствует [5].

Далее рассмотрим основные функции технического заказчика на этапе предпроектной подготовки (см. рисунок 3). Практика показывает, что на предпроектном этапе важно выбрать проектную организацию с учётом специфики, сложности и объёма ОКС. Наличие профильного опыта и квалифицированного штата будет иметь определяющее значение для выполнения одной из базовых функций проектировщика – своевременного внесения изменений в проектно-сметную и рабочую документацию – в случае изменений градостроительного плана земельного участка или нормативных документов [6], что позволит оптимально распределить ресурсы, соблюсти

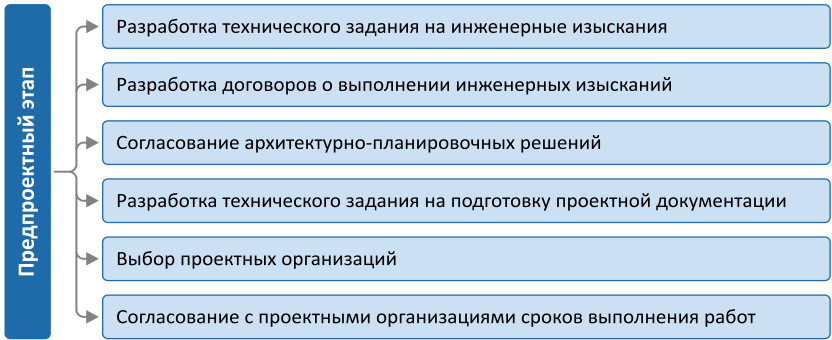


Рис. 3. Распределение основных функций технического заказчика на предпроектном этапе
Fig. 3. Distribution of the main functions of the technical customer at the pre-project stage

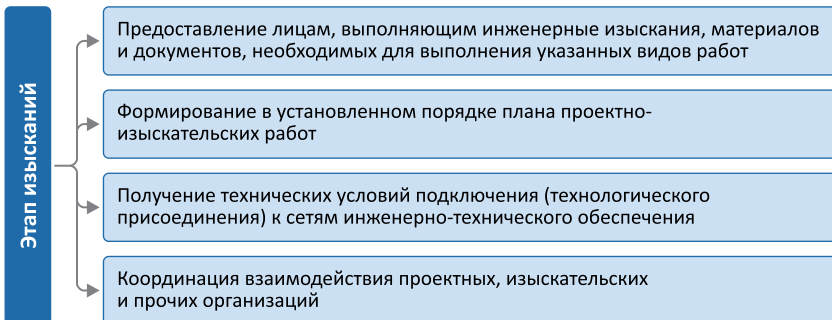


Рис. 4. Распределение основных функций технического заказчика на этапе изысканий
Fig. 4. Distribution of the main functions of the technical customer at the stage of surveys

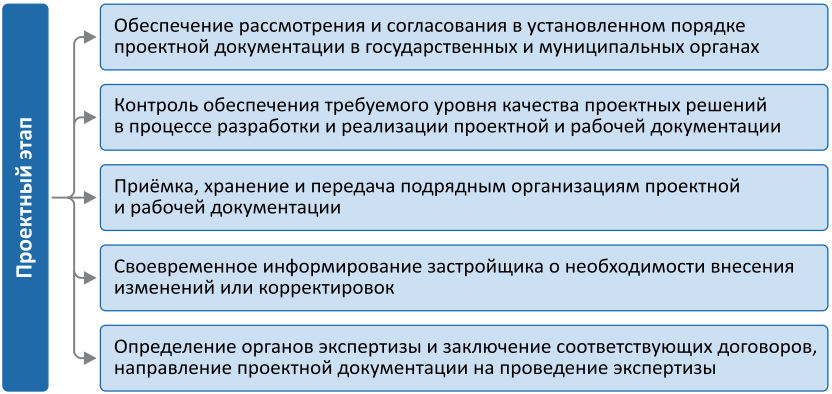


Рис. 5. Распределение основных функций технического заказчика на проектном этапе
Fig. 5. Distribution of the main functions of the technical customer at the project stage

контрольные точки строительства в дальнейшем и выйти на ввод в эксплуатацию в запланированный срок.

Одной из задач инженерных изысканий является принятие конструктивных и объёмно-планировочных решений. Данные решения необходимо уже на этом этапе рассматривать совместно и согласовывать с эксплуатирующими организациями. Уровень проработки технического задания и договорные условия с подрядными организациями окажут существенное влияние на качество выполнения задач инженерных изысканий.

На рисунке 4 обозначено распределение основных функций технического заказчика на этапе изысканий.

Следующим рассматриваемым этапом является проектный (см. рисунок 5). Основная задача данного этапа состоит в разработке и экспертизе проектных и технических решений.

Строительный этап является основным этапом жизненного цикла ОКС, он неотъемлемо связан с этапом сдачи-приёмки объекта [7]. Эффективность результата при получении разрешения на ввод объекта в эксплуатацию напрямую зависит от грамотного исполнения функций технического заказчика при проведении строительномонтажных работ, формировании исполнительной документации и ведении строительного контроля [8; 9].

Рисунок 6 показывает распределение основных функций технического заказчика на этапе строительства.

Одна из частых проблем при передаче в эксплуатацию – это несоответствие номенклатуры и количества инженерного оборудования и материалов в проекте и по факту установки: исполнительные документы, в частности ведомости установленного оборудования, не соответствуют чертежам и спецификациям. Зачастую причина

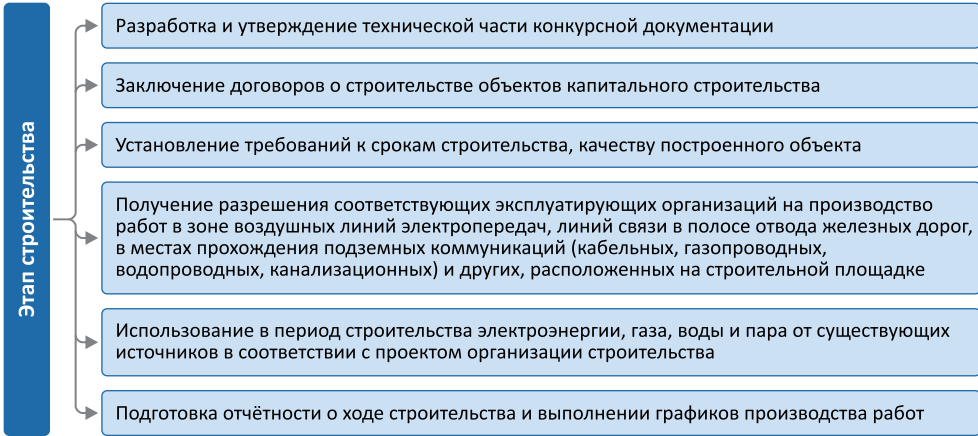


Рис. 6. Распределение основных функций технического заказчика на этапе строительства
Fig. 6. Distribution of the main functions of the technical customer at the construction stage

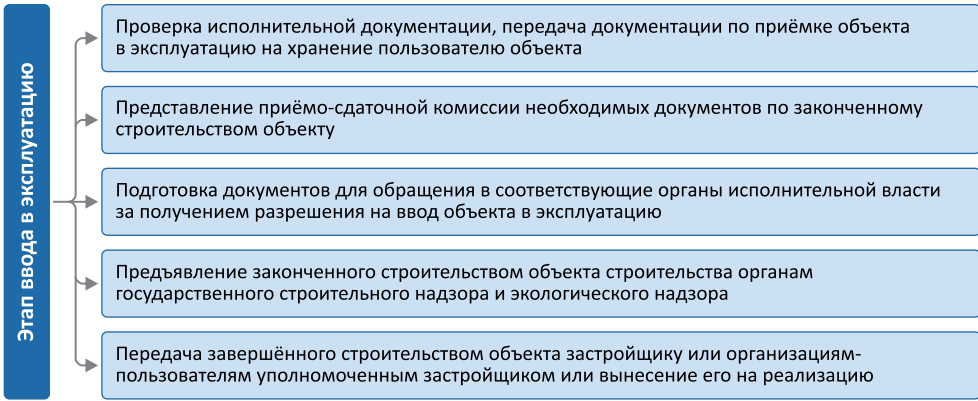


Рис. 7. Распределение основных функций технического заказчика на этапе ввода в эксплуатацию
Fig. 7. Distribution of the technical customer's main functions at the commissioning stage

в несогласованности внесения изменений в техническую и сметную части проектно-строительной документации, исполнительная документация должна фиксировать все процессы производства строительных и монтажных работ, а также своевременно оформляться на всех этапах жизненного цикла ОКС, начиная с геодезической разбивочной основы и заканчивая вводом в эксплуатацию [10].

Заключительным является этап ввода объекта в эксплуатацию. Детализация основных функций технического заказчика на этом этапе представлена на рисунке 7. К моменту получения разрешения на ввод объекта в эксплуатацию обычно выявляется большое количество замечаний рабочих комиссий, которые устраняются на протяжении долгого времени. Для сокращения сроков устранения замечаний и их количества необходима системная разработка организационно-технических мероприятий на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства.

Заклучение

Сегодня заказчики объектов капитального строительства стремятся к большей устойчивости, преследуя цель снизить затраты на жизненный цикл здания и повысить

его эксплуатационные характеристики. Чтобы соответствовать этим требованиям и реализовать беспрепятственную передачу здания в работу, необходимо обеспечить его надёжный ввод в эксплуатацию, начиная с этапа проектирования, на протяжении всего строительства и вплоть до завершения работ.

Ввод здания в эксплуатацию – это профессиональная практика, которая способствует планированию, проектированию, строительству, монтажу и проверке испытаний, документированию и эксплуатации объектов и систем в соответствии с требованиями заказчика. Ввод зданий в эксплуатацию включает в себя определённые этапы и мероприятия как для новых, так и для имеющихся зданий.

Учитывая существующую сегодня неопределённость в официальной документации относительно действий, которые необходимо осуществлять техническому заказчику в качестве представителя застройщика, для того чтобы своевременно ввести объект в эксплуатацию, в статье определены этапы жизненного цикла возведения объекта капитального строительства и представлено распределение базовых функций технического заказчика по данным этапам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмина, Т. К. Выявление и систематизация факторов при подготовке объектов к строительству техническим заказчиком (застройщиком) / Т. К. Кузьмина, П. В. Большакова // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 38–43.

2. Bates, S. Understanding the costs of co-commissioning: Early experiences with co-commissioning in Australia / S. Bates, B. Harris-Roxas // Australian Journal of Public Administration. – 2023. – Vol. 82, Iss. 4. – Pp. 45–53.

3. Ловчева, М. В. Формирование нормативных требований к количеству и квалификации профильных кадров в гражданском строительстве / М. В. Ловчева // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2019. – Т. 8, № 4. – С. 43–49.

4. Мошкалёв, Д. С. Практические инструменты системы управления стоимостью строительства на проектной стадии жизненного цикла объекта капитального строительства / Д. С. Мошкалёв, Е. А. Марзаева // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. – 2021. – №. 4 (38). – С. 48–52.

5. López-Martín, C. Effort prediction for the software project construction phase / C. López-Martín // Journal of Software:

Evolution and Process. – 2021. – Vol. 33, Iss. 7. – Pp. 113–119.

6. Потенциал эффективности комплексной оценки качества строительства от этапа проектирования до ввода объекта в эксплуатацию / Т. Ю. Савушкина, В. С. Зенов, А. С. Зеленцов, А. А. Лapidус // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1 (52).

7. Значение исполнительных документов в строительстве и порядок их заполнения / А. А. Азимов, Х. А. У. Сайдирасулов, О. Р. Ачилов // Academic research in educational sciences. – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 30–36.

8. Усовершенствование системы строительного контроля при производстве строительно-монтажных работ / Т. К. Кузьмина, Д. Д. Бабушкина, Р. В. Волков, Д. А. Коблюк // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 24–29.

9. Анализ качества взаимодействия участников системы строительного контроля / Т. К. Кузьмина, Л. И. Ледовских, Е. А. Акимова, Д. А. Коблюк // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 74–80.

10. An analysis of causes of delay and cost overrun in construction of hydropower project / T. Azam, Wang S. J., S. A. Malik, S. Y. Malik, M. Nilofar, Z. Abbas, I. Ullah // Journal of Public Affairs. – 2020. – Vol. 22, Iss. 3. – Pp. 23–27.

REFERENCES

1. Kuz'mina, T. K. Vyyavlenie i sistematizatsiya faktorov pri podgotovke ob'ektov k stroitel'stvu tekhnicheskim zakazchikom (zas-trojshchikom) [Identification and systematization of factors in the preparation of facilities for construction by a technical customer (developer) / T. K. Kuzmina, P. V. Bolshakova] // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – No. 4. – Pp. 38–43.

2. Bates, S. Understanding the costs of co-commissioning: Early experiences with co-commissioning in Australia / S. Bates, B. Harris-Roxas // Australian Journal of Public Administration. – 2023. – Vol. 82, Iss. 4. – Pp. 45–53.

3. Lovcheva, M. V. Formirovanie normativnykh trebovanij k koli-chestvu i kvalifikatsii profil'nykh kadrov v grazhdanskom stroitel'stve [Formation of regulatory requirements for the number and qualifications of specialized personnel in civil engineering] / M. V. Lovcheva // Upravlenie personalom i intellektual'nymi resursami v Rossii [Personnel and intellec-tual resources management in Russia]. – 2019. – Vol. 8, No. 4. – Pp. 43–49.

4. Moshkalev, D. S. Prakticheskie instrumenty sistemy upravlenija

stoimost'ju stroitel'stva na proektnoj stadii zhiznennogo tsikla ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [Practical tools for the construction cost management system at the design stage of the life cycle of a capital construction project] / D. S. Moshkalev, E. A. Marzaeva // Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ehkono-mika. Serija: Ehkonomika [Bulletin of the USPTU. Science, edu-cation, economics. Series: Economics]. – 2021. – No. 4 (38). – Pp. 48–52.

5. López-Martín, C. Effort prediction for the software project construction phase / C. López-Martín // Journal of Software: Evo-lution and Process. – 2021. – Vol. 33, Iss. 7. – Pp. 113–119.

6. Savushkina, T. Potentsial ehffektivnosti kompleksnoj otsenki kachestva stroitel'stva ot ehstapa proektirovaniya do vvoda ob'ekta v ehkspluatatsiyu [The effectiveness potential of a comprehensive assessment of construction quality from the design stage to the commissioning of the facility] / T. Yu. Sa-vushkina, V. S. Zenov, A. S. Zelentsov, A. A. Lapidus // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2019. – No. 1 (52).

7. Azimov, A. A. Znachenie ispolnitel'nyh dokumentov v stroitel'stve i porjadok ih zapolnenija [The importance of ex-

ecutive documents in construction and the procedure for fill-ing them out] / A. A. Azimov, H. A. U. Saidirasulov, O. R. Achilov // Academic research in educational sciences. – 2022. – Vol. 3, No. 2. – Pp. 30–36.

8. Usovershenstvovanie sistemy stroitel'nogo kontrolya pri proizvodstve stroitel'no-montazhnykh rabot [Improvement of the construction control system in the production of construc-tion and installation works] / T. K. Kuzmina, D. D. Babushkina, R. V. Volkov, D. A. Koblyuk // Stroitel'noe proizvodstvo [Construc-tion production]. – 2022. – No. 4. – Pp. 24–29.

УДК 69.05

Информационное моделирование процессов ресурсного обеспечения объектов строительства

Information Modeling of Resource Provision Processes for Construction Projects

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_75

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 кафедры «Организация строительства», 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 of the Department of Construction Organization, 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

Postgraduate 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

Postgraduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, Dmsvit@mail.ru

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

Postgraduate student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, 2435170@mail.ru

Аннотация. В последние годы особо остро стоит проблема обеспечения строительства квалифицированными рабочими кадрами. В настоящее время дефицитны в большинстве реги-онов рабочие практически всех специальностей. В то же время имеются значительные скрытые резервы ро-ста производительности труда бригад рабочих, которые можно реализовать за счёт более эффективного использования рабо-чего времени. Одним из основных перспективных решений в этом направлении является «цифровизация» процессов управ-ления строительными проектами. **Цель.** Разработка цифровой платформы системы ресурс-ного обеспечения, максимально синхронизированной с про-

9. Analiz kachestva vzaimodejstviya uchastnikov sistemy stroitel'nogo kontrolya [Analysis of the quality of interaction between participants in the construction control system] / T. K. Kuzmina, L. I. Ledovskikh, E. A. Akimova, D. A. Koblyuk // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 3. – Pp. 74–80.

10. An analysis of causes of delay and cost overrun in construc-tion of hydropower project / T. Azam, Wang S. J., S. A. Malik, S. Y. Malik, M. Nilofar, Z. Abbas, I. Ullah // Journal of Public Af-fairs. – 2020. – Vol. 22, Iss. 3. – Pp. 23–27.

изводственными процессами, протекающими на строительной площадке, и создающей условия для роста производительности труда за счёт снижения потерь рабочего времени. В настоящее время российскими ИТ-компаниями осущест-вляется разработка порталных решений, которые позволяют упростить разработку, внедрение и поддержку задач в сфере управления инвестиционно-строительными проектами (ИСП), а также осуществить их интеграцию в единый программный ком-плекс. В рассматриваемой методике в процессе календарного мо-делирования заложен принцип последовательного наложения ограничений на трудовые, материальные ресурсы, строитель-

© Маилян Л. Д., Зеленцов Л. Б., Пирко Д. В., Свитенко Д. В., Тузлуков К. В., 2024, Строительное производство № 1 2024

ные машины и механизмы.

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 решения задачи по импортозамещению программного обеспечения ведётся разработка portalного решения для управления инвестиционно-строительными проектами, в том числе и в части ресурсного обеспечения объектов строительства.

Результаты. Внедрение интегрированных информационных технологий на основе portalных решений позволит улучшить синхронизацию процессов производства работ и ресурс-

Abstract. Object. Development of a digital platform for a resource supply system that is maximally synchronized with the production processes taking place at the construction site and creates conditions for increasing labor productivity by reducing the loss of working time.

Currently, Russian IT companies are developing portal solutions that make it possible to simplify the development, implementation and support of tasks in the field of IP management, as well as to integrate them into a single software package.

The introduction of integrated information technologies based on portal solutions will improve the synchronization of work processes and resource flows: workers, material, construction machines and mechanisms and have a positive effect on reducing time losses, and organize the rhythmic work of teams on the construction site.

The methodology under consideration in the process of calendar modeling contains the principle of sequential imposition of restrictions on labor, material resources, construction machines and mechanisms.

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 man-

ных потоков: рабочих, материальных, строительных машин и механизмов, – и положительно влиять на снижение временных потерь (внутрисменных и целосменных), а также осуществить организацию ритмичной работы бригад на строительной площадке.

Выводы. Разрабатываемое portalное решение позволит создать информационно-коммуникационную среду для эффективного взаимодействия участников ИСП в процессе сбалансирования имеющихся производственных мощностей с потребностями, возникающими при возведении крупных строительных комплексов, и снизить за счёт этого непроизводительные потери ресурсов.

Ключевые слова: материальные ресурсы, ресурсное обеспечение, строительные бригады, управленческий учёт, portalные решения, календарное моделирование.

agement of complex investment and construction projects during the reconstruction or new construction of industrial enterprises.

Methods. At the Don State Technical University (DSTU), as part of solving the problem of import substitution of software, a portal solution is being developed for managing investment and construction projects, including in terms of resource support for construction projects.

Findings. The introduction of integrated information technologies based on portal solutions will improve the synchronization of work production processes and resource flows: workers, material, construction machines and mechanisms and have a positive effect on reducing time losses (intra-shift and whole-shift), as well as organize the rhythmic work of teams on construction site.

Conclusions. The portal solution being developed will make it possible to create an information and communication environment for effective interaction between ISP participants in the process of balancing existing production capacities with the needs that arise during the construction of large construction complexes and thereby reduce unproductive losses of resources.

Keywords: material resources, resource support, construction crews, management accounting, portal solutions, calendar modeling.

В рыночных условиях при всё более возрастающих требованиях к качеству производства работ и в условиях дефицита квалифицированных рабочих особое значение приобретает бригада. Бригада становится одним из ключевых элементов подрядного рынка, и те строительные организации, которые имеют в своём составе достаточное количество постоянных бригад, укомплектованных высококвалифицированными рабочими, обладают значительными конкурентными преимуществами.

На подрядном рынке к бригаде предъявляются следующие требования: во-первых, она должна быть комплексной, во-вторых, в её составе должны быть квалифицированные рабочие, владеющие двумя-тремя специальностями. Это позволяет в процессе работы значительно сократить внутрисменные потери. Бригада становится самостоятельным элементом подрядного рынка. Её руководитель – бригадир – сам формирует портфель заказов и выстраивает стратегию поведения бригады на рынке. Хорошо зарекомендовавшие себя бригады имеют обычно избыточный портфель заказов и могут выбирать те объекты, которые им наиболее выгодны. В период сезона с марта по октябрь, летом большинство квалифицированных бригад ищут заказы на строительство частных домов, так как это лучше оплачивается. Привлечь и закрепить за строительной организацией бригаду можно

только стабильными заказами, достойной заработной платой и эффективной системой охраны труда [3].

Проведённый управленческий аудит ряда крупных строительных организаций показал, что при значительном дефиците квалифицированных трудовых ресурсов эффективность их использования крайне низка. Так, в ряде случаев внутрисменные и скрытые простои могли составлять 50 и более процентов от фонда рабочего времени. Помимо этого не редки и целосменные простои, связанные с поломкой СМиМ кранового оборудования, отсутствием материалов и конструкций, несвоевременной и/или некомплектной их доставкой на объект и т. п.

Потери времени в процессе производства работ на строительной площадке приводят к хаотическому состоянию, результатом которого является «штурмовщина», связанная с интенсификацией производственного процесса. Интенсификация может осуществляться за счёт дополнительного увеличения численности рабочих путём их снятия с других объектов или их «принуждения» работать более интенсивно и сверхурочно, часто без дополнительных доплат, чтобы наверстать упущенное время. При «штурмовщине» нередко случаи травматизма рабочих, а также снижения качества выполняемых работ [4].

Таким образом, в настоящее время во многих строительных организациях имеются значительные скрытые резервы роста производительности труда бригад рабочих, которые можно реализовать за счёт более эффективного использования их рабочего времени. Одним из основных перспективных решений в этом направлении является «цифровизация» процессов управления строительными проектами [5].

Материалы и методы

Одной из основных проблем, сдерживающих применение интегрированных информационных технологий в управлении строительством, является высокая стоимость приобретения программного обеспечения и компьютерного обеспечения, а также текущие затраты на актуализацию баз данных и техническое обслуживание оборудования. Это становится камнем преткновения и для вхождения на рынок новых небольших строительных компаний, так как, не приобретя минимальный набор специализированных программных продуктов в сфере логистики, по расчёту смет, календарного планирования, они не могут участвовать в различных конкурсах на получение заказа от федеральных или муниципальных структур. Проблемой является и приём на работу тех же сметчиков и логистов, так как квалифицированных ИТР, знающих специфику строительства и разбирающихся в рабочих чертежах, на рынке труда не так много, и они имеют соответствующую цену.

Решение перечисленных проблем возможно за счёт применения portalных решений, позволяющих реализовать использование проекта по аренде web-приложений (ASP – applications service providing). При таком подходе нет необходимости приобретать дополнительные лицензии на программное обеспечение и использовать дорогостоящие серверы [6].

Результаты

Внедрение интегрированных информационных технологий на основе portalных решений позволит син-

хронизировать во времени производство строительных-монтажных работ и ресурсных потоков: рабочих, материально-технических ресурсов, строительных машин и механизмов – и тем самым положительно влиять на снижение временных потерь и организацию ритмичной работы бригад на строительной площадке [7].

В рассматриваемой методике в процессе календарного моделирования заложен принцип последовательного наложения ограничений на трудовые, материальные ресурсы, строительные машины и механизмы.

Специфические особенности используемых ресурсов диктуют необходимость создания отличительных алгоритмов и методов решения задач распределения их по работам календарного графика. Например, трудовые ресурсы и строительные машины не допускают «складирования», а большинство материальных ресурсов могут в определённом объёме храниться на приобъектных складах [8].

Поэтому информационное моделирование процессов календарного планирования работы строительного объединения или концерна распадается на решение ряда взаимоувязанных задач и моделей по распределению ресурсов:

- модель D – ограниченных трудовых ресурсов;
- модель M – материальных ресурсов, допускающих складирование;
- модель SM – строительных машин и механизмов.

Последовательность наложения ограничений на ресурсы, а следовательно, и алгоритмы моделирования и оптимизации зависят от уровня их дефицита в рассматриваемом регионе строительства или от конкретной строительной системы [9].

Модель D , с учётом сложившегося в настоящее время дефицита квалифицированных рабочих основных строительных профессий, является определяющей и, исходя из принятой в строительстве специализации в производстве работ, в свою очередь, подразделяется на три модели, оптимизирующие использование трудовых ресурсов [10]: $D \in \{D^1, D^2, D^3\}$.

Модель D^1 – производственные мощности генподрядной организации, выполняющей часть работ собственными силами, модель D^2 – мощности субподрядных организаций, выполняющих строительные-монтажные работы, и модель D^3 – мощности субподрядных организаций, ведущих производство специализированных монтажных и пуско-наладочных работ. Модель D^2 отражает «обслуживание» объектов преимущественно строительных организаций, входящих в состав одного объединения или концерна. Модель D^3 не имеет прочных организационных связей с одной конкретной генподрядной организацией в силу специфики выполняемых ею работ.

Обсуждение

Сложность образования такой условно замкнутой системы заключается в необходимости своевременного получения субподрядными организациями подготовленных фронтов работ от генподрядчика и достоверной информации о планируемых сроках и объёмах работ. Получить такую информацию можно только в результате применения единообразных методов и алгоритмов сбалансирования производственных возможностей генподрядных и субпо-

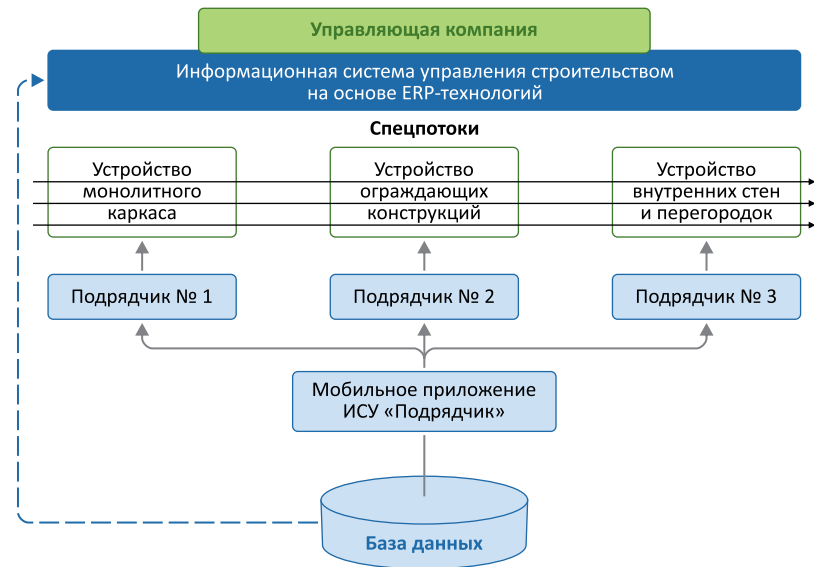


Рис. 1. Принципиальная схема последовательности выполнения комплексов работ потоками бригад
Fig. 1. Schematic diagram of the sequence of work complexes performed by streams of teams

дрядных организаций с планируемыми объёмами работ, а также создания единой базы данных по всем объектам, возводимых корпорацией в районе сосредоточенного строительства [11].

Управление такой системой возможно за счёт создания цифровой интернет-платформы.

Каждая из моделей D^1 , D^2 , D^3 рассматривается как макромодель, включающая некоторое подмножество моделей d .

Модель d является элементарной составляющей обобщённой модели $D \in \{d1, d2, d3 \dots\}$ (уровень концерна, объединения). Она описывает сбалансирование планируемых трудовых затрат и мощностей технологической линии, под которыми понимаются комплексные или специализированные потоки бригад с приданными им для производства работ строительными машинами и механизмами.

Комплексные бригады, выполняющие некоторое подмножество строительно-монтажных работ, являются, по аналогии с промышленными предприятиями машиностроительного профиля, технологическими линиями, продукцией которых являются конструктивные элементы зданий и сооружений.

Так, например, при возведении объектов жилищного назначения в местах (кустах) сосредоточенного строительства возводимых по технологии «монолит – каркас» можно выделять следующие специализированные потоки (рисунок 1):

- подготовительные и земляные работы;
- работы по устройству нулевого цикла;
- работы по устройству каркаса здания (отливка каркаса);
- устройство ограждающих конструкций и внутренних несущих стен и перегородок;
- цикл внутренних электромонтажных работ;
- цикл внутренних санитарно-технических работ и т. п.

При такой организации работ обычно каждый последующий подрядчик осуществляет приём подготовленного фронта работ и при необходимости выполняет собственный контроль качества работ предшествующих

работ, влияющих на качество выполнения собственных работ.

Так, например, подрядчик отделочного цикла принимает работы у подрядчика, выполнившего ограждающие конструкции и внутренние стены и перегородки. При наличии, например, нарушений геометрии конструктивных элементов, отличных от проектных, делается дополнительная смета на ликвидацию выявленных несоответствий, которая определяет стоимость дополнительных объёмов работ. Компенсацию осуществляет обычно подрядчик, выполнявший эти работы.

Задача сбалансирования сводится, в конечном счёте, к построению графиков движения бригад подрядных организаций по объектам строительства генподрядчика.

В ДГТУ в рамках стратегического партнерства с ЗАО «ЮТМ» в настоящее время ведётся работа по разработке порталного решения – цифровой платформы для управления инвестиционно-строительными проектами, ориентированной на крупные строительные компании. Разрабатываемая интеллектуальная информационная система позволит управлять неограниченным числом участников инвестиционно-строительного проекта и создать условно замкнутую систему управления в контуре «генподрядчик – субподрядчик – предприятия стройиндустрии».

Заключение

В рыночных условиях при всё более возрастающих требованиях к качеству производства работ и в условиях дефицита квалифицированных рабочих особое значение приобретает бригада – она становится одним из ключевых элементов подрядного рынка.

Внедрение интегрированных информационных технологий на основе порталных решений позволит улучшить синхронизацию процессов производства работ и ресурсных потоков: рабочих, материалов, строительных машин и механизмов, что окажет положительное влияние на снижении временных потерь, будет способствовать организации ритмичной работы бригад на строительной площадке и что в конечном итоге приведёт к росту производительности труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, Н. Г. Акопян, М. С. Шогенов // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 41–44.

2. Интеллектуальные системы управления в строительстве: монография // Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, М. С. Шогенов, И. Г. Трипута ; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2017. – 88 с.

3. Лapidus, А. А. Организационно-технологическая платформа строительства / А. А. Лapidus // Вестник МГСУ. – 2022. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-tehnologicheskaya-platforma-stroitelstva> (дата обращения: 20.03.2024).

4. Остроух, А. В. Интеллектуальные системы : монография / А. В. Остроух. – Красноярск : Научно-инновационный центр, 2020 – 316 с.

5. Использование комплексных бригад с целью оптимизации сроков строительства и ввода в эксплуатацию многоэтажных жилых домов / В. С. Ратомская, В. С. Зенов, А. Н. Романенков, А. А. Лapidus // Московский экономический журнал. – 2019. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompleksnyh-brigad-s-tselyu-optimizatsii-srokov-stroitelstva-i-vvoda-v-ekspluatatsiyu-mnogoetazhnyh-zhilyh-domov> (дата обращения: 20.03.2024).

6. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 /

REFERENCES

1. Modelirovanie organizatsionno-tehnologicheskikh 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. – No. 1. – Pp. 41–44.

2. Intellektual'nye sistemy upravleniya v stroitel'stve [Intelligent control systems in construction]: monograph // L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, M. S. Shogenov, I. G. Triputa ; FGBOU VO «Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» [Don State Technical University]. – Rostov-on-Don: DSTU, 2017. – 88 p.

3. Lapidus, A. A. Organizatsionno-tehnologicheskaya platforma stroitel'stva [Organizational and technological platform of construction] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – No. 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-tehnologicheskaya-platforma-stroitelstva> (date of access: 03.20.2024).

4. Ostroukh, A. V. Intellektual'nye sistemy [Intelligent systems]: monograph / A. V. Ostroukh. – Krasnoyarsk : Scientific and Innovation Center, 2020. – 316 p.

5. Ispolzovanie kompleksnyh brigad s cel'yu optimizatsii srokov stroitel'stva i vvoda v ekspluatatsiyu mnogoetazhnyh zhilyh domov [The use of integrated teams to optimize the timing of construction and commissioning of multi-storey residential buildings] / V. S. Ratomskaya, V. S. Zenov, A. N. Romanenkov, A. A. Lapidus // Moskovskij ehkonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]. – 2019. – No. 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompleksnyh-brigad-s-tselyu-optimizatsii-srokov-stroitelstva-i-vvoda-v-ekspluatatsiyu-mnogoetazhnyh-zhilyh-domov> (access date: 03/20/2024).

A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2018), Rome, Italy, 2018. – 2018. – Pp. 141–146.

7. 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. – Pp. 455–463.

8. Интеграция смет и BIM-проектов / Л. Б. Зеленцов, Я. А. Кокарева, Н. Г. Акопян, Д. В. Пирко. – DOI 10.54950/26585340_2020_2_29 // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 29–34.

9. 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.

10. 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. – Pp. 23–61.

11. Софриков, А. В. Методика подготовки организационной диагностики систем управления в строительных организациях / А. В. Софриков // Экономика строительства. – 2003. – № 3. – С. 28–35.

6. 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. – Pp. 141–146.

7. 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. – Pp. 455–463.

8. 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 production]. – 2020. – No. 2. – Pp. 29–34.

9. Zelentsov, L. B. Prognozirovaniye vremennykh i stoimostnykh parametrov pri upravlenii investitsionno-stroitel'nyimi projektami [Forecasting 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 production]. – 2020. – No. 3. – Pp. 41–45.

10. 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. – Pp. 23–61.

11. Sofrikov, A. V. Metodika podgotovki organizatsionnoy diagnostiki sistem upravleniya v stroitel'nykh organizatsiyakh [Methodology for preparing organizational diagnostics of management systems in construction organizations] / A. V. Sofrikov // Ehkonomika stroitel'stva [Construction Economics]. – 2003. – No. 3. – Pp. 28–35.

Алгоритм параметризации разработки информационной и аналитической моделей каркасов одноэтажных промышленных зданий с использованием визуального программирования

Algorithm of Parameterization of Information and Analytical Model Developing Using Visual Programming

Сунцов Александр Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (ИжГТУ им. М. Т. Калашникова), Россия, 426069, Удмуртская Республика, Ижевск, улица Студенческая, 42, alexandrsun4009@gmail.com

Suntsov Alexander Sergeyevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Department of Industrial and Civil Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Kalashnikov ISTU), Russia, 426069, Udmurt Republic, Izhevsk, ulitsa Studencheskaya, 42, alexandrsun4009@gmail.com

Клековкин Евгений Алексеевич

Студент магистратуры, кафедра «Промышленное и гражданское строительство», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (ИжГТУ им. М. Т. Калашникова), Россия, 426069, Удмуртская Республика, Ижевск, улица Студенческая, 42, z0h0e0n0y0a@gmail.com

Klekovkin Evgeny Alekseevich

Master student of Department of Industrial and Civil Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Kalashnikov ISTU), Russia, 426069, Udmurt Republic, Izhevsk, ulitsa Studencheskaya, 42, z0h0e0n0y0a@gmail.com

Аннотация. Введение. Осуществлён обзор практики проектирования зданий и сооружений с использованием информационных технологий. Отмечена перспективность технологии информационного моделирования для проектирования несущих строительных конструкций. Рассмотрен метод визуального программирования как инструмент параметризации процессов проектирования. Предложено использование визуального программирования для параметрического формирования аналитической модели каркаса одноэтажных промышленных зданий. Цель исследования: разработка методики параметрического создания информационной и аналитической модели с использованием визуального программирования.

Материалы и методы. Рассмотрены особенности параметрического подхода к проектированию. Приведены возможности среды визуального программирования Grasshopper для параметризации проектирования строительных конструкций.

Результаты. Описан алгоритм разработки информационной и аналитической моделей несущих конструкций одноэтажных

промышленных зданий на основе параметрического скрипта в среде визуального программирования. Предложенный алгоритм может быть адаптирован для проектирования и других типов зданий, при этом основа и логика алгоритма останется неизменной.

Заключение. Главное преимущество разработанного алгоритма заключается в полной параметризации и исключении дублирующих действий при информационном и аналитическом моделировании. Использование среды визуального программирования позволяет повысить степень интегрированности процессов конструктивного проектирования, а значит снизить вероятность допущения ошибок при переносе данных и повысить качество проектирования.

Ключевые слова: визуальное программирование, параметрическое проектирование, параметрическое моделирование, параметризация, информационная модель, аналитическая модель.

Abstract. Introduction. This text reviews the current state of building and structure design practices with regards to modern information technologies. It highlights the potential of information modelling technology for designing load-bearing structures and tools for parameterisation of modelling and design. It highlights the potential of information modelling technology for designing load-bearing structures and tools for parameterisation of modelling and design. The text also considers the method of visual programming as a tool for parameterising design processes. The article proposes the use of visual programming to create parametric information and analytical model of the frame of single-storey industrial buildings. The aim of the research is to develop a method for creating information and analytical models using visual programming.

Materials and Methods. The article considers the features of the parametric approach to design and highlights the possibilities

of using the visual programming environment for parametrization of building structures design.

Results. The article describes the development algorithm of information and analytical models for bearing structures of single-storey industrial buildings using a parametric algorithm in the visual programming environment. The proposed algorithm can be adapted for designing other types of buildings while maintaining the same algorithmic basis and logic.

Conclusion. The developed algorithm offers a significant advantage in terms of full parameterization and elimination of duplicated actions in information and analytical modelling. The use of a visual programming environment increases the degree of integration of structural design processes, reducing the probability of errors in data transfer and improving the quality of design.

Keywords: visual programming, parametric design, parametric modeling, parametrization, information model, analytical model.

Информационное моделирование зданий и сооружений трудоёмко, так как для получения исчерпывающей информации о проектируемом объекте инженеру требуется проработать в модели мельчайшие детали конструкций и наполнить её соответствующей информацией.

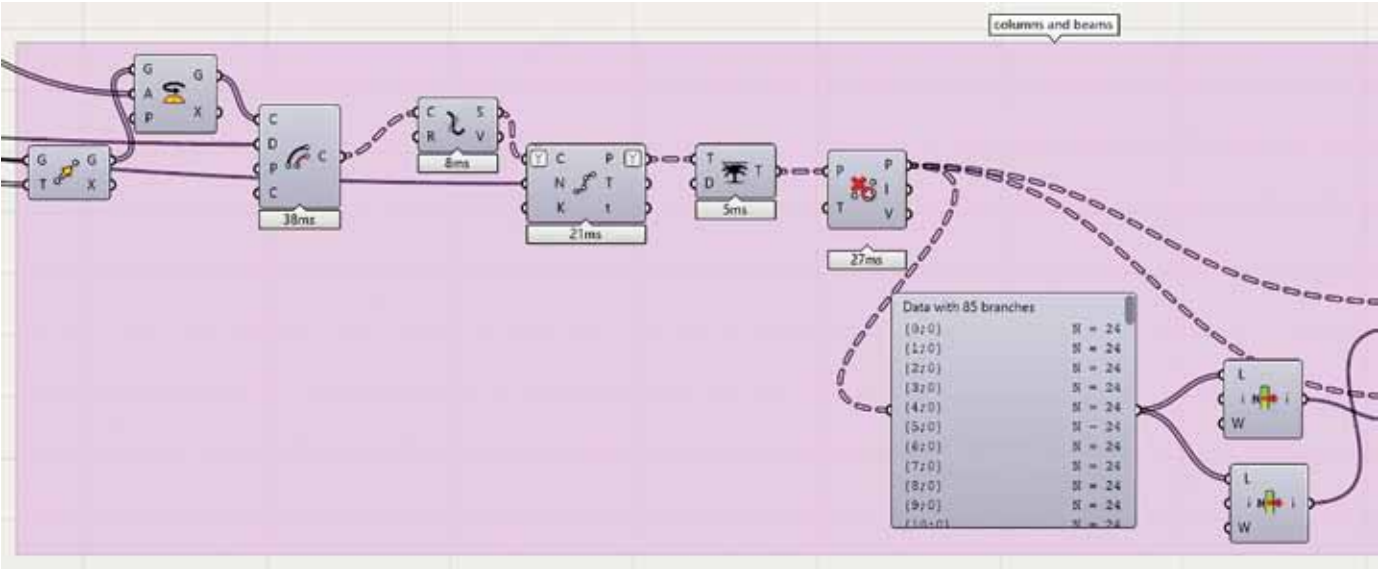


Рис. 1. Алгоритм в среде визуального программирования в общем виде
Fig. 1. Algorithm in the visual programming environment in general

Параметрическое моделирование (то есть создание и изменение модели в автоматическом режиме по набору входных параметров) менее трудоёмко [5; 6]. А применение параметрических скриптов, по некоторым оценкам, сокращает временные затраты на информационное моделирование в 2–2,5 раза [7].

Исследователи интегрируют и параметризуют информационное моделирование и расчёт конструкций [8–12]. Чаще всего для этого создается плагин или приложение либо программируется скрипт в API. Для разработки плагина или приложения привлекаются программисты, так как навыков и знаний инженера для этого недостаточно.

Возможные инструменты реализации интегрированного параметрического подхода – языки визуального программирования, как например, Grasshopper и Dynamo. Их достоинство – это наглядность и простота их освоения по сравнению с написанием кода на текстовом языке программирования (Python, C++, C#, Javascript и др.) [13].

Использование визуального программирования для параметризации проектирования является новым направлением для исследований. Актуальные исследования концентрируют внимание на процессе информационного моделирования [14], предполагают дальнейшую передачу данных в расчётный комплекс через формат IFC и не рассматривают автоматизацию процесса задания нагрузок. При этом задание нагрузок вручную в расчётном комплексе занимает больше времени, чем задание параметризованным способом. Одновременно с этим плагины для Grasshopper имеют инструменты задания нагрузок.

Несмотря на интерес к визуальному программированию, его возможности по параметризации создания аналитических моделей недостаточно освещены в исследованиях. В научных публикациях отсутствует необходимый материал для формирования универсальной методики,

которая бы описывала интегрированное параметрическое проектирование несущих конструкций зданий и сооружений посредством визуального программирования.

Скрипт в среде визуального программирования можно использовать для параметризации процесса формирования информационных и аналитических моделей зданий и сооружений, различных по назначению, конструктивным схемам и объёмно-планировочным решениям. В данном исследовании целесообразно рассмотреть определённый тип зданий для того, чтобы учесть возможные специфические аспекты.

Цель статьи – разработать алгоритм параметрического формирования информационной и аналитической моделей каркасов одноэтажных промышленных зданий с использованием визуального программирования. Эта цель достигается путём решения следующих задач: анализ методических основ параметрического проектирования несущих конструкций, анализ возможностей визуального программирования для параметризации информационного и аналитического моделирования, разработка принципиальной схемы алгоритма в среде визуального программирования и описание этапов методики.

Материалы и методы

Параметрический подход к проектированию выражается в использовании объектов, свойства которых прямо зависят от определяющих параметров. Через изменение этих параметров происходит настройка конечных свойств объектов, будь то геометрические, физические или иные характеристики.

Данный подход характеризуется работой с ранее подготовленным шаблоном параметрического объекта и позволяет получать результат в виде объекта с настроенными свойствами за меньшее время по сравнению с созданием такого же объекта «с нуля».

Ограничивающий фактор для применения параметрического подхода – необходимость создания шаблонов для каждого отдельного типа объектов. Рационально применять такой подход в том случае, когда необходимо создавать множество объектов одного типа.

Визуальное программирование легче в освоении для инженеров-проектировщиков и архитекторов по сравнению с полноценным языком программирования [13; 15].

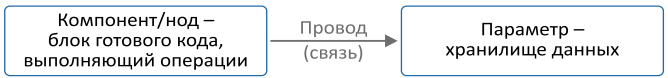


Рис. 2. Структурные элементы алгоритма в среде визуального программирования
Fig. 2. Structural elements of an algorithm in visual programming environment



Рис. 3. Логистическая схема работы со скриптом
Fig. 3. Logistical scheme of work with the script

За счёт наглядного отображения связей между компонентами, или нодами (визуальным выражением функций или готовыми блоками программного кода), алгоритмы в среде визуального программирования значительно проще для редактирования начинающими пользователями (рисунок 1).

Любой алгоритм в среде визуального программирования состоит из компонентов (нодов), параметров и связей между ними (рисунок 2).

Благодаря инструментам для работы со списками и деревьями данных, наличие возможности создания пользовательских нодов на Python среды визуального программирования позволяют строить алгоритмы для ре-

шения любых задач, которые можно решить с помощью программирования.

Для связи с программами информационного моделирования и программами прочностного расчёта в средах визуального программирования используются плагины. Процедуры передачи при этом отличаются незначительно и имеют общую логику. Поэтому алгоритм параметрического формирования информационной и аналитической моделей будет в значительной части общим при использовании любого из существующих на рынке программных комплексов.

Результаты

Работа по предлагаемой методике построена вокруг скрипта в среде визуального программирования, который передаёт сформированные модели в соответствующее ПО. На рисунке 3 представлена логистическая схема взаимодействия ПО, используемого для создания информационной и аналитической моделей. Главной особенностью рассматриваемой методики является «параллельное» формирование моделей.

Расчётная и информационная модели формируются одновременно посредством взаимосвязанных частей скрипта, а затем передаются в соответствующие ПК.

Структура алгоритма представлена на рисунке 4.

Порядок выполнения этапов работы со скриптом представлен на рисунке 5.

Методика параметрической разработки информационной и аналитической моделей состоит из этапов, перечисленных ниже. Для каждого этапа представлено описание содержания:

1. Задание параметров здания – входных параметров скрипта.

На данном этапе производится ввод с клавиатуры и выбор значений определяющих параметров информационной и аналитической моделей здания в соответствующие поля из доступного диапазона значений. К опреде-

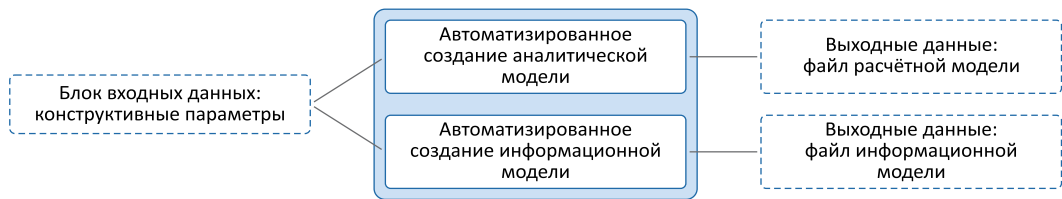


Рис. 4. Структура предлагаемого алгоритма
Fig. 4. Structure of proposed algorithm

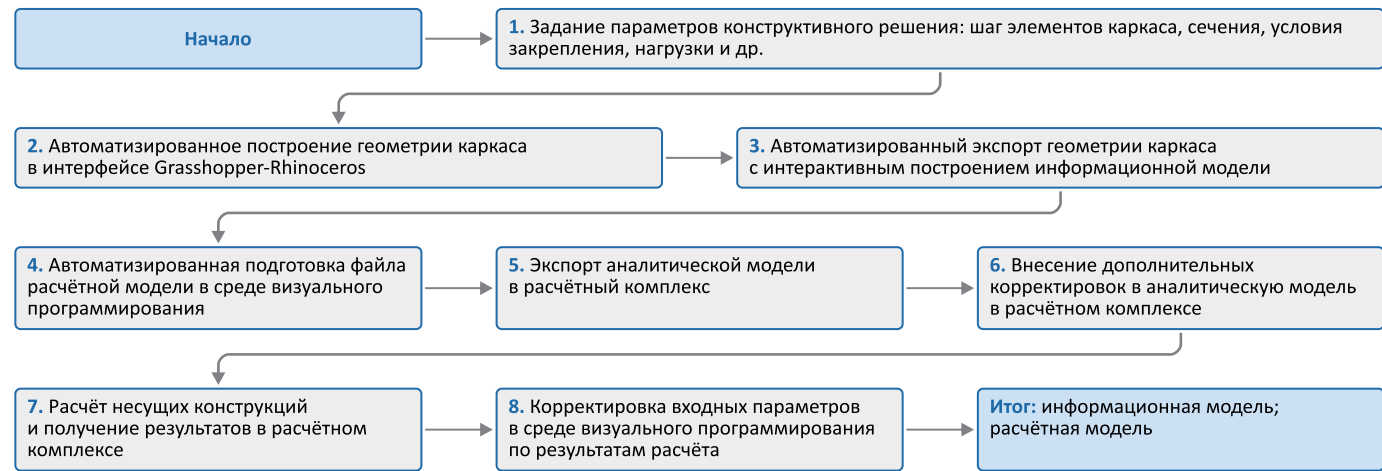


Рис. 5. Схема взаимодействия с предлагаемым алгоритмом
Fig. 5. Structure of interaction with the proposed algorithm

Геометрические параметры	Типологические параметры	Жёсткостные параметры	Параметры нагружений
Пролёт ригеля, шаг колонн, количество шагов, высота колонн, уклон кровли	Тип ригеля (ферма или балка), тип опирания фермы (шарнирное или жёсткое), вид решётки фермы, тип покрытия (с прогонами или без прогонов); тип очертания вертикальных связей по колоннам (крестовые, порталные, односторонние) и их расположение в каркасе, тип решётки связей по покрытию и их расположение	Материалы и поперечные сечения элементов каркаса	Нормативные значения снеговой нагрузки, нагрузки от веса кровли, нагрузки от веса стенового ограждения, ветровой нагрузки, а также коэффициенты надёжности

Табл. 1. Входные параметры скрипта
Tab. 1. Input parameters of the script

ляющим параметрам информационной модели относятся геометрические размеры здания, информация о материалах и сечениях, к параметрам аналитической модели – значения нагрузок, информация о закреплениях (таблица 1).

2. Автоматизированное построение геометрии каркаса в собственном геометрическом редакторе среды визуального программирования.

На данном этапе скриптом производится обработка входных параметров, в результате чего формируется пространственная стержневая геометрическая модель.

3. Создание информационной модели каркаса здания.

На данном этапе пространственная стержневая модель дополняется информацией о поперечных сечениях элементов и материалов, в результате чего формируется файл данных информационной модели, который экспортируется в соответствующий специализированный программный комплекс посредством встроенного плагина.

4. Создание расчётного файла. Автоматизированная подготовка файла расчётной модели в среде визуального программирования.

На данном этапе производится обработка входных параметров, заданных на первом этапе, в результате чего формируется файл расчётной модели, содержащий информацию о расположении стержневых конечных элементов, жёсткостных характеристиках, закреплениях и нагружениях.

5. Экспорт аналитической модели в расчётный комплекс.

На данном этапе происходит передача данных расчётной модели в соответствующий расчётный комплекс. В зависимости от степени интеграции среды визуального программирования с конкретным расчётным комплексом, данные могут передаваться либо в интерактивном режиме, либо посредством загрузки подготовленного файла расчётной модели.

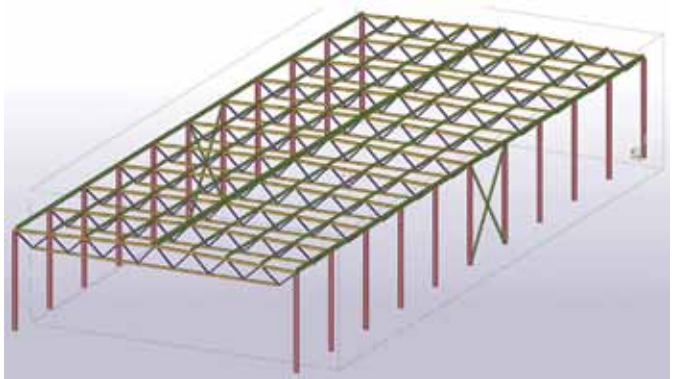


Рис. 6. Информационная модель каркаса, полученная с помощью алгоритма
Fig. 6. The information model of the frame obtained using the algorithm

6. Внесение дополнительных корректировок в аналитическую модель в расчётном комплексе.

На этом этапе производят изменение тех параметров расчётной модели, которые пока что не доступны для изменения посредством стандартных нодов среды визуального программирования. К таким изменениям относятся задание расчётных сочетаний усилий (РСУ), комбинаций нагружений, формирование динамических нагружений, формирование групп конструктивных элементов, задание данных для проверки стальных сечений.

7. Расчёт несущих конструкций и получение результатов в расчётном комплексе.

Производится расчёт сформированной расчётной модели, подбор и проверка сечений в интерфейсе вычислительного комплекса.

8. Корректировка входных параметров в среде визуального программирования по результатам расчёта.

На данном этапе производится внесение изменений во входные параметры скрипта в среде визуального программирования. Затем скрипт производит пересоздание информационной и расчётной моделей.

Результат работы со скриптом по данной методике – информационная и расчётная модели.

При работе по методике большинство операций производится в интерфейсе среды визуального программирования. Взаимодействие с программами по информационному моделированию и расчёту конструкций осуществляется автоматически в интерактивном режиме – то есть при задании значения параметра в исходной части алгоритма изменения одновременно вносятся в информационную модель каркаса. Передача данных в расчётный комплекс происходит через импорт файла расчётной модели, подготовленного в среде визуального программирования.

Для реализации связи с программными комплексами информационного моделирования и прочностного расчёта используются плагины и пользовательские ноды на

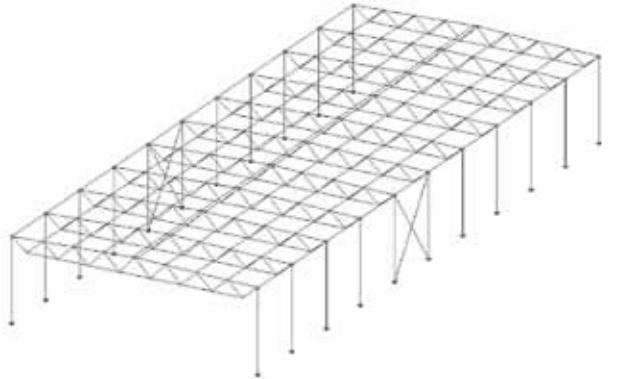


Рис. 7. Расчётная модель каркаса, полученная с помощью алгоритма
Fig. 7. Analytical model of the frame obtained using the algorithm

Python. При этом создание информационной и аналитической моделей предлагается проводить параллельно в отдельных ветках скрипта. Это позволит учесть точное расположение конструкций относительно друг друга в информационной модели и корректно сформировать идеализированную схему из стержневых конечных элементов в аналитической модели.

Для практической демонстрации возможностей алгоритма был создан скрипт в среде визуального программирования. В результате задания сходных параметров были автоматизированно созданы информационная и расчётная модели стального каркаса здания в специализированном ПО (рисунок 6, рисунок 7).

Информационная модель, помимо геометрии элементов конструкций, содержит атрибутивную информацию, заданную скриптом (материал сечений, класс деталей, префиксы сборок и др.).

Полученная расчётная модель содержит стержневую конечно-элементную схему с приложенными нагрузками, условиями закрепления и жёсткостями элементов (рисунок 7).

Обсуждение

Разработанный алгоритм, в отличие от ранее представленной работы с переносом модели в расчётный комплекс через формат IFC [14], предполагает создание аналитической модели в среде визуального программирования с непосредственной передачей в расчётный комплекс. Таким образом, данные о расчётной модели передаются в полном и необходимом для расчёта объёме, а параметризация касается не только создания аналитической и геометрической схем, но и задания нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург, А. В. Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: обзор / А. В. Гинзбург, Л. А. Адамцевич, А. О. Адамцевич. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.7.885-911 // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 7. – С. 885–911.
2. Kozlovska, M. Impact of industry 4.0 platform on the formation of construction 4.0 concept: A literature review / M. Kozlovska, D. Klosova, Z. Strukova // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 5. – Art. 2683.
3. Travush, V. I. Contemporary Digital Technologies in Construction Part 2: About Experimental & Field Studies, Material Sciences, Construction Operations, BIM and «Smart» City / V. I. Travush, A. M. Belostosky, P. A. Akimov. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012030 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering, 1–8 July 2018, Novosibirsk. – Novosibirsk, 2018. – Vol. 456, No. 1. – Art. 012030.
4. Травуш, В. И. Цифровые технологии в строительстве / В. И. Травуш. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117 // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 3. – С. 107–117.
5. Shepherd, P. Aviva Stadium – The use of parametric modelling in structural design / P. Shepherd // Structural Engineer. – 2011. – Vol. 89, No. 3.
6. Optimization-driven conceptual design of truss structures in a parametric modelling environment / L. He, Q. Li, M. Gilbert, P. Shepherd, C. Rankine, T. Pritchard, V. Reale. – DOI 10.1016/j.istruc.2021.12.048 // Structures. – 2022. – Vol. 37. – Pp. 469–482.
7. Параметрическое моделирование конструкций в среде визуального программирования / Н. А. Бузало, Н. Г. Царитова, И. Д. Платонова, В. Н. Лысенко // Вестник евразийской на-

Достоинства алгоритма:

- Реализация связи различных сочетаний программного обеспечения с похожим функционалом, что позволяет использовать наиболее подходящие для выбранного типа задач программные и расчётные комплексы.
- Пользователь может изменять и дополнять скрипт.

В перспективе использование данного подхода облегчит процесс формирования однотипных информационных и расчётных моделей конструктивных решений объекта строительства, позволит автоматизировать и ускорить процесс проектирования гипотетически до 40 %.

Заключение

Предложенный алгоритм основан на принципе интеграции и параметризации процессов проектирования. Особенность рассмотренного решения – параметризация параллельного формирования информационной и аналитической моделей в единой среде, за счёт чего предполагается снижение трудоёмкости и прирост производительности при проектировании. Предварительно данный алгоритм оценивается эффективным для решения задач проектирования несущих конструкций зданий и сооружений. Данный подход может применяться при вариантном проектировании, оценке и оптимизации конструктивных решений.

Создание и развитие инструментов для визуального программирования в отечественном ПО можно назвать перспективным направлением для исследований, поскольку такой тип программирования широко зарекомендовал себя при решении задач строительного проектирования и внедряется в ведущие программные комплексы за рубежом.

уки. – 2021. – Т. 13, № 4.

8. Martini, K. Optimization and parametric modelling to support conceptual structural design / K. Martini. – DOI:10.1260/1478-0771.9.2.151 // International Journal of Architectural Computing. – 2011. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 151–166.
9. Danhaive, R. A. Combining parametric modeling and interactive optimization for high-performance and creative structural design / R. A. Danhaive, C. T. Mueller // Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures, (IASS), Amsterdam, 2015. – Amsterdam, 2015.
10. Rolvink, A. Coenders Parametric Structural Design and beyond / A. Rolvink, R. Van de Straat, J. Coenders. – DOI 10.1260/1478-0771.8.3.319 // International Journal of Architectural Computing. – 2010. – Vol. 8, No. 3. – Pp. 319–336.
11. Reisinger, J. Parametric Structural Design for automated Multi-Objective Optimization of Flexible Industrial Buildings / J. Reisinger, M. Knoll, I. Kovacic. – DOI 10.22260/ISARC2020/0028 // From Demonstration to Practical Use – To New Stage of Construction Robot / Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC-2020, Kitakyushu, Japan, 2020. – 2020. – Pp. 185–192.
12. Apellániz, D. Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox / D. Apellániz, R. Vierlinger. – DOI 10.1002/stco.202200004 // Steel Construction. – 2022. – Vol. 15, № 3. – Pp. 188–195.
13. Leitão, A. M. Programming languages for generative design: A comparative study / A. M. Leitão, L. Santos, J. Lopes. – DOI 10.1260/1478-0771.10.1.139 // International Journal of Architectural Computing. – 2012. – Vol. 10, No. 1. – Pp. 139–162.
14. Георгиев, Н. Г. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций / Н. Г. Георгиев, К. А. Шумилов, А. А. Семёнов // Инженерно-строительный

вестник Прикаспия. – Астрахань : ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», 2021. – № 4 (38). – С. 117–123.

15. Клековкин, Е. А. Применение визуального программирова-

REFERENCES

1. Ginzburg, A. V. Stroitel'naya otrasl' i kontsepsiya «Industriya 4.0»: obzor [The construction industry and the Industry 4.0 concept: a review] / A. V. Ginzburg, L. A. Adamtsevich, A. O. Adamtsevich. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.7.885-911 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2021. – Vol. 16, No. 7. – Pp. 885–911.
2. Kozlovska, M. Impact of industry 4.0 platform on the formation of construction 4.0 concept: A literature review / M. Kozlovska, D. Klosova, Z. Strukova // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 5. – Art. 2683.
3. Travush, V. I. Contemporary Digital Technologies in Construction Part 2: About Experimental & Field Studies, Material Sciences, Construction Operations, BIM and «Smart» City / V. I. Travush, A. M. Belostosky, P. A. Akimov. – DOI 10.1088/1757-899X/456/1/012030 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering, 1–8 July 2018, Novosibirsk. – Novosibirsk, 2018. – Vol. 456, No. 1. – Art. 012030.
4. Travush, V. I. Tsifrovye tekhnologii v stroitel'stve [Digital technologies in construction] / V. I. Travush. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117 // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]. – 2018. – No. 3. – P. 107–117.
5. Shepherd, P. Aviva Stadium – The use of parametric modeling in structural design / P. Shepherd // Structural Engineer. – 2011. – Vol. 89, No. 3.
6. Optimization-driven conceptual design of truss structures in a parametric modelling environment / L. He, Q. Li, M. Gilbert, P. Shepherd, C. Rankine, T. Pritchard, V. Reale // Structures. – 2022. – Vol. 37. – Pp. 469–482.
7. Parametricheskoe modelirovanie konstruksij v srede vizual'nogo programmirovaniya [Parametric modeling of construction in the visual programming environment] / N. A. Buzalo, N. G. Saratova, I. D. Platonova, V. N. Lysenko // Vestnik evrazijskoj nauki [The Eurasian Scientific Journal]. – 2021. – Vol. 13, No. 4.
8. Martini, K. Optimization and parametric modelling to support conceptual structural design / K. Martini. – DOI:10.1260/1478-0771.9.2.151 // International Journal of Architectural Comput-

ния для задач автоматизации в строительстве / Е. А. Клековкин, А. С. Сунцов. – DOI 10.15593/2224-9826/2023.2.10 // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 128–143.

ing. – 2011. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 151–166.

9. Danhaive, R. A. Combining parametric modeling and interactive optimization for high-performance and creative structural design / R. A. Danhaive, C. T. Mueller // Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures, (IASS), Amsterdam, 2015. – Amsterdam, 2015.
10. Rolvink, A. Coenders Parametric Structural Design and beyond / A. Rolvink, R. Van de Straat, J. Coenders. – DOI 10.1260/1478-0771.8.3.319 // International Journal of Architectural Computing. – 2010. – Vol. 8, No. 3. – Pp. 319–336.
11. Reisinger, J. Parametric Structural Design for automated Multi-Objective Optimization of Flexible Industrial Buildings / J. Reisinger, M. Knoll, I. Kovacic. – DOI 10.22260/ISARC2020/0028 // From Demonstration to Practical Use – To New Stage of Construction Robot / Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC-2020, Kitakyushu, Japan, 2020. – 2020. – Pp. 185–192.
12. Apellániz, D. Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox / D. Apellániz, R. Vierlinger. – DOI 10.1002/stco.202200004 // Steel Construction. – 2022. – Vol. 15, № 3. – Pp. 188–195.
13. Leitão, A. M. Programming languages for generative design: A comparative study / A. M. Leitão, L. Santos, J. Lopes. – DOI 10.1260/1478-0771.10.1.139 // International Journal of Architectural Computing. – 2012. – Vol. 10, No. 1. – Pp. 139–162.
14. Georgiev, N. G. Vizual'noe programmirovanie v zadachakh modelirovaniya stroitel'nykh konstruksij [Visual programming in the problems of modeling building structures] / N. G. Georgiev, K. A. Shumilov, A. A. Semenov // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. – Astrakhan : GAOU AO VO «Astrakhanskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet» [Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2021. – No. 4 (38). – Pp. 117–123.
15. Klekovkin, E. A. Primenenie vizual'nogo programmirovaniya dlya zadach avtomatizatsii v stroitel'stve [Application of visual programming for automation tasks in construction] / E. A. Klekovkin, A. S. Suntsov. – DOI 10.15593/2224-9826/2023.2.10 // Construction and Geotechnics [Construction and geotechnics]. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – Pp. 128–143.

УДК 69.003

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_85

Оптимизация процессов использования строительной техники с применением методов линейного программирования

Optimization of Processes of Using Construction Equipment Using Linear Programming Methods

Лепидус Азарий Абрамович

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

Lapidus Azariy Abramovich

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

Тускаева Залина Руслановна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Строительное производство», декан Архитектурно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» (СКГМИ (ГТУ)), Россия, 362021, Республика Северная Осетия – Алания, Владикавказ, улица Николаева, 44, tuskaevazalina@yandex.ru

Tuskaeva Zalina Ruslanovna
Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Architecture and Construction, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, tuskaevazalina@yandex.ru

Соколова Елена Ивановна

Старший преподаватель кафедры «Физико-математические дисциплины», ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» (СКГМИ (ГТУ)), Россия, 362021, Республика Северная Осетия – Алания, Владикавказ, улица Николаева 44, elesok15@yandex.ru

Sokolova Elena Ivanovna

Senior Lecturer of the Department of Physics and Mathematics, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) (NCIMM (STU)), Russia, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Vladikavkaz, ulitsa Nikolaeva, 44, elesok15@yandex.ru

Аннотация. Целью написания статьи является разработка алгоритма нахождения оптимального решения в процессе использования строительных машин и механизмов.

Строительство – это динамичная отрасль, характерной особенностью которой являются многочисленные параллельно осуществляемые процессы, требующие одновременно больших затрат разных ресурсов: материально-технических, трудовых и финансовых. Эта та отрасль, которая требует ежедневного рассмотрения и решения задач, связанных с оптимизацией процессов и применяемых при этом ресурсов.

В решении подобных задач не обойтись без математики. Благодаря этой науке есть возможность адаптировать различные виды моделей для решения задач в области планирования, организации и управления строительством.

Строительные машины и механизмы – один из производственных ресурсов, используемых как при производстве строительных работ, так и при доставке грузов к месту установки или использования. С учётом огромного объёма перевозок и

разнообразной номенклатуры материалов, затраты на использование машин и механизмов составляют ощутимую величину в составе стоимости строительно-монтажных работ.

Решаемая задача относится к экономико-математическим моделям. Основной целью её является предварительный поиск, анализ и планирование наиболее рациональных схем использования строительной техники.

В ходе поиска наиболее целесообразного решения для выполнения задач, связанных с оптимизацией рассматриваемых в статье вопросов, применены методы линейного программирования. Предложен алгоритм решения для формирования плана по наиболее оптимальному использованию ресурсов, в данном случае строительных машин. Основным критерием выбора в предлагаемых задачах являются время доставки и стоимость как ключевые факторы оценки.

Ключевые слова: строительные машины, оптимальное решение, транспортная задача, линейное программирование.

Considering the huge volume of transportation and the diverse range of materials, the costs of using machines and mechanisms constitute a significant amount in the cost of construction and installation work.

The problem being solved relates to economic and mathematical models. Its main goal is a preliminary search, analysis and planning of the most rational schemes for using construction equipment. In the search for the most appropriate solution for solving problems related to the optimization of the issues discussed in the article, linear programming methods were used. A solution algorithm is proposed for forming a plan for the most optimal use of resources, in this case construction machines. The main selection criterion in the proposed tasks is delivery time and cost, as key evaluation factors.

Keywords: construction machines, optimal solution, transport problem, linear programming.

планирования, а линейность выражается системой линейных уравнений или неравенств. Задачи линейного программирования могут решаться на основе симплекс-метода. Однако следует подчеркнуть, что с практической точки зрения желательно применение менее громоздких методов. Метод потенциалов позволяет быстро и удобно произвести расчёты.

Материалы и методы

Методы линейного программирования в строительстве достаточно активно используются с середины 60-х годов прошлого века. Имеются серьёзные научные исследования и прикладные разработки [5–10]. Именно в сфере строительного производства, как наиболее материалоемкой отрасли, особо актуальны задачи, обеспечивающие нахождение оптимальных схем перевозок.

Одной из основных задач линейного программирования является транспортная задача (ТЗ). Основная её

Пункты отправления	Пункты назначения				Запасы
	B_1	B_2	...	B_n	
A_1	$x_{11}(c_{11})$	$x_{12}(c_{12})$	...	$x_{1n}(c_{1n})$	a_1
A_2	$x_{21}(c_{21})$	$x_{22}(c_{22})$	...	$x_{2n}(c_{2n})$	a_2
...	...	...	...	...	...
A_m	$x_{m1}(c_{m1})$	$x_{m2}(c_{m2})$	...	$x_{mn}(c_{mn})$	a_m
Потребности	b_1	b_2	...	b_n	

Табл. 1. План перевозок
Tab. 1. Transportation plan

цель – формирование наиболее рациональных грузовых перевозок, обеспечивающих снижение себестоимости [11; 12; 13].Подход к решению задачи может быть разным: в отдельных случаях требуется составление плана перевозок, при котором стоимость минимальна, а в других основным критерием выступает время. Первая ТЗ получила название по критерию стоимости, вторая – по критерию времени.

Общая постановка задачи предполагает определение оптимального плана для перевозок груза из пунктов $A_1, A_2, \dots, A_m$ в пункты $B_1, B_2, \dots, B_n$ с тарифом доставки c_{ij} из пункта A_i в пункт B_j . По условиям задачи требуется составить план перевозок, предполагающий выполнение всех заявок и вывоз всех грузов и имеющий при этом минимальную стоимость.

Через x_{ij} обозначим количество единиц груза, перевозимого от i -го поставщика в j -й пункт назначения.

Математическая постановка задачи состоит в определении минимального значения функции:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \tag{1}$$

при условиях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j \quad (j = \overline{1, n}), \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i \quad (i = \overline{1, m}), \\ x_{ij} &\geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \end{aligned}$$

План перевозок для удобств выполнения расчётов записывается в виде таблицы 1.

В ходе решения поставленной задачи рекомендуется использование методов линейного программирования, в частности транспортной задачи. Предложенный в статье алгоритм решения основан на методе северо-западного угла и методе потенциалов.

Результаты

Строительные площадки B_1, B_2, B_3, B_4 в течение смены изготавливают строительные конструкции в объёме 20, 120, 20 и 60 м³. Доставка бетона осуществляется с трёх заводов (бетонно-растворных узлов) A_1, A_2, A_3 в объёмах 100, 70, 50 м³.

Завод	Строительная площадка				Объём производства
	B_1	B_2	B_3	B_4	
A1	6	4	2	4	100
A2	1	2	7	2	70
A3	2	4	1	4	50
Потребности	20	120	20	60	

Табл. 2. Закрепление площадок к бетонно-растворным узлам
Tab. 2. Fastening platforms to concrete-mortar units

Стоимость перевозки 1 м³ бетона с заводов на строительные площадки приведены в таблице 1 (в денежных единицах на м³).

Суть решения задачи сводится к закреплению площадок B_1, B_2, B_3, B_4 к бетонно-растворным узлам таким образом, чтобы обеспечить минимальные затраты на перевозку бетона при полном их обеспечении (см. таблицу 2).

Пошаговое решение

I. Строительство первоначального опорного плана

1 шаг. Определим план перевозок, используя метод северо-западного угла.

Суть этого метода заключается в том, что таблицу перевозок начинаем заполнять с левой верхней клетки, перемещаясь по строке вправо или по столбцу вниз. В клетку (1; 1) заносится меньшее из сравниваемых чисел a_1 или b_1 :

$$x_{11} = \min\{a_1; b_1\}.$$

Возможны три варианта:

1) В случае, когда $a_1 < b_1, x_{11} = a_1$. Из рассмотрения первая строка исключается. Это означает, что потребность потребителя b_1 снижается на величину a_1 . Следующий шаг – опускаемся по столбцу вниз и заполняем (2; 1), куда заносится:

$$x_{21} = \min\{a_2; b_1 - a_2\}.$$

2) В случае, когда $a_1 > b_1$, то $x_{11} = b_1$. Первый столбец «закрывается», а наличие груза у поставщика первого a_1 уменьшается на b_1 .

Двигаемся дальше по первой строке вправо, записывая в соседнюю клетку (1; 2):

$$x_{12} = \min\{a_1 - b_1; b_2\}.$$

3) Если $a_1 = b_1$, то $x_{11} = a_1 = b_1$. «Закрытыми» будут и первая строка, и первый столбец. Далее заполняем клетку (2; 2):

$$x_{12} = \min\{a_1; b_2\}.$$

Действия продолжаютсся до того момента, пока не исчерпаются ресурсы a и потребности b .

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60
100	6	4	2	4
70	1	2	7	2
50	2	4	1	4

Табл. 3. Исходный базисный план перевозок
Tab. 3. Initial baseline transportation plan

Определим исходный базисный план (методом северо-западного угла), исходные данные которого сведены в таблицу 2, отразим его в таблице 3.

- $x_{11} = \min\{100; 20\} = 20$. Столбец 1 «закрыт» (т. к. запасы первого поставщика исчерпаны), а потребность второго потребителя (столбец 2) уменьшается на 20 единиц и становится равной 80 единицам.
- $x_{12} = \min\{80; 120\} = 80$. Строка 1 «закрыта». Потребность второго потребителя (столбец 2) уменьшается на 80 единиц и становится равна 40 единицам.
- $x_{22} = \min\{40; 70\} = 40$. Столбец 2 «закрыт». Наличие груза у второго поставщика (строка 2) уменьшается на 40 единиц и становится равным 30.
- $x_{23} = \min\{30; 20\} = 20$. Столбец 3 «закрыт». Груз у второго поставщика уменьшается на 20 единиц. Становится равным 10 единицам.
- $x_{24} = \min\{10; 60\} = 10$. Запасы второго поставщика исчерпаны. Потребности четвёртого потребителя уменьшаются на 10 единиц. Опускаемся по столбцу вниз.
- $x_{34} = \min\{50; 50\} = 50$. Потребности четвёртого потребителя удовлетворены, запасы третьего поставщика исчерпаны.
- С учётом тарифов перевозок подсчитаем суммарные транспортные расходы.
- $L_1 = 20 \cdot 6 + 80 \cdot 4 + 40 \cdot 2 + 20 \cdot 7 + 10 \cdot 2 + 50 \cdot 4 = 880$ (ден. ед.).

2 шаг. Определим план перевозок методом минимальной стоимости. Суть заключается в том, что из таблицы стоимостей выбирают наименьшую.

В клетку, соответствующую ей, помещают меньшее из чисел a_i или b_j . Далее исключают либо строку, соответствующую поставщику, запасы которого полностью израсходованы, либо столбец, соответствующий потребителю, потребное количество запасов которого полностью удовлетворено, либо строку и столбец, если израсходованы запасы поставщика и удовлетворены потребности потребителя.

Алгоритм повторяется до того момента, пока все запасы и потребности не будут распределены и удовлетворены.

Попытаемся определить опорный базисный план методом минимальной стоимости для заданной транспорт-

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60
100	6	4	2	4
70	1	2	7	2
50	2	4	1	4

Табл. 4. Определение опорного базисного плана методом минимальной стоимости

Tab. 4. Determining the reference baseline using the minimum cost method

ной задачи и отразим его в таблице 4.

1. Переменным x_{21} и x_{33} соответствуют клетки с минимальными стоимостями перевозок $c_{21} = c_{33}$. Заполняем эти клетки:

$$x_{21} = \min\{70; 20\} = 20.$$

Первый столбец будет «закрыт», так как потребности потребителя B_1 удовлетворены. При этом запасы поставщика A_2 становятся равными $70 - 20 = 50$ ед. груза:

$$x_{33} x_{32} = \min\{50; 20\} = 20.$$

Третий столбец вычёркивается, так как потребности удовлетворены. Запасы поставщика A_3 уменьшаются на 20 ед. и становятся равными $50 - 20 = 30$ ед. груза.

2. В оставшейся незаполненной части таблицы переменным x_{22} и x_{24} соответствуют клетки с наименьшей стоимостью $c_{22} = c_{24} = 2$. Заполняем клетку (2; 2), так как в неё можно вписать min поставку из необходимых:

$$x_{22} = \min\{50; 120\} = 50.$$

И вторая строка исключается из дальнейшего рассмотрения (запасы поставщика A_2 израсходованы), а потребности у B_2 уменьшаются на 50 ед. груза и будут равны $120 - 50 = 70$ ед.

3. В оставшейся части таблицы незаполненные клетки имеют одинаковый тариф перевозок:

$$C_{12} = C_{14} = C_{32} = C_{34} = 4.$$

Заполняем клетку (1; 2), так как в неё можно вписать min поставку из необходимых:

$$x_{12} = \min\{100; 70\} = 70.$$

Второй столбец исключаем из дальнейшего рассмотрения, поскольку потребности потребителя B_2 удовлетворены. Запасы поставщика A_1 уменьшаются на 70 ед. груза и становятся равными $100 - 70 = 30$ ед. груза.

В таблице остаётся один столбец (столбец 4) – это завершающий шаг процесса:

$$x_{14} = \min\{30; 60\} = 30.$$

Запасы A_1 исчерпаны, а потребности B_4 уменьшаются на 30 ед.:

$$x_{34} = \min\{30; 30\} = 30.$$

Таблица перевозок заполнена. Подсчитаем суммарные транспортные расходы:

$$L_2 = 70 \cdot 4 + 30 \cdot 4 + 20 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 20 \cdot 1 + 30 \cdot 4 = 280 + 120 + 20 + 100 + 20 + 120 = 660 \text{ (ден. ед.)}.$$

3 шаг. Определяем план перевозок методом двойного предпочтения. Для этого находим в таблице клетки с наименьшим тарифом перевозок в каждой строке и отмечаем их знаком $\checkmark$. Затем ту же операцию проводим для столбцов. В результате некоторые из клеток таблицы будут отмечены знаком $\checkmark\checkmark$ (двойного предпочтения). Заполняем план перевозок, начиная с клетки, отмеченной 2 раза и с наименьшей себестоимостью перевозок. Результат этого метода поместим в таблицу 5.

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60
100	6	4	$\checkmark$	2
70	$\checkmark\checkmark$ 20	$\checkmark$ 2	$\checkmark$ 7	$\checkmark$ 2
50	2	4	$\checkmark\checkmark$ 20	10

Табл. 5. План перевозок методом двойного предпочтения
Tab. 5. Double Preference Transportation Plan

$$\begin{aligned} x_{12} &= \min\{70; 20\} = 20; \\ x_{33} &= \min\{50; 20\} = 20; \\ x_{24} &= \min\{70-20; 60\} = 50; \\ x_{12} &= \min\{100; 120\} = 100; \\ x_{32} &= \min\{50-20; 120-100\} = 20; \\ x_{34} &= \min\{50-20-20; 60-50\} = 10. \end{aligned}$$

Если таблица перевозок заполнена таким методом, то суммарные транспортные расходы будут равны:

$$L_2 = 100 \cdot 4 + 20 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 20 \cdot 4 + 20 \cdot 1 + 10 \cdot 4 = 400 + 20 + 100 + 80 + 20 + 40 = 660 \text{ (ден. ед.)}.$$

II. Применение метода потенциалов

Далее перейдём к построению новых опорных решений, улучшающих друг друга. С этой целью используем метод потенциалов.

В качестве базисного плана возьмём план, определённый методом минимального элемента (см. таблицу 5). Количество заполненных клеток равно $m + n - 1 = 7 - 1 = 6$. Следовательно, план невырожденный.

1 шаг. За каждым поставщиком и потребителем закрепляется число, называемое **потенциалом**. Каждому поставщику A_i (по строке) соответствует потенциал U_i ($i = 1, 2, 3$), а каждому потребителю B_j (по столбцу) соответствует потенциал V_j ($j = 1, 2, 3, 4$).

Потенциалы выбираются согласно условию: сумма для каждой загруженной грузом клетки должна быть равна тарифу перевозки единицы груза. Так как (i, j) – базисная (занятая) клетка, то

$$U_i + V_j = C_{ij} \quad (2)$$

где U_i – потенциал i -ой строки;

V_j – потенциал j -го столбца;

C_{ij} – стоимость перевозки.

Для каждой заполненной клетки по формуле (2) определяем значения потенциалов и записываем их в таблицу 6, справа и снизу против соответствующих строк и столбцов.

$$\begin{cases} U_1 + V_2 = 4; \\ U_1 + V_4 = 4; \\ U_2 + V_1 = 1; \\ U_2 + V_2 = 2; \\ U_3 + V_3 = 1; \\ U_3 + V_4 = 4. \end{cases}$$

Полученная система должна включать количество уравнений $(m + n - 1)$ с $(m + n)$ неизвестными. Такая система имеет множество решений. Любое из решений может содержать искомые потенциалы. Чтобы найти одно из решений, обычно полагают $U_1 = 0$ и далее находят остальные:

$$\begin{cases} U_1 = 0; \\ U_2 = -2; \\ U_3 = 0; \\ V_2 = 4; \\ V_4 = 4; \\ V_3 = 1; \\ V_1 = 4; \end{cases}$$

2 шаг. Для всех незаполненных клеток рассчитываем оценки по формуле 3:

$$S_{ij} = C_{ij} - (U_i + V_j). \quad (3)$$

Если в ходе расчётов в таблице не окажутся клетки с отрицательной оценкой (если $S_{ij} \geq 0$), то план считается оптимальным.

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60	U_i
100	6	4	2	4	0
70	1	2	7	2	-2
50	2	4	1	4	0
V_j	3	4	1	4	

Табл. 6. Базисный план, определённый методом минимального элемента

Tab. 6. Basic plan determined by the minimum element method

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60	U_i
100	6	4	2	4	0
70	1	2	7	2	-2
50	2	4	1	4	0
V_j	3	4	1	4	

Табл. 7. Значения потенциалов

Tab. 7. Potential values

$$\begin{aligned} S_{11} &= 6 - (3 + 0) = 3; \\ S_{13} &= 2 - (1 + 0) = 1; \\ S_{23} &= 7 - (1 - 2) = 8; \\ S_{24} &= 2 - (4 - 2) = 0; \\ S_{31} &= 2 - (3 + 0) = -1; \\ S_{32} &= 4 - (4 + 0) = 0. \end{aligned}$$

План L_2 не оптимальный, т. к. $S_{31} < 0$.

3 шаг. При наличии хотя бы одной отрицательной оценки $S_{ij} < 0$ в число базисных клеток вводят клетку, для которой оценка S_{ij} максимальна по абсолютной величине. И для клетки с этой оценкой строится цепь пересчёта.

Клетка (3; 1) имеет отрицательную оценку. Начиная с неё, строим цепь. Из выбранной свободной клетки (3; 1) проводится по строке или столбцу прямая линия до любой занятой клетки, затем под углом 90° линия проводится до следующей занятой клетки и так до тех пор, пока цепь не замкнётся в исходной клетке. Таким образом, все вершины цепи должны находиться в занятых (заполненных) клетках, кроме одной – той, с которой начинается построение цепи.

4 шаг. В вершинах цепи чередуя проставляем знаки плюс и минус, начиная со свободной клетки. В клетках с минусом выбирается минимальная поставка, которая перераспределяется по цепи: там, где стоит знак плюс, она прибавляется, а где знак минус – отнимается. Исходная свободная клетка становится занятой.

В рассматриваемой задаче минимальная поставка в клетках, отмеченных знаком минус, равна 20. Поэтому из клеток (1; 2), (3; 4) и (2; 1) по 20 отнимаем, а в клетке (3; 1), (1; 4), (2; 2) по 20 добавляем. Получаем новый план перевозок (таблица 8). Полученный план невырожденный (число заполненных клеток $m + n - 1 = 7 - 1 = 6$).

$A_i \backslash B_j$	20	120	20	60
100	6	4	2	4
70	1	2	7	2
50	2	4	1	4

Табл. 8. Новый план перевозок

Tab. 8. New transportation plan

	20	120	20	60	U_i
100	5	4	2	4	0
70	1	2	7	2	-2
50	2	4	1	4	0
V_i	2	4	1	4	

Табл. 9. Откорректированный план перевозок
Tab. 9. Adjusted transportation plan

Подсчитываем транспортные расходы:
 $L = 50 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 70 \cdot 2 + 20 \cdot 2 + 20 \cdot 1 + 10 \cdot 4 = 200 + 200 + 140 + 40 + 20 + 40 = 640$ (ден. ед.).
5 шаг. Переходим к шагу 1 алгоритма.
Для каждой заполненной клетки по формуле (2) определяем значение потенциалов и записываем их в таблицу 9.

$$\begin{cases} U_1 + V_2 = 4; \\ U_1 + V_4 = 4; \\ U_2 + V_1 = 1; \\ U_2 + V_2 = 2; \\ U_3 + V_3 = 1; \\ U_3 + V_4 = 4. \end{cases}$$

Полагая $U_1 = 0$, находим значения остальных потенциалов:

$$\begin{cases} U_2 = 2; \\ U_3 = 0; \\ V_2 = 4; \\ V_4 = 4; \\ V_3 = 1; \\ V_1 = 2. \end{cases}$$

6 шаг. Переходим к шагу 2 алгоритма.
Для всех свободных клеток по формуле (3) рассчитаем оценки свободных клеток:

$$\begin{aligned} S_{11} &= 6 - (2 + 0) = 4; \\ S_{13} &= 2 - (1 + 0) = 1; \\ S_{21} &= 1 - (2 + (-2)) = 1; \\ S_{23} &= 7 - (1 + (-2)) = 0; \\ S_{32} &= 4 - (4 + 0) = 0. \end{aligned}$$

Поскольку все оценки не отрицательны, то получен оптимальный план. Значения базисных переменных в оптимальном плане:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранов, Г. С. Экономико-математическое моделирование в решении организационно-управленческих задач в строительстве / Г. С. Гранов, Г. Ш. Сафаров, К. Р. Тагирбеков. – Москва : АСВ, 2001. – 64 с.
2. Райвет, П. Исследование операций : Пособие для адм.-управленческих работников / П. Райвет, Р. Л. Акофф ; Сокр. пер. с англ. В. Я. Алтаева ; Под ред. д-ра техн. наук А. Я. Ларнера. – Москва : МИР, 1966. – 143 с.
3. Исследование операций : Учебник / Б. К. Годованик, Л. А. Егоров, С. Г. Зеленцов и др. ; Под редакцией Б. Н. Юркова ; Воен.-инж. акад. им. В. В. Куйбышева. – Москва : ВИА, 1990. – 528 с.
4. Конюховский, П. В. Математические методы исследования операций в экономике : Учеб. пособие / П. В. Конюховский. – Санкт-Петербург : Питер, 2002. – 208 с.
5. Батищев, Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников ; Рос. АН, Ин-т прикладной физики. – Нижний Новгород : ИПФ, 1994. – 92 с.

$$\begin{aligned} x_{12} &= 50 \text{ (ед. груза),} \\ x_{14} &= 50 \text{ (ед. груза),} \\ x_{22} &= 70 \text{ (ед. груза),} \\ x_{31} &= 20 \text{ (ед. груза),} \\ x_{33} &= 20 \text{ (ед. груза),} \\ x_{34} &= 10 \text{ (ед. груза).} \end{aligned}$$

Транспортные расходы:
 $L_{\text{оптим}} = 50 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 70 \cdot 2 + 20 \cdot 2 + 20 \cdot 1 + 10 \cdot 4 = 200 + 200 + 140 + 40 + 20 + 40 = 640$ (ден. ед.)

Ответ:
 $L_1 = 880$ (ден. ед.),
 $L_2 = 660$ (ден. ед.),
 $L_3 = 660$ (ден. ед.),
 $L_{\text{оптим}} = 640$ (ден. ед.).

Обсуждение
Предлагаемый алгоритм решения позволил получить наиболее оптимальный вариант грузовых поставок. Применение подобных задач способствует снижению затрат на строительство, которое отличается высокой материалоёмкостью. Существует целый класс задач, которые решаются специальными методами, представляющими частные случаи симплекс-метода. В данной статье предложен один из наименее трудоёмких процессов расчёта, что гораздо удобнее в практическом применении.

Заключение
Следует подчеркнуть, что с учётом специфики строительной деятельности, его высокой материалоёмкости и номенклатуры используемых строительных материалов, применение методов линейного программирования, в частности транспортной задачи, в условиях перехода на цифровизацию становится не только оправданным, но и необходимым инструментом оптимизации вопросов организационно-технологического обеспечения строительства [14; 15]. Такой наиболее рациональный подход обеспечивает снижение общих затрат на строительство и сроков выполнения запланированных работ.

Учитывая важность задач оптимизации грузопотоков в строительстве, рассмотрение методов линейного программирования, в частности транспортной задачи, считаем оправданным направлением исследования и дальнейшего использования в практической деятельности.

6. Батищев, Д. И. Методы оптимального проектирования : Учебное пособие для вузов / Д. И. Батищев. – Москва : Радио и связь, 1984. – 248 с.
7. Нуркаева, А. В. Методы многокритериальной оптимизации транспортной задач / А. В. Нуркаева // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1.
8. Олейник, П. П. Выбор строительной техники для пионерного освоения территорий / П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 12. – С. 29–35.
9. Олейник, П. П. Организационные формы мобильного строительства : учебное пособие / П. П. Олейник, В. И. Бродский, Т. К. Кузьмина. – Москва : Издательство АСВ, 2015. – 83 с.
10. Шапошников, Д. Е. Применение обобщённого логического критерия для аппроксимации области эффективности в многокритериальных задачах оптимизации / Д. Е. Шапошников, И. В. Костина // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4.
11. Вощанов, П. И. Сбалансированность планов строительного производства с мощностями строительных организаций /

П. И. Вощанов. – Москва : Стройиздат, 1993. – 142 с.
12. Тускаева, З. Р. Оптимизация закупок строительной техники с применением логистического подхода / З. Р. Тускаева // Управление мегаполисом. – 2014. – № 4 (40). – С. 92–97.
13. Хадонов, З. М. Математические методы в управлении строительством / З. М. Хадонов. – Владикавказ : Терек. – 2010. – 286 с.
14. Tuskayeva, Z. Automation of calculations for selecting

REFERENCES

1. Granov, G. S. Ehkonomiko-matematicheskoe modelirovanie v reshenii organizatsionno-upravlencheskikh zadach v stroitel'stve [Economic and mathematical modeling in solving organizational and managerial tasks in construction] / G. S. Granov, G. S. Safarov, K. R. Tagirbekov. – Moscow : Izdatel'stvo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities], 2001. – 64 p.
2. Rayvet, P. Issledovanie operatsij : Posobie dlya adm.-upravlencheskikh rabotnikov [Operations research : A manual for administrative and managerial workers] / P. Rayvet, R. L. Akoff ; Abridged translation from English by V. Ya. Altaev ; Edited by Dr. of Technical Sciences A. Ya. Lerner. – Moscow : MIR, 1966. – 143 p.
3. Issledovanie operatsij : Uchebnik [Operations research : Textbook] / B. K. Godovani, L. A. Egorov, S. G. Zelentsov, etc.; Edited by B. N. Yurkov ; Military Engineering Academy named after V. V. Kuibyshev. – Moscow : VIA, 1990. – 528 p.
4. Konyukhovskiy, P. V. Matematicheskie metody issledovaniya operatsij v ehkonomike : Ucheb. posobie [Mathematical methods of research of operations in economics : Textbook] / P. V. Konyukhovskiy. – St. Petersburg : Peter, 2002. – 208 p.
5. Batishchev, D. I. Mnogokriterial'nyy vybor s uchetom individual'nykh predpochtenij [Multicriteria choice taking into account individual preferences] / D. I. Batishchev, D. E. Shaposhnikov ; [Russian Academy of Sciences, Institute of Applied Physics]. – Nizhny Novgorod : IPF, 1994. – 92 p.
6. Batishchev, D. I. Metody optimal'nogo proektirovaniya : Uchebnoe posobie dlya vuzov [Methods of optimal design : A textbook for universities] / D. I. Batishchev. – Moscow : Radio i svyaz' [Radio and Communications], 1984. – 248 p.
7. Nurkaeva, A. V. Metody mnogokriterial'noj optimizatsii transportnoj zadach [Methods of multicriteria optimization of transport tasks] / A. V. Nurkaeva // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2018. – No. 1.
8. Oleinik, P. P. Vybor stroitel'noj tekhniki dlya pionernogo osvoeniya territorij [The choice of construction equipment for pioneer development of territories] / P. P. Oleinik // Promysh-

construction equipment purchasing techniques / Z. Tuskayeva, G. Aslanov, Z. Alikova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 692. – Pp. 1243–1253.
15. Tuskayeva, Z. One of the criteria for selecting a contractor for high-rise construction / Z. Tuskayeva, T. Tagirov // E3S Web of Conferences / High-Rise Construction 2017 (HRC 2017). – 2018. – Vol. 33. – Art. 03071. – URL: http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303071.

lennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2022. – No. 12. – Pp. 29–35.
9. Oleinik, P. P. Organizatsionnye formy mobil'nogo stroitel'stva : uchebnoe posobie [Organizational forms of mobile construction : a textbook] / P. P. Oleinik, V. I. Brodskiy, T. K. Kuzmina. – Moscow : Izdatel'stvo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities], 2015. – 83 p.
10. Shaposhnikov, D. E. Primenenie obobshhyonnogo logicheskogo kriteriya dlya approksimatsii oblasti ehffektivnosti v mnogokriterial'nykh zadachakh optimizatsii [Application of a generalized logical criterion for approximating the efficiency domain in multi-criteria optimization problems] / D. E. Shaposhnikov, I. V. Kostina // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2014. – No. 4.
11. Voshchanov, P. I. Sbalansirovannost' planov stroitel'nogo proizvodstva s moshhnostyami stroitel'nykh organizatsij [The balance of construction production plans with the capacities of construction organizations] / P. I. Voshchanov. – Moscow : Stroyizdat, 1993. – 142 p.
12. Tuskayeva, Z. R. Optimizatsiya zakupok stroitel'noj tekhniki s primenением logisticheskogo podkhoda [Optimization of procurement of construction equipment using a logistic approach] / Z. R. Tuskayeva // Upravlenie megapolisom [Megapolis management]. – 2014. – No. 4 (40). – Pp. 92–97.
13. Khadonov, Z. M. Matematicheskie metody v upravlenii stroitel'stvom [Mathematical methods in construction management] / Z. M. Khadonov. – Vladikavkaz : Terek. – 2010. – 286 p.
14. Tuskayeva, Z. Automation of calculations for selecting construction equipment purchasing techniques / Z. Tuskayeva, G. Aslanov, Z. Alikova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 692. – Pp. 1243–1253.
15. Tuskayeva, Z. One of the criteria for selecting a contractor for high-rise construction / Z. Tuskayeva, T. Tagirov // E3S Web of Conferences / High-Rise Construction 2017 (HRC 2017). – 2018. – Vol. 33. – Art. 03071. – URL: http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303071.

УДК 658.2

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_91

Формирование комплексного подхода к оценке кадрового потенциала строительного предприятия

Formation of an Integrated Approach to Assessing the Human Resources Potential of a Construction Company

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

Postgraduate 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, Yaroslavskoe shosse, 26, lam@nsergeevna.ru

Аннотация. Проектное управление, лежащее в основе реализации крупных инвестиционно-строительных проектов, а в особенности особо опасных и технологически сложных, предполагает решение большого количества производственных задач в условиях значительного увеличения ресурсных и временных ограничений.

По мнению авторов данной статьи, трудовые ресурсы являются ключевой составляющей технологических процессов в строительстве, основной функцией которых на этапе строительного производства является преобразование поступающих материальных ресурсов в строительную продукцию в виде готовых конструкций зданий и сооружений. Важнейшей задачей в условиях высокотехнологичного и крупномасштабного строительства является определение полного соответствия не только количественных, но и качественных характеристик строительного монтажного персонала требованиям производственного процесса.

Abstract. Project management, which underlies the implementation of large investment and construction projects, and especially particularly dangerous and technologically complex ones, involves solving a large number of production tasks in conditions of a significant increase in resource and time constraints.

According to the authors of this article, human resources are a key component of technological processes in construction, the main function of which, at the stage of construction production, is the transformation of incoming material resources into construction products in the form of finished structures of buildings and structures. The most important task in the conditions of high-tech and large-scale construction is to determine the full compliance of not only quantitative, but also qualitative characteristics of construction and installation personnel with the requirements of the production process.

Введение

Роль формирования эффективной системы управления трудовыми ресурсами в организации сложно переоценить, поскольку её наличие позволяет с управленческой точки зрения подходить к вопросу работы с персоналом, как с одним из ключевых ресурсов компании.

Поскольку система управления трудовыми ресурсами представляет собой комплекс элементов, направленных на найм, адаптацию, мотивацию, обучение и развитие персонала, – эффективной она может быть тогда, когда не только количественная характеристика, но и качество персонала с точки зрения профессиональной компетентности будет отвечать требованиям производства.

Строительно-монтажный персонал относится к категории массовых рабочих профессий, для которых процессам найма (в части оценки знаний, умений и навыков), а также профессиональной подготовки работодателя зачастую не уделяют должного внимания, соответствующего степени сложности сооружаемых объектов.

Особенно актуальным является аспект профессиональной пригодности и оценки кадрового потенциала среди рабочего персонала в таких направлениях, как атомное, нефтегазовое, химическое и прочие виды строительства, ввиду наличия отраслевой уникальной специфики в части требований к качеству выполнения работ, отличающихся от общестроительных норм и правил, ко-

лючевую роль в эффективной организации процесса управления трудовыми ресурсами на всех этапах жизненного цикла сооружения играет грамотное планирование потребности в строительных кадрах, зависящее от различных стадий технологической готовности объекта сооружения и используемых технических средств. При этом ориентация исключительно на количественные характеристики персонала не даёт гарантии реализации запланированных объёмов работ с требуемым уровнем качества, в установленные контрактом сроки и утверждённой стоимостью объекта сооружения. Для этих целей необходима разработка комплексного подхода к оценке кадрового потенциала строительного персонала, учитывающая критерии как индивидуально-личностного, так и профессионально-технического характера.

Ключевые слова: кадровый потенциал, строительные предприятия, квалификация персонала, управление ресурсами, строительно-монтажный персонал, компетентность.

A key role in the effective organization of the human resource management process at all stages of the construction life cycle is played by competent planning of the need for construction personnel, depending on the various stages of technological readiness of the facility and the technical means used. At the same time, focusing solely on the quantitative characteristics of the personnel does not guarantee the implementation of the planned volumes of work with the required level of quality, within the time limits set by the contract and the approved cost of the facility. For these purposes, it is necessary to develop an integrated approach to assessing the human potential of construction personnel, taking into account criteria of both an individual and a professional and technical nature.

Keywords: human resources potential, construction companies, personnel qualifications, resource management, construction and installation personnel, competence.

которые применяются, к примеру, на объектах гражданского строительства.

Научная новизна исследования состоит в рассмотрении качественных характеристик трудовых ресурсов и формировании комплексного подхода к оценке кадрового потенциала строительно-монтажного персонала, основанного на анализе как профессионально-технических, так и индивидуально-личностных характеристик работника, для целей формирования предпосылок к повышению кадрового потенциала строительного предприятия.

Материалы и методы

Рассмотрением вопросов развития системы управления трудовыми ресурсами занимались такие авторы, как М. А. Пархомчук [1], С. Б. Балтатарова [2], Е. В. Дындов и М. В. Каширина [3], И. Р. Абдуллин [4], Н. Н. Миронова и И. Д. Савченко [5] и др.

Подходы к управлению трудовыми ресурсами в строительной отрасли рассматривали авторы Д. О. Долганов и П. Е. Манохин [6], а также Д. С. Софронов [7].

Оценке кадрового потенциала работников были посвящены работы М. С. Дмитриевой [8], А. А. Бухарова [9], О. В. Викторовой и Е. Э. Лобановой [10], М. О. Ибраева [11], В. Р. Медведева и Е. М. Халитова [12].

Стоит отметить, что в приведённых выше источниках подходы к оценке кадрового потенциала предприятия строятся, как правило, на оценке профессиональных характеристик работников через анализ метрик, отражаю-

щих профпригодность и типовые кадровые индикаторы (например, уровень текучести, укомплектованности, абсентеизма и пр.). По мнению авторов настоящего исследования, такой подход является ограниченным, не учитывающим всех характеристик, присущих работнику и оказывающих влияние на производственный результат. Требуется разработка и применение комплексного подхода, основанного на оценке как профессионально-технических, так и индивидуально-личностных характеристик, присущих работнику, с учётом степени влияния каждой характеристики на производственный результат, которые являются базовыми для дальнейшего формирования профессионального роста. При таком подходе более точно определяется уровень способностей к профессиональному росту и мотивации на развитие внутри строительного предприятия.

Таким образом, основываясь на системном и информационном подходе, авторы предлагают рассматривать каждого работника как некую биологическую систему, которой присущи врождённые и приобретённые уникальные черты и характеристики.

Получая статус работника строительного предприятия, индивид должен существовать в нескольких системах одновременно, включая производственную систему. Это значит, что на базе личностных качеств и приобретённых ранее профессиональных умений для него становится актуальным развитие своих навыков и способностей с целью соответствия требованиям рабочей среды предприятия – достижения ожидаемого уровня качества производства продукции и производительности труда. В случае достижения соответствующих результатов можно говорить о раскрытии его потенциала. Настоящая работа направлена на построение методики, обеспечивающей на ранней стадии начала работы оценку способности развития конкретного сотрудника.

Графически взаимодействие систем и определение в них места самого индивида представлено на рисунке 1.

Рассматривая кадровый потенциал работника строительного предприятия как индивида, основанный на взаимодействии социальной, биологической и производственной систем, целесообразно также уделить внимание знаниям, умениям и навыкам, получаемым индивидом в данных системах.



Рис.1. Взаимодействие систем для целей становления индивида – работника строительного предприятия
Fig. 1. The interaction of systems for the purposes of becoming an individual – an employee of a construction company

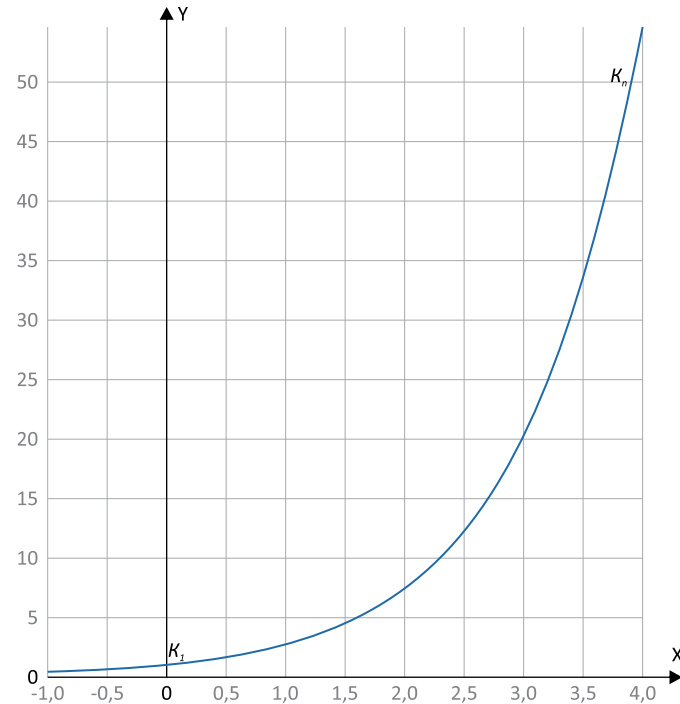


Рис. 2. Прирост компетентности работника вследствие наработки производственного опыта

Fig. 2. The increase in the competence of the employee as a result of the development of production experience

Понимая под знаниями информацию, которой обладает работник, под умениями – способность использовать полученную информацию в целях реализации поставленной перед работником производственной задачи, а под навыками – уровень профессионализма, достигаемый многократным повторением операций, авторы делают вывод, что в совокупности знаний, умений и навыков есть природа профессиональной компетентности, уровень которой зависит от производственного опыта.

Приведённый выше подход к описанию природы компетентности можно записать в виде формулы показательной функции, имеющий вид:

$$y(x)=e^x, \quad (1)$$

и представить в виде графика монотонно возрастающей экспоненты, которая отражает траекторию производственного опыта работника строительного предприятия (рисунок 2).

На графике, представленном на рисунке 2, по оси X представлена величина производственного опыта, а по оси Y – уровень компетентности работника, K_{1-n} – уровни компетентности работника.

Таким образом, синергия знаний, навыков и умений в среде накапливаемого производственного опыта формирует профессиональную компетентность работника, которая в совокупности с индивидуально-личностными характеристиками позволяет обеспечить комплексную оценку уровня кадрового потенциала работника строительного предприятия.

Результаты

По мнению авторов данной статьи, кадровый потенциал отражает скрытые возможности, которые могут быть выявлены и применены для целей повышения эффективности производственного процесса, при условии реализации научно обоснованных подходов к системе управления человеческими ресурсами предприятия.

№	Индивидуально-личностные		№	Профессионально-технические	
	Группы факторов	Фактор		Группы факторов	Фактор
1	Метрические	Разряд	1	Основное образование	Высшее
		Возраст			СПО
		Религиозный компонент			Среднее общее образование + ДПО
		Семейное положение			Среднее общее образование
2	Физиологические	Состояние здоровья	2	Профессиональная подготовка и результативность на площадке строительства	Неполное среднее общее образование
		Фобии			Начальное среднее общее образование
		Физическая выносливость			Входной контроль квалификации
		Риск возникновения зависимостей			Повышение разряда в процессе работы на площадке
3	Лингвистические	Читает и пишет на родном языке + английский на уровне от Int и выше	3	Наличие предыдущего релевантного опыта	Освоение смежной профессии
		Читает и пишет на родном языке + английский на уровне от Beg до Pre-int			Выполнение плановых производственных показателей
		Читает и пишет на родном языке на уровне, достаточном для понимания инструкций, правил и обучающих материалов			Опыт на аналогичных отраслевых проектах
		Не читает и не пишет на родном языке			Опыт в промышленном строительстве вне отрасли от 1–3 лет
4	Когнитивные способности	Понимание инструкции	4	Приверженность безопасности	Отсутствие опыта
		Концентрация внимания			Нарушения норм и правил в области безопасности
5	Личностные характеристики	Скорость реакции	5	Качество выполняемых технологий	Обязательное обучение по безопасности
		Склонность к риску			Подготовка по культуре безопасности
		Стрессоустойчивость	5	Профессиональное лидерство	Отсутствуют зафиксированные факты нарушения технологического процесса, повлёкшие за собой нарушение показателей качества объекта
		Дисциплинированность			Присутствуют зафиксированные факты нарушения технологического процесса, повлёкшие за собой нарушение показателей качества объекта
					Участие в конкурсах профессионального мастерства
					Поданы предложения по улучшению производственного процесса

Табл. 1. Факторы, влияющие на уровень кадрового потенциала работника строительного предприятия
Tab. 1. Factors affecting the level of human resources of a construction company employee

Для целей оценки уровня кадрового потенциала работника строительного предприятия авторами был сформирован и представлен в таблице 1 набор факторов, объединённых в группы, влияющих на индивидуально-личностные и профессионально-технические характеристики, присущие работнику.

Давая оценку представленным в таблице факторам, стоит отметить, что они носят как количественный, так и качественный характер, а значит, для оценки данных факторов должны применяться шкалы разных размеров, которым, как следствие, присуща различная чувствительность.

Данный факт требует выбора инструмента измерения и расчёта показателя кадрового потенциала, способного нивелировать и привести к единой метрической системе приведённые в таблице 1 факторы.

Значительное число авторов, занимающихся формированием научно-практических подходов к определению уровня кадрового потенциала, зачастую для целей расчёта используют формулу суммарного показателя:

$$f(x) = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n)}{n},$$

2)

где x – значения факторов, n – количество факторов.

Это, по мнению авторов настоящей статьи, не является корректным с точки зрения степени влияния на конечный результат, т. к. факторы x в числителе не являются равновеликими, а значит – требуют применения соответствующих коэффициентов при исчислении.

Для целей соблюдения чистоты математического эксперимента авторами предлагается к использованию

функция желательности Харрингтона, приведённая в формуле 3 настоящей статьи, которая позволяет приводить к безразмерному виду как оценки экспертов, так и значения параметров, измеряемые по физическим шкалам.

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n di},$$

3)

где D – обобщённый критерий желательности, Π – произведение факторов.

Интегральный показатель, рассчитанный по функции желательности Харрингтона, позволяет произвести комплексный анализ качественных и количественных показателей с ориентацией на степень влияния производственных показателей, наиболее значимых для целей настоящего исследования.

Таким образом, интегральный показатель кадрового потенциала, рассчитанный для работника строительного предприятия, позволяет детально определить требуемый трек развития каждого сотрудника для целей достижения максимально возможного индивидуального уровня кадрового потенциала и – как следствие – кадрового потенциала строительного предприятия.

Обсуждение

Формирование подходов к оценке уровня кадрового потенциала, основанных на элементах системного и информационного подходов, позволяет учесть среди анализируемых факторов как профессионально-технические, так и индивидуально-личностные характеристики, присущие для работника строительного предприятия как для индивида, взаимодействующего одновременно с несколькими системами. Являясь по своей сути многофакторной моделью, интегральный показатель кадрового потенци-

ала, рассчитанный с применением функции желательности Харрингтона, служит эффективным и прикладным инструментом для целей управления трудовыми ресурсами строительного предприятия, способствующим созданию динамической системы подготовки персонала, основанной на индивидуальных потребностях в развитии каждого работника, а также адаптированной под требования к различным видам работ и объектам.

Выводы

Управление трудовыми ресурсами строителных предприятий в условиях дефицита рынка труда, быстроменяю-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пархомчук, М. А. Система управления трудовыми ресурсами организации / М. А. Пархомчук // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 5. – С. 39–42.

2. Балтатарова, С. Б. Управление трудовыми ресурсами / С. Б. Балтатарова // Вестник науки. – 2020. – Т. 2, № 8 (29). – С. 46–49.

3. Дындов, Е. В. Управление трудовыми ресурсами / Е. В. Дындов, М. В. Каширина // Символ науки. – 2023. – № 12-2. – С. 103–105.

4. Абдуллин, И. Р. Управление трудовыми ресурсами организации / И. Р. Абдуллин // Экономика и социум. – 2019. – № 2 (57). – С. 25–28.

5. Миронова, Н. Н. Проблемы управления трудовыми ресурсами / Н. Н. Миронова, И. Д. Савченко // Вестник НИБ. – 2018. – № 32. – С. 147–152.

6. Долганов, Д. О. Управление трудовыми ресурсами строительной организации / Д. О. Долганов, П. Е. Манохин // Международнй научно-исследовательский журнал. – 2019. –

REFERENCES

1. Parkhomchuk, M. A. Sistema upravleniya trudovymi resursami organizatsii [Human resource management system of the organization] / M. A. Parkhomchuk // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. – 2008. – No. 5. – Pp. 39–42.

2. Baltatarova, S. B. Upravlenie trudovymi resursami [Human resources management] / S. B. Baltatarova // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2020. – Vol. 2, No. 8 (29). – Pp. 46–49.

3. Dyndov, E. V. Upravlenie trudovymi resursami [Human resource management] / E. V. Dyndov, M. V. Kashirina // Simvol nauki [Symbol of Science]. – 2023. – No. 12-2. – Pp. 103–105.

4. Abdullin, I. R. Upravlenie trudovymi resursami organizatsii [Human resource management of the organization] / I. R. Abdullin // Ehkonomika i sotsium [Economics and society]. – 2019. – No. 2 (57). – Pp. 25–28.

5. Mironova, N. N. Problemy upravleniya trudovymi resursami [Problems of human resource management] / N. N. Mironova, I. D. Savchenko // Vestnik NIB [Bulletin of the National Research Institute]. – 2018. – No. 32. – Pp. 147–152.

6. Dolganov, D. O. Upravlenie trudovymi resursami stroitel'noj organizatsii [Human resources management of a construction organization] / D. O. Dolganov, P. E. Manokhin // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2019. – No. 12-1 (90). – Pp. 45–49.

7. Sofronov, D. S. Kachestvo trudovogo resursa stroitel'noj otrasli [The quality of the labor resource of the construction in-

щихся технологических решений и высокой конкуренции требует подходить к управлению трудовыми ресурсами, опираясь на их качественную составляющую, выражающуюся в их профессиональной компетентности, производственном опыте и кадровом потенциале. На примере подхода, представленного в настоящей статье, авторами предложен инструмент оценки кадрового потенциала строительного предприятия, реализующего высокотехнологичные проекты, который может быть тиражирован для широкого применения, так как способствует повышению производительности труда.

№ 12-1 (90). – С. 45–49.

7. Софронов, Д. С. Качество трудового ресурса строительной отрасли / Д. С. Софронов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 3. – С. 159–163.

8. Дмитриева, М. С. Методические подходы к оценке кадрового потенциала предприятия / М. С. Дмитриева // Мировая наука. – 2018. – № 4 (13). – С. 128–132.

9. Бухаров, А. А. Оценка кадрового потенциала организации / А. А. Бухаров // Вестник магистратуры. – 2021. – № 6-2 (117). – С. 39–41.

10. Викторова, О. В. Оценка кадрового потенциала высокотехнологичных предприятий / О. В. Викторова, Е. Э. Лобанова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2020. – Т. 3. – С. 309–312.

11. Ибраева, М. О. Оценка кадрового потенциала организации / М. О. Ибраева // Вестник магистратуры. – 2021. – № 1-3 (112). – С. 18–21.

12. Медведева, В. Р. Оценка кадрового потенциала организации (аудит) / В. Р. Медведева, Е. М. Халитова // Colloquium-journal. – 2019. – № 23 (47).

dustry] / D. S. Sofronov // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – No. 3. – Pp. 159–163.

8. Dmitrieva, M. S. Metodicheskie podkhody k otsenke kadrovogo potentsiala predpriyatiya [Methodological approaches to assessing the personnel potential of an enterprise] / M. S. Dmitrieva // Mirovaya nauka [World Science]. – 2018. – No. 4 (13). – Pp. 128–132.

9. Bukharov, A. A. Otsenka kadrovogo potentsiala organizatsii [Assessment of the personnel potential of the organization] / A. A. Bukharov // Vestnik magistratury [Bulletin of the Magistracy]. – 2021. – No. 6-2 (117). – Pp. 39–41.

10. Viktorova, O. V. Otsenka kadrovogo potentsiala vysokotekhnologichnykh predpriyatij [Assessment of the personnel potential of high-tech enterprises] / O. V. Viktorova, E. E. Lobanova // Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики [Current problems of aviation and cosmonautics]. – 2020. – Vol. 3. – Pp. 309–312.

11. Ibraeva, M. O. Otsenka kadrovogo potentsiala organizatsii [Assessment of the personnel potential of the organization] / M. O. Ibraeva // Vestnik magistratury [Bulletin of the Magistracy]. – 2021. – No. 1-3 (112). – Pp. 18–21.

12. Medvedeva, V. R. Otsenka kadrovogo potentsiala organizatsii (audit) [Assessment of the personnel potential of the organization (audit)] / V. R. Medvedeva, E. M. Khalitova // Colloquium-journal. – 2019. – No. 23 (47).

УДК 624.05 DOI: 10.54950/26585340_2024_1_96

Формирование и внедрение организационно-технических решений при осуществлении научно-технического сопровождения строительства

Formation and Implementation of Organizational and Technical Solutions in the Implementation of Scientific and Technical Support of Construction

Топчий Дмитрий Владимирович

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

Topchiy 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@mgsu.ru

Каширцев Михаил Сергеевич

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

Kashirtsev Mikhail Sergeevich

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, Kashirtsev.mikhaill@mail.ru

Ларин Андрей Александрович

Студент магистратуры профиля Промышленного и гражданского строительства (ПГС), ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, andrewlarin17@gmail.com

Larin Andrey Alexandrovich

Master's degree student in Industrial and Civil Engineering (PGS), National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, andrewlarin17@gmail.com

Тихонов Алексей Александрович

Студент бакалавриата профиля Промышленного и гражданского строительства (ПГС), ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 9107844000@mail.ru

Tikhonov Alexey Alexandrovich

Bachelor's degree student in Industrial and Civil Engineering (PGS), National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, 9107844000@mail.ru

Аннотация. Данная статья написана в рамках работы над кандидатской диссертацией на тему «Организационно-технические решения при осуществлении научно-технического сопровождения строительства уникальных высотных зданий». В рамках работы разрабатывается методика ведения научно-технического сопровождения строительства при строительстве уникальных высотных зданий, а также программный комплекс, способный оптимизировать процесс подбора организационно-технических мероприятий для осуществления эффективного научно-технического сопровождения.

В работе также используется специально созданный для диссертационного исследования программный комплекс расчёта эффективности научно-технического сопровождения строительства уникальных высотных зданий. Разработанный программный комплекс оценивает эффективность применяемых организационно-технических решений, основываясь на характеристике конкретного объекта строительства. Для параметрической модели сформирован перечень из общих для уникального высотного строительства организационно-технических решений при осуществлении научно-технического сопровождения строительства. Данный перечень формируется на основе анализа российской и зарубежной нормативной базы и научных работ, на основе анализа объектов уникального вы-

сотного строительства, построенных и находящихся в стадии строительства, а также с привлечением экспертов для оценки значимости организационно-технических мероприятий.

Использование методики предусматривается на этапе инженерных изысканий и проектирования. Сбор исходных данных и получение всех необходимых характеристик объекта необходимы для дальнейшего внесения в программный комплекс. В дальнейшем из определённого перечня организационно-технических решений составляется эффективная программа научно-технического сопровождения строительства для возможности реализации строительства в проектные сроки. В дальнейшем программа научно-технического сопровождения строительства в составе проектной документации проходит экспертизу и оценивается экспертами. После получения положительного заключения разработанную программу научно-технического сопровождения строительства передают на строительную площадку для ведения сопровождения.

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение строительства, проектно-изыскательские работы, эффективность научно-технического сопровождения, автоматизированная параметрическая модель, высотные здания и сооружения, уникальные здания и сооружения.

Abstract. This article was written as part of a candidate's dissertation on the topic «Organizational and technical solutions in the implementation of scientific and technical support for the construction of unique high-rise buildings». As part of the work, a methodology for conducting scientific and technical construction support during the construction of unique high-rise buildings is being developed, as well as a software package capable of optimizing the process of selecting organizational and technical measures for the implementation of effective scientific and technical support.

The work also uses a software package specially created for the dissertation research to calculate the effectiveness of scientific and technical support for the construction of unique high-rise buildings. The developed software package evaluates the effectiveness of the applied organizational and technical solutions, based on the characteristics of a specific construction project. For the parametric model, a list of organizational and technical solutions common to unique high-rise construction in the implementation of scientific and technical support of construction has been compiled. This list is formed on the basis of an analysis of the Russian and foreign regulatory framework and scientific works, based

Введение

Строительство уникальных высотных зданий может столкнуться с рядом проблем. Во-первых, такие здания требуют сложной инженерии и использования новых технологий, что может быть вне компетенции заказчика, генерального подрядчика и представителей авторского надзора [1]. Во-вторых, такие проекты часто сталкиваются с

on an analysis of unique high-rise construction projects built and under construction, as well as with the involvement of experts to assess the significance of organizational and technical measures.

The use of the methodology is envisaged at the stage of engineering surveys and design. Collecting initial data and obtaining all the necessary characteristics of the object is necessary for further inclusion in the software package. Subsequently, from a certain list of organizational and technical solutions, an effective program of scientific and technical support for construction is drawn up to make it possible to implement construction within the project time frame. In the future, the program of scientific and technical support for construction as part of the design documentation undergoes examination and is assessed by experts. After receiving a positive conclusion, the developed program of scientific and technical support for construction is transferred to the construction site for support.

Keywords: scientific and technical support of construction, design and survey work, efficiency of scientific and technical support, automated parametric model, high-rise buildings and structures, unique buildings and structures.

проблемами финансирования, особенно если возникают непредвиденные расходы [2]. В-третьих, строительство уникальных высотных зданий может столкнуться с проблемами, связанными с окружающей средой, такими как ветровая нагрузка, сейсмическая активность и климатические условия [3; 4]. Наконец, такие проекты могут столкнуться с проблемами, связанными с человеческим фактором, такими как недостаточная квалификация рабочих или неправильное управление проектом [5]. Для минимизации рисков, возникающих при реализации объекта уникального высотного строительства, необходимо осуществлять научно-техническое сопровождение согласно утверждённой программе [6; 7].

Научная новизна исследования заключается в формировании методики осуществления научно-технического сопровождения строительства на основе организационно-технических решений для сокращения сроков производства работ на объекте.

В рамках данной статьи ставились следующие задачи:

1. Описать принцип формирования перечня организационно-технических решений при осуществлении научно-технического сопровождения при строительстве уникальных высотных зданий.
2. Провести внедрение программного комплекса на объекте уникального высотного строительства и спрогнозировать возможное снижение продолжительности производства работ на этапе строительства за счёт применения дополнительных организационно-технических решений.

Материалы и методы

В разработанном программном комплексе для оценки эффективности программы научно-технического сопровождения представлены 38 организационно-технических решений, определённых за счёт:

- 1) анализа российской и зарубежной нормативной и научной документации;
- 2) анализа 30 построенных объектов уникального высотного строительства.

Проведена оценка значимости и достаточности выявленных организационно-технических решений мето-

Номер объекта	Изменение продолжительности строительства относительно графика производства работ, мес.	Показатель эффективности
1	0,5	23,5
2	0	24,2
3	0	25,3
4	6	19,0
5	0	30,0
6	4	20,0
7	1	21,6
8	-3,5	34,4
9	5	19,0
10	6	18,8
11	0	27,3
12	2	21,0
13	3	20,9
14	6,5	18,8
15	3,5	20,9
16	4	19,5
17	0	28,6
18	4	20,1
19	-2,5	31,2
20	1	22,0
21	0	24,6
22	1	22,2
23	-3	33,3
24	0	24,0
25	3,5	20,5
26	-0,5	30,1
27	0	26,8
28	3,5	20,5
29	3	20,9
30	0,5	23,9

Табл. 1. Значения изменения продолжительности строительства и показателя эффективности
Tab. 1. Values of changes in construction duration and efficiency indicator

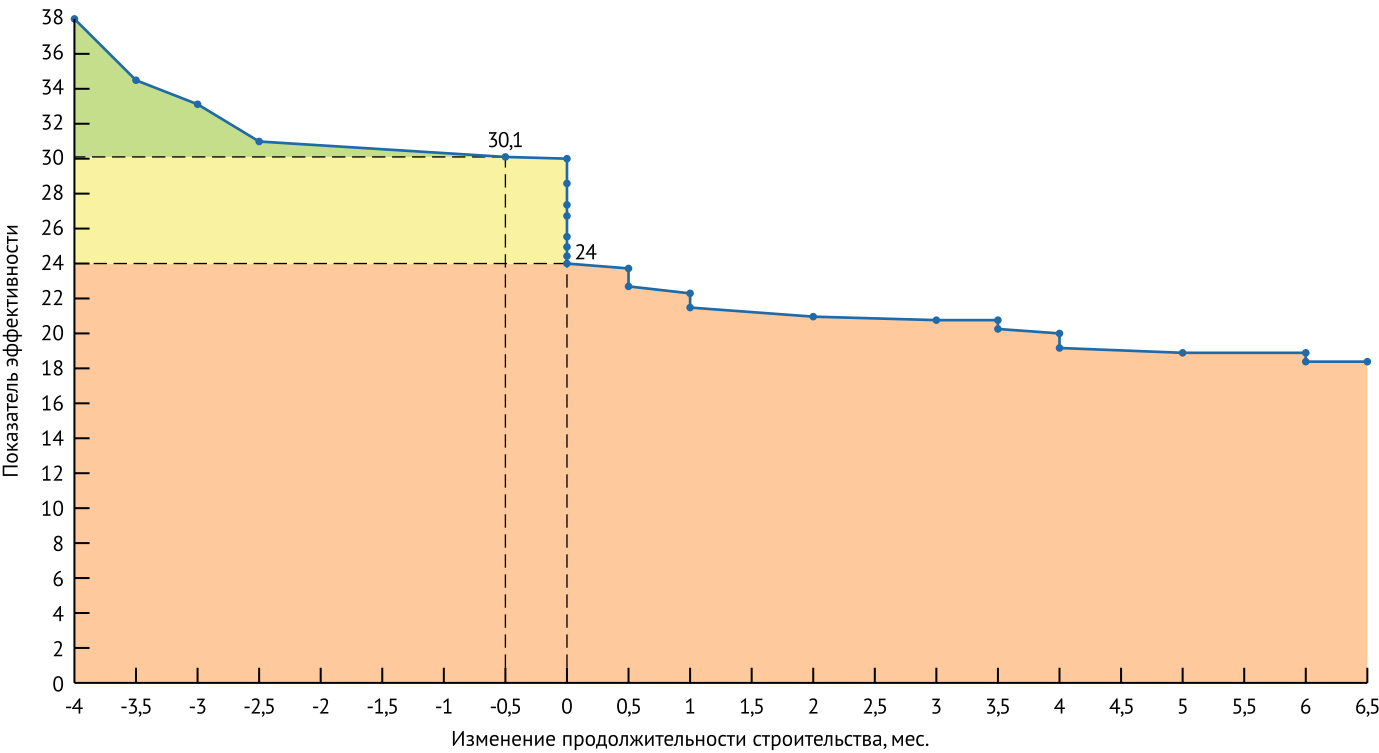


Рис. 1. График зависимости показателя эффективности и изменения продолжительности строительства
Fig. 1. Graph of the dependence of the efficiency indicator and changes in construction duration

дом экспертной оценки. Эксперты также ранжировали организационно-технические решения по значимости в зависимости от характеристики объекта строительства по шкале от 0 до 10 с шагом 1. По результатам ранжирования организационно-техническим решениям присвоены весовые показатели от 0 до 1 с шагом 0,1.

В результате программный комплекс рассчитывает эффективность программы научно-технического сопровождения на объекте за счёт оценки эффективности принятых в программе организационно-технических решений [8; 9].

Для определения границ эффективности программный комплекс применён на проанализированных 30 объектах уникального высотного строительства для получения показателя эффективности, а также на объектах было определено значение изменения продолжительности строительства относительно графика производства работ.

Результаты расчёта представлены в таблице 1. В результате был построен график зависимости показателя эффективности от изменения продолжительности. График представлен на рисунке 1.

ППоз.	Значение	Осуществление НТС	Значения показателя эффективности	Эффективность, %
11	Очень хорошо	Программа НТС обеспечивает возможность реализации объекта с сокращением продолжительности строительства	$30,1 \leq ef \leq 38$	$79 \leq ef \leq 100$
22	Хорошо	Программа НТС обеспечивает реализацию объекта в проектные сроки	$24 \leq ef \leq 30,1$	$63 \leq ef \leq 79$
33	Неудовлетворительно	Программа НТС не обеспечивает реализацию объекта в проектные сроки	$0 \leq ef \leq 24$	$0 \leq ef \leq 63$

Табл. 2. Границы эффективности программы НТС
Tab. 2. Boundaries of the effectiveness of the scientific and technical support program

и при необходимости скорректировать программу для повышения её эффективности, а именно для возможности сохранить проектную продолжительность.

3. На этапе строительства дополнить утверждённую программу научно-технического сопровождения организационно-техническими решениями для возможности сократить продолжительность.

Внедрение осуществлено на объекте уникального высотного строительства ЖК «WAVE», корпус Azure, расположенном по адресу: г. Москва, ул. Борисовские Пруды, 1.

Характеристики объекта строительства:

- максимальная высотная отметка комплекса +178,25 м;
- количество этажей – 52 наземных, 2 подземных;
- строительный объём – 173735,3 куб. м;
- общая площадь – 40872,2 кв. м;
- количество квартир – 765 шт;
- общая площадь квартир – 34341,1 кв. м;
- продолжительность строительства – 54 месяца.

На этапе инженерных изысканий и проектирования собрана информация по объекту, проанализированы решения проекта, а также предлагаемая проектной организацией типовая программа научно-технического сопровождения строительства.

Результаты

Представленная программа прошла проверку на эффективность при помощи программного комплекса оценки эффективности. По результатам расчёта программа показала, что эффективность типовой программы научно-технического сопровождения строительства составляет 45 %, а это значит, что реализация объекта строительства в проектные сроки маловероятна. Для повышения эффективности программы были добавлены дополнительные организационно-технические решения с расчётной эффективностью (после внесения характеристик рассматриваемого объекта в программный комплекс получены рекомендованные показатели эффективности для каждого организационно-технического решения), а именно:

1. Анализ движения грунтовых масс за контуром подпорных стен (повышение эффективности на 6 %);
2. Анализ строительного воздействия на близлежащие существующие здания и сооружения (повышение эффективности на 4 %);
3. Диагностика технического состояния машин и механизмов на строительной площадке (повышение эффективности на 2 %);
4. Разработка аналитического отчёта в процессе ведения экологического мониторинга (повышение эффективности на 3 %);
5. Анализ и совершенствование существующей логистической системы комплектации объекта строительными материалами и конструкциями (повышение эффективности на 3 %);
6. Оптимизация и совершенствование условий складирования и хранения строительных материалов (повышение эффективности на 2 %);

7. Анализ существующей системы контроля муфтовых соединений ответственных конструкций (повышение эффективности на 3 %);

8. Анализ движения грунтовых вод вблизи котлована (повышение эффективности на 5 %).

После корректировки программы проведён поверочный расчёт. По результатам поверочного расчёта эффективность откорректированной программы составила 73 %, данная программа является эффективной и будет способствовать строительству объекта в проектные сроки. После корректировки получено положительное заключение экспертизы и в том числе утверждена предложенная программа научно-технического сопровождения строительства.

На этапе строительства для повышения эффективности ведения научно-технического сопровождения, а именно для возможности сократить продолжительность производства работ, было добавлено дополнительное организационно-техническое решение.

Определили дополнительное организационно-техническое решение, которое повлияет на возможность сократить продолжительность строительства на данном объекте, – это повышение производительности (повышение эффективности на 7 %).

После внесения изменений в программу научно-технического сопровождения разработаны мероприятия для повышения производительности на объекте. Внесены изменения в применяемые на объекте комплекты машин и механизмов на этапе земляных работ, на этапе возведения монолитного каркаса и на этапе черновых отделочных работ.

Статистическая обработка результатов эксперимента осуществлена при помощи разработанного и зарегистрированного программного комплекса для оценки эффективности научно-технического сопровождения (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615013).

В результате оптимизации программы научно-технического сопровождения в части добавления организационно-технического решения повышения производительности на этапе строительства возможно сокращение сроков производства работ на 111 дней.

На этапе земляных работ сокращение составит с 165 дней до 146 дней за счёт использования более производительной техники, а также добавления дополнительных машин.

На этапе возведения монолитного каркаса – с 456 дней до 420 дней за счёт применения передвижной опалубочной системы MODULEX.

На этапе черновых отделочных работ – с 354 до 298 дней за счёт дополнительных насосных систем подачи готового раствора на монтажный горизонт для устройства черновой стяжки пола и выполнения штукатурных работ.

Все результаты получены путём сопоставления продолжительности согласно утверждённому графику производства работ и фактической продолжительности на участках, где применено дополнительное организационно-техническое решение по повышению производительности.

Заключение
В результате проделанной работы удалось на этапе проектирования сформировать программу научно-технического сопровождения, содержащую организационно-технические решения, способствующие реализации объекта в проектные сроки. На этапе строительства удалось сократить продолжительность возведения объекта на 111 дней за счёт применения дополнительного организационно-технического решения, а именно –повышения производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширцев, М. С. Осуществление научно-технического сопровождения строительства при возведении высотных зданий / М. С. Каширцев, Д. В. Топчий // Сборник трудов конференции «Дни студенческой науки» ; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2019. – С. 1224–1226.
2. Applications of Building information modelling in the early design stage of high-rise buildings / H. Omrany, Am. Ghaffarianhoseini, R. Chang, A. Ghaffarianhoseini, F. P. Rahimian // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 152. – Art. 104934.
3. Structural Performance Assessment and Control of Super Tall Buildings During Construction / Liu N. X., Zhao X., Sun H. H., Zheng Y. M., Ding J. M. // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 14. – Pp. 2503–2510.
4. Kapyrin, P. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility / P. Kapyrin, N. Sevryugina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. –Vol. 365. – Art. 042018.
5. Топчий, Д. В. Научно-техническое сопровождение строительства и проектирования как дополнительный элемент

REFERENCES

1. Kashirtsev, M. S. Osushhestvlenie nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva pri vozvedenii vysotnykh zdaniy [Implementation of scientific and technical support for construction in the construction of high-rise buildings] / M. S. Kashirtsev, D. V. Topchy // Sbornik trudov konferentsii «Dni studentcheskoj nauki» [Proceedings of the conference «Days of Student Science»] ; Natsional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [National Research Moscow State University of Civil Engineering]. – 2019. – Pp. 1224–1226.
2. Applications of Building information modelling in the early design stage of high-rise buildings / H. Omrany, Am. Ghaffarianhoseini, R. Chang, A. Ghaffarianhoseini, F. P. Rahimian // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 152. – Art. 104934.
3. Structural Performance Assessment and Control of Super Tall Buildings During Construction / Liu N. X., Zhao X., Sun H. H., Zheng Y. M., Ding J. M. // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 14. – Pp. 2503–2510.
4. Kapyrin, P. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility / P. Kapyrin, N. Sevryugina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 365. – Art. 042018.
5. Topchii, D. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie stroitel'stva i proektirovaniya kak dopolnitel'nyj ehlement kvalimetricheskoj modeli obespecheniya kachestva gotovoj stroitel'noj produktsii [Scientific and technical support of construction and design as an additional element of the qualitative model of quality assurance of finished construction products] / D. V. Topchy, A. Yu. Yurgaitis, M. N. Danilochkin //

Полученный результат:
1. Описан принцип формирования перечня организационно-технических решений при осуществлении научно-технического сопровождения при строительстве уникальных высотных зданий.
2. Проведено внедрение программного комплекса на объекте уникального высотного строительства и получено сокращение производства работ за счёт применения дополнительного организационно-технического решения.

квалиметрической модели обеспечения качества готовой строительной продукции / Д. В. Топчий, А. Ю. Юргайтис, М. Н. Данилочкин // Технология и организация строительного производства. – 2018. – № 2. – С. 1–5.
6. Лapidus, A. A. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта / А. А. Лapidus // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, вып. 11. – С. 1428–1437.
7. Леонтьев Е. В. Научно-техническое сопровождение при проектировании объектов производственного и гражданского назначения повышенного уровня ответственности / Е. В. Леонтьев, Р. Ю. Газизов // Вестник государственной экспертизы. – 2020. – № 1. – С. 56–61.
8. Гранев, В. В. Научно-техническое сопровождение проектирования зданий и сооружений / В. В. Гранев // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 6. – С. 4–8.
9. Лapidus, A. A. Разработка программы проведения научно-технического сопровождения строительства зданий с заглублением подземной части более чем на 15 метров / А. А. Лapidus, И. С. Шевченко // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 2.

Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva [Technology and organization of construction production]. – 2018. – No. 2. – Pp. 1–5.
6. Lapidus, A. A. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie izyskanij, proektirovaniya i stroitel'stva kak obyazatel'nyj ehlement dostizheniya trebuemykh pokazatelej proekta [Scientific and technical support of surveys, design and construction as an obligatory element of achieving the required project indicators] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2019. – Vol. 14, Iss. 11. – Pp. 1428–1437.
7. Leontyev, E. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie pri proektirovanii ob'ektov proizvodstvennogo i grazhdanskogo naznacheniya povyshennogo urovnya ответственности [Scientific and technical support in the design of industrial and civil facilities with a higher level of responsibility] / E. V. Leontyev, R. Yu. Gazizov // Vestnik gosudarstvennoj ehkspertizy [Bulletin of state expertise]. – 2020. – No. 1. – Pp. 56–61.
8. Graney, V. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie proektirovaniya zdaniy i sooruzhenij [Scientific and technical support for the design of buildings and structures] V. V. Graney // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2018. – No. 6. – Pp. 4–8.
9. Lapidus, A. A. Razrabotka programmy provedeniya nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva zdaniy s zaglubleniem podzemnoj chasti bolee chem na 15 metrov [Development of a program for scientific and technical support of the construction of buildings with burying the underground part by more than 15 meters] / A. A. Lapidus, I. S. Shevchenko // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2020. – Vol. 12, No. 2.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_101

Создание базы данных управления инвестиционно-строительным проектом на основе порталного решения

Creation of an Investment and Construction Project Management Database Based on a Portal Solution

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 кафедры «Организация строительства», 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 of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, l.zelencov@yandex.ru

Илюшин Сергей Алексеевич
Магистр кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, 2435170@mail.ru

Ilyushin Sergey Alekseevich
Master student of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, 2435170@mail.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
Postgraduate 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
Postgraduate 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 настоящее время рядом российских IT-компаний осуществляется разработка порталных решений, которые позволяют упростить разработку, внедрение и поддержку задач интегрированных технологий ERP с высоким классом сложности в сфере управления инвестиционно-строительными проектами (ИСП).
Методы. В ДГТУ начиная с 2022 г. совместно с технологическим партнёром, строительной компанией ЗАО «ЮТМ», в рамках импортозамещения программного обеспечения ведётся разработка порталного решения для управления инвестиционно-строительными проектами в сфере промышленного строительства. В основу функциональной составляющей цифровой платформы положены выполненные ранее научно-практические исследования в сфере создания интеллектуальной системы управления строительством.
Результаты. В основу создания информационной базы ин-

Abstract. Object. Currently, a number of Russian IT companies are developing portal solutions that make it possible to simplify the development, implementation and support of tasks of integrated ERP technologies with a high complexity class in the field of investment and construction project (ICP) management.
Methods. In DSTU, starting from 2022, together with its tech-

теллектуальной системы управления (ИСУ) «ИСП» положена концепция PLM, основанная на принципе одноразового ввода в систему первичной информации в местах её возникновения с последующим её агрегированием для целей планирования и учёта, которая реализуется за счёт единства информационных баз стадий проектирования и строительства.
Выводы. Создание структуры базы данных и её наполнение проектной информацией осуществляется на стадии проектирования, а на стадии строительства она дополняется информацией, возникающей на стадии подготовки строительного производства и в процессе выполнения строительно-монтажных работ, а также монтажа специального и технологического оборудования.
Ключевые слова: база данных, ИСП, материальные ресурсы, проектная документация, классификатор материальных ресурсов.

nology partner, the construction company UTM CJSC, as part of import substitution of software, a portal solution is being developed for managing investment and construction projects in the field of industrial construction. The functional component of the digital platform is based on previously completed scientific and practical research in the field of creating an intelligent construc-

tion management system.

Findings. The creation of the information base of the IMS «ISP» is based on the PLM concept based on the principle of one-time input into the system of primary information at the places of its occurrence with its subsequent aggregation for planning and accounting purposes, and which is implemented through the unity of information bases of the design and construction stages.

Conclusions. The creation of a database structure and its fill-

ing with design information is carried out in the IMS «Design», and at the construction stage in the IMS «Construction» it is supplemented with information arising at the stage of preparation of construction production and in the process of performing construction and installation work and installation of special and technological equipment equipment.

Keywords: database, COI, material resources, project documentation, classifier of material resources.

Введение

Основным интеграционным элементом портального решения в управлении инвестиционно-строительными проектами (ИСП) является база данных.

Проектная и исполнительная документация в цифровом виде являются входной информацией при решении задач в процессе технического обслуживания и ремонта основных фондов предприятия [1].

Основным связующим элементом ИСУ «ИСП» является общесистемная база данных БД ИСП, которая разрабатывается с соблюдением основного принципа, используемого при проектировании информационных систем, – принципа единства в классификации и кодировании ресурсов, используемых в системе. Учитывая особенности возведения промышленных зданий и сооружений, это в первую очередь относится к материальным ресурсам (МР), на которые приходится львиная доля затрат в стоимости объектов (до 70 %).

Материалы и методы

БД ИСП ориентирована на управление документооборотом в процессе реализации крупных инвестиционно-строительных проектов и включает базы данных чертежей стадий: П – проектирования, Р – разработки рабочей документации и Д – разработки детализированных чертежей, баз данных сметной и исполнительной документации [2].

Ядром БД ИСП является общесистемная база данных – ОБД, которая включает классификаторы и справочники:

- классификатор разделов проекта;
- классификатор единиц измерения;
- классификаторы МР (материальных ресурсов), строительных машин и механизмов, транспортных средств;
- справочники перевода МР из одних единиц измерения в другие.

БД ИСП включает ряд локальных БД: $D \in \{D^1, D^2, D^3\}$, где D^1 – база данных подрядных организаций, выполняющих строительно-монтажные работы, D^2 – база данных организаций, выполняющих специальные работы: сантехнические, электромонтажные, D^3 – база данных организаций, выполняющих пуско-наладочные работы [3].

- БД договоров:
- генподряда;
 - подряда на выполнение СМР;
 - подряда на выполнение пуско-наладочных и специальных видов работ;
 - договоров на поставку материалов, полуфабрикатов, готовых конструкций (металлических, железобетонных);
 - договоров с предприятиями стройиндустрии на производство металлических конструкций и изделий, железобетонных конструкций;
 - договоров аренды или лизинга строительных машин и механизмов (СМиМ);

- договоров на обеспечение строительной площадки технологическими ресурсами: электроэнергией, водой, теплом и т. п.
- При разработке организационно-технологической модели возведения объекта используется БД НТК – нормативная база технологических карт (ТК), которая адаптируется к технологиям производства работ на конкретном объекте, и в результате создаётся фактическая база ТК, привязанная к конкретному объекту строительства, – БД ФТК [4].

БД НТК задаёт организационно-технологическую нормаль производства работ при возведении объекта строительства определённого вида (жилого, промышленного, линейного и т. п.) и служит в качестве основы для определения последовательности производства работ, численности исполнителей и потребности в СМиМ и т. п. Фактическая база данных (БД ФТК) служит одним из механизмов по реализации концепции онтологии – технологии управления строительством на основе накопленных знаний путём создания баз данных объектов-аналогов и разработки механизмов их применения на стадиях проектирования и строительства [5].

База данных объёмов работ и материальных ресурсов (БД ОР и МР) построена по иерархическому принципу, учитывающему членение объекта как по организационно-технологическому признаку, используемому при производстве работ, так и пространственному (объёмно-планировочному), применяемому на стадии проектирования. В базе выделяются следующие уровни группировки информации:

1. Стройка – комплекс возводимых зданий и сооружений промышленного или гражданского назначения;
2. Объекты и подобъекты в составе стройки;
3. Разделы проекта: КЖ, КМ, АР и т. д.;
4. Конструктивные элементы (КЭ) объектов и подобъектов;
5. Виды работ, выполняемые при возведении КЭ;
6. Технологические комплексы работ – совокупность однородных работ, выполняемых при возведении КЭ;
7. Технологические процессы – элементарные составляющие работ.

Основным элементом БД ОР и МР является конструктивный элемент (КЭ) – часть здания или сооружения, выделенная в трёхмерном пространстве с целью детализации конструктивных решений [6].

Разработка чертежей КЭ осуществляется со следующей детализацией:

- первый уровень – «узлы, детали». На этом уровне принимаются решения по арматурным сеткам, закладным деталям и т. п.;
- второй уровень – «элементы». На этом уровне проектируются балки, колонны, отдельно стоящие фундаменты и т. п.;

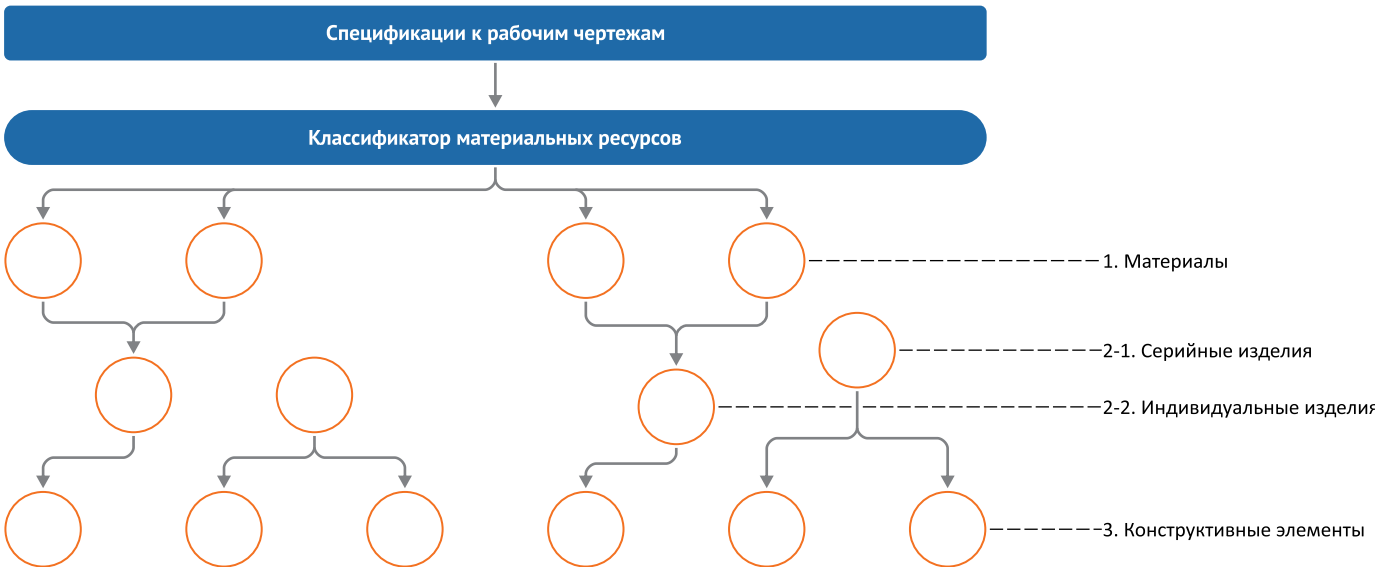


Рис. 1. Схема классификации материальных ресурсов
Pic. 1. Scheme of classification of material resources

- третий уровень – «компоненты». На этом уровне проектируются перекрытия, покрытия, ограждающие конструкции и т. п.

На стадии проектирования БД ОР и МР к КЭ осуществляется привязка рабочих чертежей, к которым, в свою очередь, присоединяются спецификации, содержащие исходную детальную информацию об объёмах работ и потребности в материалах, полуфабрикатах и изделиях, используемых при изготовлении КЭ или при монтаже технологического оборудования [7].

В строительных организациях работники ПТО при получении ПСД осуществляют входной контроль качества ПСД и на основании данных спецификаций проверку правильности расчёта потребности в МР с определением детального состава видов работ, необходимых для изготовления КЭ. Поэтому первой задачей является создание картотеки чертежей, позволяющей отслеживать весь их жизненный цикл, а второй – ввод МР из спецификаций на основании классификатора материальных ресурсов (МР), содержащего детальную информацию о МР, используемых в строительстве (рисунок 1) [8].

Основным требованием разрабатываемой цифровой платформы ИСУ «Строительство» является однозначная идентификация всех МР, используемых при решении за-

дач на стадиях подготовки строительного производства, оперативного управления и управленческого учёта [9].

Результаты

Базовая общесистемная классификация МР разработана на основании классификации, принятой на стадии проектирования.

Учитывая то обстоятельство, что у поставщиков МР зачастую существует своя система кодирования МР, в общесистемном классификаторе МР ИСУ «Строительство» предусмотрено накопление (запоминание) всех возможных вариантов кодирования МР у поставщиков с выделением варианта, используемого при разработке рабочих чертежей объекта строительства [10].

При такой технологии обработки информации каждая кодировка материального ресурса, переносимого в базу данных из спецификаций рабочих чертежей или товарных накладных (ТН), «пропускается» – сравнивается с базовым – общесистемным классификатором, принятым в «системе», а затем, если отсутствуют совпадения, осуществляется сравнение с дополнительной базой, в которую заносятся все неидентифицированные записи (рисунок 2). Дополнительная база включает описание неидентифицированных МР на основании ранее обработанной информации накладных от разных поставщиков, и,

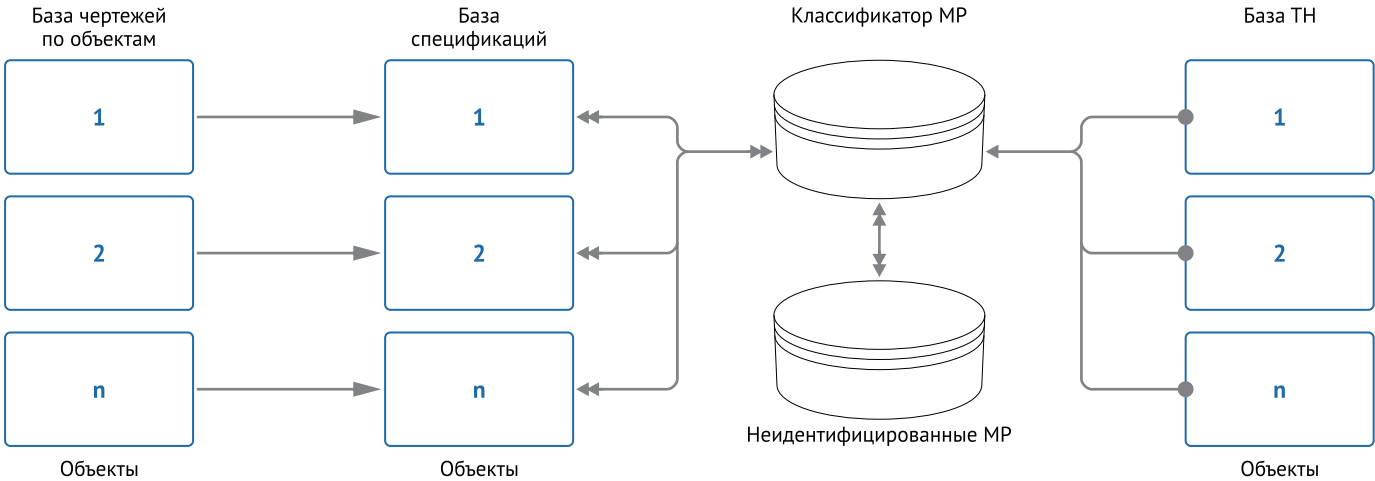


Рис. 2. Формирование исходной базы материальных ресурсов на основании чертежей и ТН
Pic. 2. Formation of the initial base of material resources based on drawings and technical specifications

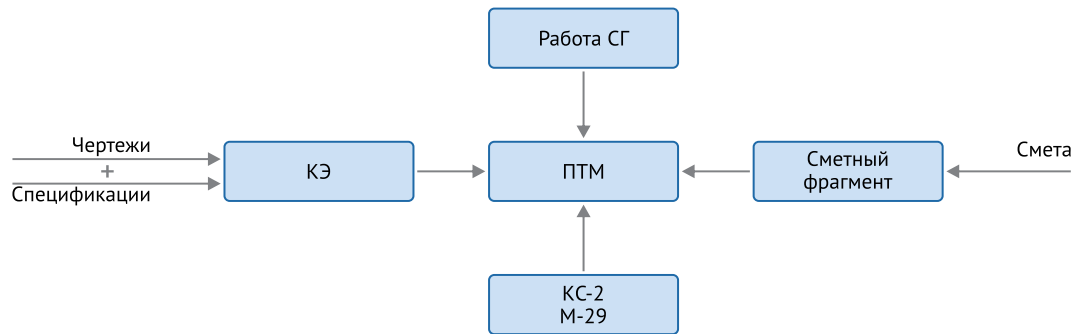


Рис. 3. Принципиальная схема формирования ПТМ
Fig. 3. Schematic diagram of the formation of PTM

таким образом, решается задача однозначной идентификации всех используемых ресурсов.

В том случае, если в ТН поставщика использована кодировка, отсутствующая в общесистемном классификаторе, и ранее не встречалась, то она заносится в него системным администратором в ручном режиме. Имеющаяся в ТН информация о ценах на МР по поставщикам помогает проводить их анализ в динамике по заданной номенклатурной группе, региону, периоду обзора, использовать при разработке формы КС-2, подготовке оферты на стадии проведения торгов и расчёте отклонений сметной стоимости МР от фактической стоимости.

Обсуждение

Программный комплекс ориентирован как на ручной ввод информации с рабочих чертежей, так и на организацию информационного интерфейса с автоматизированными системами проектирования.

В ИСУ «ИСП» организационно-технологическая модель объекта строительства может быть представлена как совокупность детальных моделей пространственно-технологической структуры объекта в виде так называемых проектно-технологических модулей (ПТМ) (рисунок 3). Под ПТМ понимается часть здания, выделенная в 3D-модели, включающая один или несколько конструктивных эле-

ментов с «привязанными» к ним рабочими чертежами, спецификациями МР, объёмами работ и технологическими схемами, сметными фрагментами, что позволяет создать непротиворечивую базу данных, удовлетворяющую с точки зрения детализации и описания технологических процессов инженерно-технических работников строительной организации.

Заключение

Исходя из сложившейся практики планирования строительно-монтажных работ, информация ПТМ используется при разработке месячных, недельно-суточных планов. На основании ПТМ определяются объёмы работ, потребность в МР, трудовых ресурсах и строительных машинах. В конце месяца на основании отчётной информации по ПТМ осуществляется разработка формы КС-2, списание использованных МР по форме М-29, расчёт производительности труда и оценивается эффективность использования трудовых ресурсов и строительных машин (простой и их причины). База ПТМ является основным элементом системы управленческого учёта ИСУ «ИСП».

Программный комплекс ИСУ «ИСП» ориентирован как на ручной ввод информации с рабочих чертежей, так и на организацию информационного интерфейса с автоматизированными системами проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интеллектуальные системы управления в строительстве : монография // Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, М. С. Шогенов, И. Г. Трипута ; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2017. – 88 с.
2. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, Н. Г. Акопян, М. С. Шогенов // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 41–44.
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. – 2018. – Pp. 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. – Pp. 455–463.

Iss. 1. – 2021. – Pp. 455–463.
6. Интеграция смет и BIM-проектов / Л. Б. Зеленцов, Я. А. Кокарева, Н. Г. Акопян, 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 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. – Pp. 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.

REFERENCES

1. Intellektual'nye sistemy upravleniya v stroitel'stve : monografiya [Intelligent control systems in construction : mon-

ograph] // L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, M. S. Shogenov, I. G. Triputa ; FGBOU VO «Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» [Don State Technical University]. – Rostov-

on-Don : DSTU, 2017. – 88 p.

2. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh protsessov v stroitel'stve s ispol'zovaniem sovremennykh tsifrovyykh tekhnologij [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. – No. 1. – Pp. 41–44.
3. Ostroukh, A. V. Intellektual'nye sistemy : monografiya [Intelligent systems : monograph] / A. V. Ostroukh. – Krasnoyarsk : Scientific and Innovation Center [Nauchno-innovatsionnyj tsentr], 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. – 2018. – Pp. 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. – Pp. 455–463.
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

УДК 69.00

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_105

Поисковые исследования технологий цифровых двойников в строительной индустрии

Exploratory Research on Digital Twin Technologies in the Construction Industry

Топчий Дмитрий Владимирович

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

Topchiy 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, Yaroslavl'skoe shosse, 26, TopchiyDV@mgsu.ru

Альоода Осама Джаббар

Аспирант кафедры «Испытания сооружений», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Osamaajabbar86@gmail.com

Alyooda Osama Jabbar

Postgraduate student of the Department of Testing of Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, Osamaajabbar86@gmail.com

Наджи Алаа Джалиль Наджи

Аспирант Инженерной академии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6, alaa.alnsray@qu.edu.iq

Alaa Jaleel Naji

Postgraduate student of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN), Russia, 117198, Moscow, ulitsa Miklukho-Maklaya, 6, alaa.alnsray@qu.edu.iq

Мохамед Ибрагим Абу Махад

Кандидат технических наук, доцент Инженерной академии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6, Abu-makhadi-mi@rudn.ru

Mohamed Ibrahim Abu Mahadi

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN), Russia, 117198, Moscow, ulitsa Miklukho-Maklaya, 6, Abu-makhadi-mi@rudn.ru

Аннотация. В связи с быстрым ростом экономического развития строительный сектор нуждается в новых методах и технологиях. Более того, на строительный сектор оказывается огромное давление с целью внедрения цифровых решений для улучшения ряда аспектов. В последнее время технологии цифровых двойников вызывают всё больший интерес у специалистов в области строительства. Технологии цифровых двойников считаются одними из самых современных технологий, которые используются в таких отраслях, как ракетостроение, самолётостроение, автомобилестроение, медицинские приборы и медицинские науки. Они также использовались в строительной индустрии, но не в полной мере.

Цель исследования – предоставить всесторонний обзор технологии цифрового двойника в строительстве, в том числе гражданском, а также отразить вызовы и трудности, которые заключаются в недостатке исследований в этой области и отсут-

Abstract. As a result of the economy developing so quickly, the building sector needs novel methods and technologies. More so, enormous pressure is imposed on the building sector to adopt digital solutions to improve several aspects. Recently, digital twin technologies have gained more interest among construction specialists digital twin technologies are one of the most advanced technologies that are used in industries such as rocketry, aircraft, automotive, medical devices, and medical sciences. They have also been used in the construction industry, but not to the full extent.

The purpose of the study is to provide a comprehensive overview of digital twin technologies in construction, including civil construction, as well as to reflect the challenges and difficulties that lie in the lack of research in this area and the lack of current technological progress. This work is based on a review of avail-

Введение

В условиях перехода мировой экономики на новый этап технологического развития цифровые технологии начинают играть всё большую роль – как на уровне национальных экономик, так и на уровне мировой экономики в целом. Повсеместная автоматизация и цифровизация технологических процессов, внедрение новых стандартов компьютеризации, внедрение роботизации на всех участках производственного цикла в строительной отрасли приводят ко всё большему отказу от ручного труда и передаче цифровым технологиям всё большей части функций. Всё это приводит к увеличению значимости технологий при планировании, организации и выполнении производственных процессов строительной отрасли.

Удельная доля цифровизации на основе технологии цифровых (виртуальных) моделей в строительной отрасли возрастает с каждым годом, что оказывает непосредственное влияние на экономический рост как национальных экономик, так и мировой экономики в целом. Всё это делает актуальным определение роли цифровизации на основе технологии цифровых (виртуальных) моделей в формировании стоимости строительного проекта и определение рисков, связанных с внедрением и развитием технологий для экономики. Особую значимость получает данный анализ в условиях нарастания структурных проблем в мировой экономике на фоне военных конфликтов и пандемии коронавируса.

Несмотря на то, что понятие «цифровой двойник» не является новым, эту технологию начали применять в строительной сфере относительно недавно. Прошло более 20 лет с момента появления концепции цифрового клона, которая вошла во многие отрасли, и существует множество исследователей и учёных, которые используют её в соответствии со своей специализацией. Впервые идея зародилась в НАСА, где работали над моделями

стви текущего технологического прогресса. Этот труд основан на обзоре имеющихся исследований. В данной работе использовался описательный аналитический подход. В статье представлены таблицы и схемы методологии, что поможет в дальнейшем использовать этот материал для понимания опыта тех, кто работает в строительной индустрии, и инженеров технологий цифровых двойников. В статье представлена методология по созданию цифрового двойника в строительной индустрии. Методология исследования включает анализ, синтез, сравнение. Результатами исследования являются анализ технологий цифровых двойников и разработка рекомендаций по их применению в строительной индустрии.

Ключевые слова: технология цифрового двойника, цифровая тень, индустрия 4.0, BIM-технологии, Интернет вещей (IoT), строительная индустрия, цифровая модель.

able research. In this work, a descriptive analytical approach was used. The article presents tables and diagrams of the methodology, which will help to use this material in the future to understand the experiences of those working in the construction industry and engineers of digital twin technologies. The article presents a methodology for creating a digital twin in the construction industry. The research methodology includes analysis, synthesis, and comparison. The results of the study are the analysis of digital twin technologies and the development of recommendations for their application in the construction industry.

Keywords: digital twin technology, digital shadow, industry 4.0, BIM technologies, internet of things, construction industry, digital model.

космических капсул в натуральную величину, которые использовались на Земле для отражения и диагностики проблем в них. Затем концепция использования «близнецов» возникла благодаря программе Apollo, для которой в 1991 году были построены два идентичных космических корабля. НАСА определяет цифрового близнеца как мультифизическую систему. Это определение основано на идее синхронизации цифрового и реального аналога. Это моделирование. Эта синхронность и делает их «близнецами» [1].

Термин «цифровой двойник» впервые появился в аэрокосмической промышленности примерно в 2002 году как связанная модель реального механизма, работающая на облачной платформе и имитирующая техническое состояние с использованием комбинации других физических знаний и методов анализа данных [2; 3]. Технологическая основа данной технологии – Отрасль 4.0 – уходит корнями в Интернет вещей [4].

Технология цифрового двойника – единая системная модель, способная координировать архитектуру, механические, электрические, программные, верификационные и другие аспекты модели, специфичные для той или иной специальности, на протяжении жизненного цикла системы, которая способна объединять модели на основе различных производителей в конфигурационно-контролируемых хранилищах. Цифровой двойник – это виртуальная, динамическая модель в виртуальном мире, которая полностью соответствует физическому объекту из реального мира и может своевременно моделировать его характеристики, поведение, срок службы и работоспособность [5; 6]. Ещё одно определение технологии: виртуальная, динамическая модель, способная быстро имитировать характеристики, поведение, жизнь и производительность своего физического аналога, полностью соответствующая своему физическому объекту в реаль-

№	Определение	Ссылка
1	Цифровое представление физического объекта, которое облегчает работу, координацию и связь в рамках производственного процесса для повышения производительности и эффективности за счёт обмена информацией.	[1]
2	Виртуальные модели физических объектов создаются в цифровой форме для имитации их поведения в реальных условиях.	[2]
3	Цифровые копии живых и неживых субъектов, позволяющие беспрепятственно передавать данные между физическим и виртуальным мирами.	[3]
4	Цифровой двойник – это реалистичное цифровое представление процессов или систем активов в созданной или природной среде.	[4]
5	Единая модель системы, которая может координировать архитектурные, механические, электрические, программные, верификационные и другие модели.	[5]
6	Цифровой двойник физического объекта или процесса помогает повысить эффективность бизнеса.	[6]
7	Цель новой идеи, известной как «цифровой двойник», – виртуально воспроизвести физический объект в цифровой сфере.	[7]
8	Digital Twin – это подход, который устанавливает двунаправленную связь между физической системой и её виртуальным представлением, позволяя использовать искусственный интеллект и аналитику больших данных.	[8]
9	Цифровой двойник – это реальная цифровая копия физической структуры или сети. Датчики, установленные на объекте, постоянно следят за изменениями в здании и прилегающих объектах, отправляя данные для обновления BIM-модели с учётом самых последних измерений и деталей.	[9]

Табл. 1. Различные определения термина «цифровой двойник»
Tab. 1. Different Definitions of the Term «Digital Twin»

ном мире [6]. ISO 23247-1 также определяет цифрового двойника в контексте сектора производства как «цифровое представление, подходящее для производственных целей».

В имеющихся определениях (цифрового клона) подчёркивается, что каждая система состоит из двух систем: физической и цифровой виртуальной. Таким образом, концепция цифрового клона была построена так, чтобы он мог получать входные данные от датчиков сбора информации с реального аналога [12]. Элементы модели обеспечивают синхронизацию между объектом и его цифровым представлением.

Однако строительная индустрия не спешит применять новые технологии, поскольку они повышают риски проекта. Непонимание возможностей технологий моделирования зданий (BIM-технологий) в решении отраслевых проблем, а также недостаточные осведомлённость и понимание со стороны отдельных лиц и организаций привели к отказу от данной технологии [13]. Главным препятствием являются стоимость внедрения и недостаточная информация о преимуществах для строительной отрасли, что делает внедрение цифрового двойника проблематичным [7]. Мы считаем, что интеграция выгодна для развития BIM-технологий [8], тем не менее использование цифровых (виртуальных) моделей в строительной индустрии кажется одной из самых сложных задач в современном мире.

Проблемы строительной отрасли могут включать низкую производительность, отсутствие исследований и разработок и слабое развитие технологий [6]. Промышленность столкнулась с рядом трудностей, таких как низкая производительность, плохая репутация, непредсказуемость, структурная фрагментация, недостаток инвестиций в исследования и инновации. Технологии цифрового двойника могут использоваться для решения подобных проблем в строительной отрасли, которого ранее не существовало, включая возможность быстрого проектирования и строительства сооружений за короткий промежуток времени [7]. Каждый этап процесса реализации проекта имеет своё приложение цифрового клона. В научном сообществе ведётся обсуждение использования цифровых (виртуальных) моделей и моделирования для управления рисками в цепочках поставок. Было установлено также, что использование цифровых (виртуальных) моделей на

этапе проектирования применяется для модернизации уже существующих физических продуктов или оценки производительности хорошо спроектированных объектов.

Наблюдается некоторое изменение в строительном бизнесе из-за моделирования информации о зданиях (BIM). Для обеспечения устойчивости и принятия технологических достижений в строительном секторе необходимо эффективно решить основные проблемы, затрагивающие отрасль. Технологии цифрового двойника следует рассматривать как комплексный метод строительства, который отдаёт приоритет завершению циклов управления, а не способствует расширению инструментов информационного моделирования зданий (BIM), интегрированных с датчиками и технологиями мониторинга [12]. Однако до сих пор нет чёткой концепции и конкретных шагов по развитию и поддержке технологий цифрового клона в строительной отрасли и их использованию в гражданском строительстве.

Исследование данной темы разделено на несколько частей, чтобы прояснить одну концепцию и разработать понятную стратегию использования технологий цифрового клона в строительстве в соответствии с этапами жизненного цикла объекта. Первая часть – введение. Вторая часть показывает и объясняет методологию данного исследования. Третья часть – краткое изложение этапов цифрового клона и методологии конфигурирования при строительстве зданий. Четвертая часть – этапы цифрового клона и методология конфигурирования при строительстве зданий, последствия использования цифрового клона и заключение.

Материалы и методы

Методы научного исследования: анализ, синтез, дедукция, моделирование. Первым этапом исследования стал подбор литературы, посвящённой технологиям цифровых (виртуальных) моделей в строительной отрасли. Изучение каждой публикации, касающейся использования цифровых (виртуальных) моделей в строительной отрасли, послужило основой для обзора литературы. Мы проиллюстрировали эту методологию рабочей схемой (рисунок 1).

Используя данный подход, необходимо придерживаться ряда рекомендаций, включающих синтез и обобщение основной темы исследования, воспроизводимость

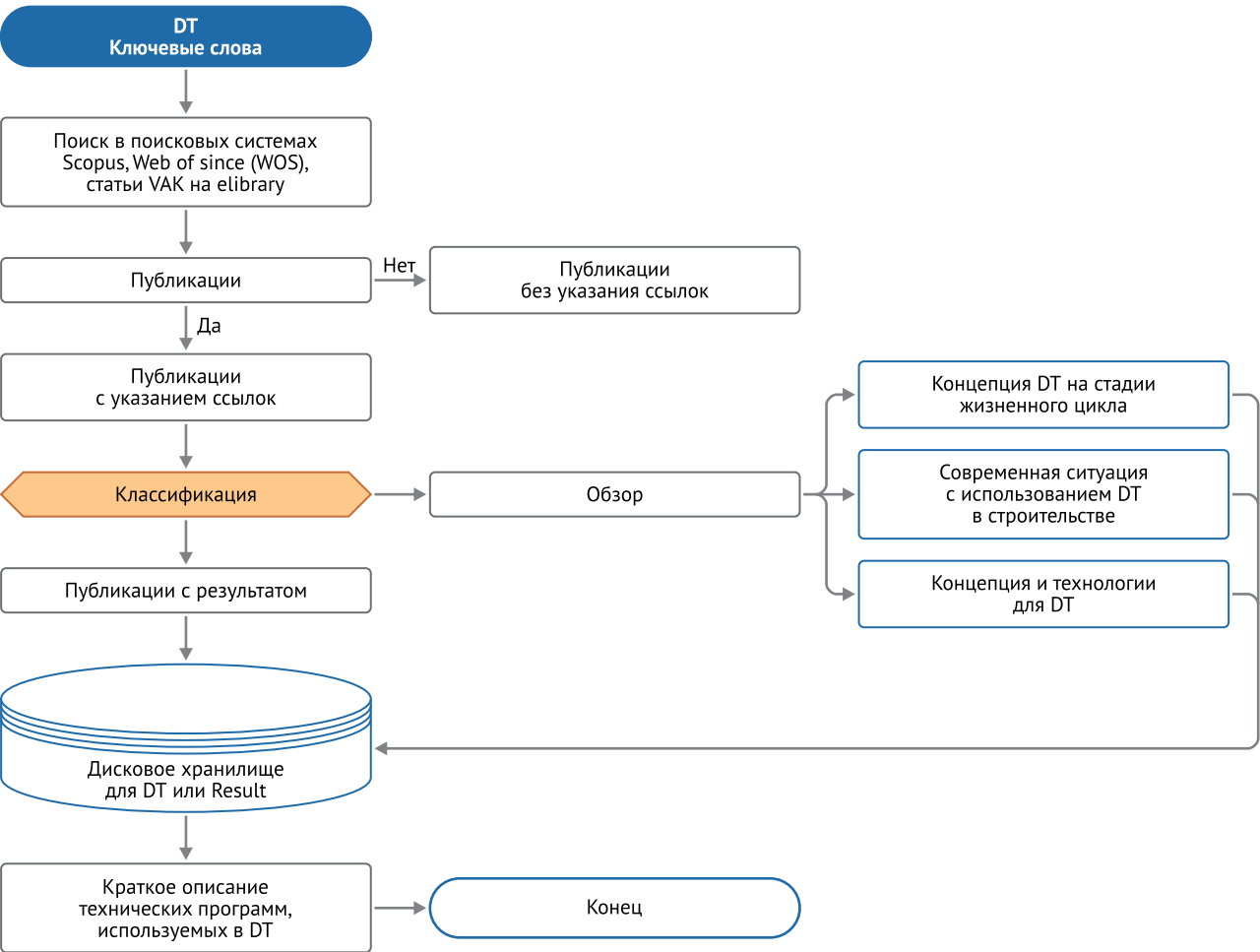


Рис. 1. Схема рабочего процесса
Fig. 1. Workflow Diagram

и обновляемость, а также методически выполненный обзор или презентацию прозрачности процесса [1; 2]. В данном исследовании были изменены методологии ссылок для оценки и анализа значительного объема литературы, подпадающей под заранее установленные параметры [3; 4; 5]. Был определен метод поиска литературы, который обеспечивал бы беспристрастный и повторяемый обзор, значительно влияющий на результаты систематических обзоров [5]. Подобно предыдущим исследованиям [6; 7; 8], данное исследование направлено на изучение и понимание цифровых (виртуальных) моделей с использованием техники обзора Prisma.

Результаты

Для того, чтобы цели исследования были достигнуты, в данной работе использовались разные методы, которые сочетали в себе количественный и качественный ана-

лиз [3; 5]. После изучения содержания исследовательских документов и после отсева неактуальной литературы был проведен комплексный обзор.

Целью исследования явилось выявление основных характеристик и компонентов, влияющих на продвижение и развитие технологии цифрового клона в строительной отрасли. Необходимо было узнать о наиболее важных результатах, к которым пришли исследователи в этой области, и о том, какую пользу они смогут извлечь из этого в будущем, а также дать им информацию и основу для использования этой технологии.

После обзора, классификации, изучения исследований по данной теме они были распределены в соответствии с областями, в которых они использовались в строительной отрасли, а также по литературным обзорам в целом. Таким образом, была собрана полная информа-

№	Исследование	Область применения	Ключевой момент в исследовании	Описание и значение
1	Цифровые двойники для мостов [1]	Оценка состояния мостов, их мониторинг и последующее периодическое обслуживание	Управление жизненным циклом мостов и их эксплуатация	Разработана концепция модульной технологии цифрового двойника на основе связанных данных
2	Создание цифровых двойников существующих железобетонных мостов [2]	Конструкция железобетонных мостов	Автоматизация создания цифровых двойников для существующих железобетонных мостов	Геометрический цифровой двойник существующего железобетонного моста из четырех типов кластеров меченых точек
3	Путь распределения и строительства с использованием интеллектуальных цифровых двойников [3]	Эффективное управление всем процессом строительства предварительно напряженной стальной конструкции	Интеллектуальное планирование	Интеллектуальный метод планирования траектории распределения материалов для строительства предварительно напряженных стальных конструкций на основе цифровых двойников

Табл. 2. Отобранные практические исследования
Tab. 2. Selected Case Studies

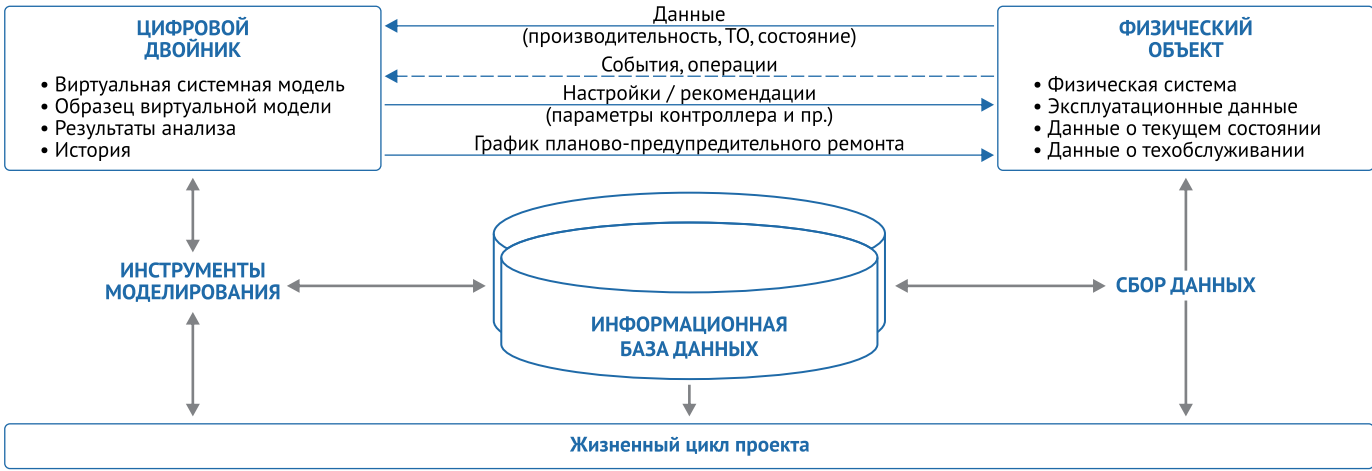


Рис. 2. Цифровые и физические компоненты работают в тандеме с цифровым двойником и жизненным циклом проекта
Fig. 2. Digital and physical components work in tandem with Digital twin and project life cycle

ция. За основу были взяты исследования по данной теме за 2012–2023 гг. (таблица 2).

Цифровой двойник был классифицирован по трём основным компонентам: физические объекты, виртуальные продукты и взаимосвязь между физическими и виртуальными продуктами [6]. Эти цифровые и физические компоненты работают в единой системе, которая основана на коммуникации, сотрудничестве и взаимодействии (рисунок 2) [13].

Есть и другой подход, разделяющий цифровой двойник на моделирование, сбор данных, взаимодействие и сотрудничество и, наконец, представление. В целом цифровой двойник проходит через три подэтапа:

- Цифровая модель: это цифровое представление существующей или планируемой физической вещи, без автоматического обмена данными между физическими и цифровыми элементами.
- Цифровая тень: существует как автоматизированный односторонний поток данных между существующими физическими и цифровыми объектами или моделями.
- Цифровой двойник: потоки данных между физическими и цифровыми объектами, которые полностью интегрированы в обоих направлениях (рисунок 3) [7; 8; 14].

Обсуждение

Чтобы создать цифровую модель физического объекта в качестве его дубликата, механизм создания клона будет следующим. На стадии сбора данных для создания цифрового клона физического объекта инженеры собирают и синтезируют данные из различных источников, включая физические данные, цифровые данные, производственные данные и выводы из программ аналитики. Вся эта информация комбинируется с алгоритмами искусствен-

ного интеллекта в стандартной форме. Постоянный поток данных помогает получить наилучший анализ и выводы относительно объекта, что помогает улучшить бизнес-результаты. В этих условиях целесообразно развитие технологии цифровых (виртуальных) моделей для полноценного анализа рисков строительного проекта с учётом влияния негативных факторов и санкционного давления на окончательную стоимость проекта в строительной отрасли. По итогам анализа выявляется, что экономическое развитие строительной отрасли обусловлено влиянием множества факторов, способных как оказать негативное влияние и привести к принятию неверных управленческих решений, ведущих к финансовым потерям, так и способствовать успешному планированию и реализации проектов. В этих условиях инструментарий цифрового клона позволяет на основе анализа действия факторов предложить экономическим субъектам выбор наиболее оптимального управленческого решения в строительной отрасли, что в перспективе позволит нивелировать риски и избежать негативные последствия при реализации проектов.

Заключение

В условиях структурных проблем в экономике, роста санкционного давления и действия рыночных механизмов повышение экономической безопасности страны является одной из ключевых задач на долгосрочную перспективу, что требует принятия решений по повышению устойчивости национальной экономики в условиях действия множества негативных факторов мировой экономики. В данной работе был представлен обзор технологий цифровых двойников с акцентом на строительство. Все предыдущие исследования показали, что технология цифрового клона привела к серьёзным изменениям в инженерных проектах на всех этапах строительства объек-

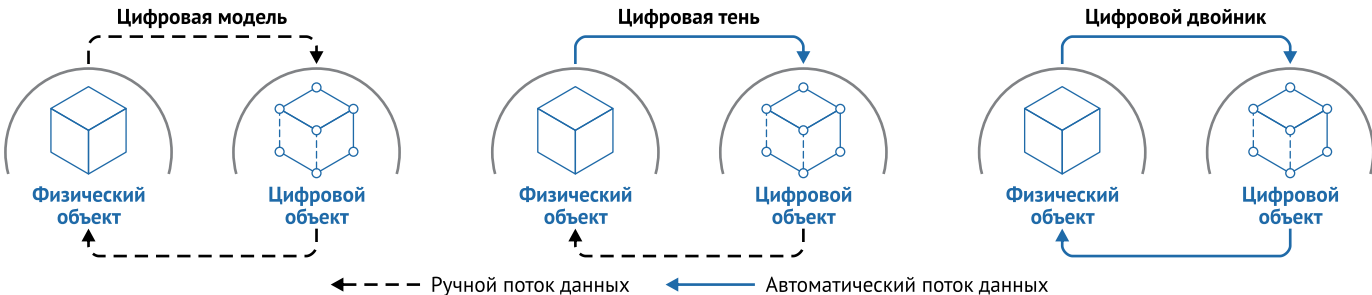


Рис. 3. Поток данных и стадии цифрового двойника
Fig. 3. Data Flow and Digital Twin Stages

та, начиная с планирования, проектирования, анализа и заканчивая реализацией, эксплуатацией, управлением данными, техническим обслуживанием и управлением зданием.

Данная технология имеет множество аспектов.

Эта технология может быть использована на этапе проектирования, что даст возможность узнать о резуль-

татах реализуемого проекта и будущих проблемах. Она также может помочь в работе по контролю и управлению проектами, поставке необходимых материалов для строительства, по контролю и управлению объектами в процессе эксплуатации, а также оценке зданий и сооружений для проведения ремонтных работ.

URL: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DRAFT Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. Technology Area 11 / M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, E. Glaessgen, C. Kemp, J. LeMoigne, L. Wang. – Washington : NASA, 2010.
2. Research, G. V. Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report by End Use : Market Research Report / G. V. Research. – 2018.
3. Ashton, K. That 'Internet of Things' Thing / K. Ashton // RFID Journal. 2009. – June 22. – Pp. 97–114.
4. About the importance of autonomy and Digital Twins for the future of manufacturing / R. Rosen, G. Wichert, G. Lo, D. Bettenhausen // IFAC-Papers Online. – 2015. – Vol. 48, Iss. 3. – Pp. 567–572.
5. Arditi, D. Trends in productivity improvement in the US construction industry / D. Arditi, K. Mokhtar // Construction Management and Economics. – 2000. – Vol. 18, Iss. 1. – Pp. 15–27.
6. Barima, O. Leveraging blockchain technology to improve construction value delivery: the opportunities, benefits, and challenges / O. Barima // Construction Projects ; Hall, K. (ed.). – New York, NY, USA : Nova Science Publishers, Inc, 2017. – Pp. 93–112.
7. Glaessgen, E. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U. S. Air Force Vehicles / E. Glaessgen, D. Stargel // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 23–26 April 2012, Honolulu, Hawaii ; American Institute of Aeronautics and Astronautics. – 2012. –
8. Lu, R. Digital Twinning of Existing Reinforced Concrete Bridges from Labelled Point Clusters / R. Lu, B. Ioannis // Automation in Construction – 2019. – Vol. 105. – Art. 102837. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102837>.
9. Zheng, X. The Emergence of Cognitive Digital Twin: Vision, Challenges and Opportunities / X. Zheng, J. Lu, D. Kiritsis. – DOI 10.1080/00207543.2021.2014591 // International Journal of Production Research. – 2021. – Vol. 60, Iss. 24. – Pp. 7610–7632.
10. Building Information Modelling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges / A. Ghaffarianhoseini, J. Tookey, A. Ghaffarianhoseini, N. Naismith, S. Azhar, O. Efimova, et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 75. – Pp. 1046–1053.
11. Winfield, M. The Winfield Rock Report: Overcoming the Legal and Contractual Barriers of BIM / M. Winfield, S. Rock. – UK BIM Alliance, 2018. – 60 p.
12. Farmer, M. The Farmer Review of the UK Construction Labour Model: Modernise or Die / M. Farmer. – Construction Leadership Council (CLC), 2016. – 80 p.
13. Construction with digital twin information systems / R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, H. S. Xie, M. Girolami // Data-Centric Engineering. – Vol. 1. – 2020. – URL: <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>. <https://dx.doi.org/10.1017/dce.2020.16>.
14. Digital twin application in the construction industry: A literature review / D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, M. Rashidi // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 40. – Art. 102726.

REFERENCES

1. DRAFT Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. Technology Area 11 / M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, E. Glaessgen, C. Kemp, J. LeMoigne, L. Wang. – Washington : NASA, 2010.
2. Research, G. V. Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report by End Use : Market Research Report / G. V. Research. – 2018.
3. Ashton, K. That 'Internet of Things' Thing / K. Ashton // RFID Journal. 2009. – June 22. – Pp. 97–114.
4. About the importance of autonomy and Digital Twins for the future of manufacturing / R. Rosen, G. Wichert, G. Lo, D. Bettenhausen // IFAC-Papers Online. – 2015. – Vol. 48, Iss. 3. – Pp. 567–572.
5. Arditi, D. Trends in productivity improvement in the US construction industry / D. Arditi, K. Mokhtar // Construction Management and Economics. – 2000. – Vol. 18, Iss. 1. – Pp. 15–27.
6. Barima, O. Leveraging blockchain technology to improve construction value delivery: the opportunities, benefits, and challenges / O. Barima // Construction Projects ; Hall, K. (ed.). – New York, NY, USA : Nova Science Publishers, Inc, 2017. – Pp. 93–112.
7. Glaessgen, E. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles / E. Glaessgen, D. Stargel // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 23–26 April 2012, Honolulu, Hawaii ; American Institute of Aeronautics and Astronautics. – 2012. – URL: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>.
8. Lu, R. Digital Twinning of Existing Reinforced Concrete Bridges from Labelled Point Clusters / R. Lu, B. Ioannis // Automation in Construction – 2019. – Vol. 105. – Art. 102837. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102837>.
9. Zheng, X. The Emergence of Cognitive Digital Twin: Vision, Challenges and Opportunities / X. Zheng, J. Lu, D. Kiritsis. – DOI 10.1080/00207543.2021.2014591 // International Journal of Production Research. – 2021. – Vol. 60, Iss. 24. – Pp. 7610–7632.
10. Building Information Modelling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges / A. Ghaffarianhoseini, J. Tookey, A. Ghaffarianhoseini, N. Naismith, S. Azhar, O. Efimova, et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 75. – Pp. 1046–1053.
11. Winfield, M. The Winfield Rock Report: Overcoming the Legal and Contractual Barriers of BIM / M. Winfield, S. Rock. – UK BIM Alliance, 2018. – 60 p.
12. Farmer, M. The Farmer Review of the UK Construction Labour Model: Modernise or Die / M. Farmer. – Construction Leadership Council (CLC), 2016. – 80 p.
13. Construction with digital twin information systems / R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, H. S. Xie, M. Girolami // Data-Centric Engineering. – Vol. 1. – 2020. – URL: <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>. <https://dx.doi.org/10.1017/dce.2020.16>.
14. Digital twin application in the construction industry: A literature review / D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, M. Rashidi // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 40. – Art. 102726.

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ – 2023

TOMiC-2023

International Scientific Conference «Technology, Organization and Management in Construction», TOMiC-2023

9–10 ноября 2023 года в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) состоялась IX Международная научно-практическая конференция кафедр организационно-технологического профиля строительных вузов и технических университетов «Технологии, организация и управление в строительстве – 2023» («Technology, Organization and Management in Construction 2023», TOMiC-2023).

Цель конференции – создание международной площадки для комфортного и конструктивного обмена производственным опытом, научными разработками и инновационными идеями, которые обязательно сможем реализовать вместе.

В конференции приняли участие ведущие учёные в области технологии производства, организации, планирования, управления и менеджмента при реализации строительных проектов с учётом последних мировых достижений.

В рамках конференции работали три тематические секции: «Технология и организация строительства», «Управление жизненным циклом объектов строительства» и «Организационно-технологические аспекты обследования зданий и сооружений», на которых были заслушаны более 70 докладов:

- прогрессивные технологии строительного производства,
- организация и планирование в строительстве,
- организационно-технологическое проектирование,
- менеджмент в строительстве,
- информационное моделирование, управление жизненным циклом зданий и сооружений,
- математические методы в решении задач организационно-технологического профиля,
- моделирование строительных процессов,
- автоматизация в строительстве, САПР,
- экономика строительства,
- безопасность строительного производства,
- экологические аспекты строительных технологий,
- строительный контроль и надзор,
- техническое обследование и экспертиза.

Все доклады касались актуальных проблем современного развития строительной отрасли и были направлены на повышение эффективности организационно-технологического проектирования и контроля качества строительного производства.

Периодичность конференции: ежегодная.

Язык конференции: русский, английский.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2024_1_112

Определение комплекса мероприятий для организации и проведения научно-технического сопровождения уникальных объектов на основе формирования организационно-технологической платформы

Determination of a Set of Measures for Organizing and Conducting Scientific and Technical Support of Unique Objects Based on the Formation of an Organizational and Technological Platform

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, lapidusaa@mgsu.ru

Lapidus Azariy Abramovich

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

Шевченко Ирина Сергеевна

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

Shevchenko Irina Sergeevna

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, isshev@mail.ru

Аннотация. При реализации уникальных объектов капитального строительства предусмотрено привлечение научных специализированных организаций для выполнения работ по научно-техническому сопровождению (НТС). Структура данного вида деятельности уже имеет различные направления исследований, установившие аспекты организации НТС и области применения. Однако существует ряд несовершенств данного вида работ научного характера, которые предлагается устранить путём представления НТС в платформенной структуре.

Единая структура деятельности НТС может быть представлена в виде организационно-технологической платформы научно-технического сопровождения уникальных объектов (ОТП НТС). На основе метода дерева целей и предложенных разноуровневых целей была произведена их математическая

Abstract. When implementing unique capital construction projects, it is envisaged to involve scientific specialized organizations to carry out work on scientific and technical support (STS). The structure of this type of activity already has various areas of research, established aspects of the organization of STS and areas of application. However, there are a number of imperfections in this type of scientific work, which are proposed to be eliminated by presenting STS in a platform structure.

The unified structure of STS activities can be presented in the form of an organizational and technological platform for scientific and technical support of unique objects (OTP STS). Based on the goal tree method and the proposed multi-level goals, their mathematical formalization was carried out. Based on statistical

формализация. При статистической обработке результатов экспертного опроса были получены коэффициенты значимости каждой конкретной цели. С учётом наиболее значимых целей предложены комплексы мероприятий, направленные на достижение каждой цели подсистем, которые в совокупности своей деятельности позволяют достичь генеральной цели платформы – результата деятельности НТС. Реализация в практической деятельности предложенных комплексов мероприятий может позволить нивелировать недостатки исследуемого процесса без ухудшения результата, получаемого от проведения НТС.

Ключевые слова: уникальные объекты, научно-техническое сопровождение, системный подход, платформенный подход, моделирование процессов, комплекс направлений решений.

processing of the results of the expert survey, significance coefficients for each specific goal were obtained. Taking into account the most significant goals, sets of measures have been proposed aimed at achieving each goal of the subsystems, which, together with their activities, make it possible to achieve the general goal of the platform - the result of the activities of the STS. The implementation of the proposed sets of measures in practice can make it possible to level out the shortcomings of the process under study, without deteriorating the result obtained from carrying out STS.

Keywords: unique buildings and structures, scientific and technical support, system approach, platform approach, process modeling, set of solutions.

ных идей и уникальных конструктивных решений для строительства зданий и сооружений с целью планирования комфортной жизнедеятельности населения. Строительство таких объектов становится неотъемлемой ча-

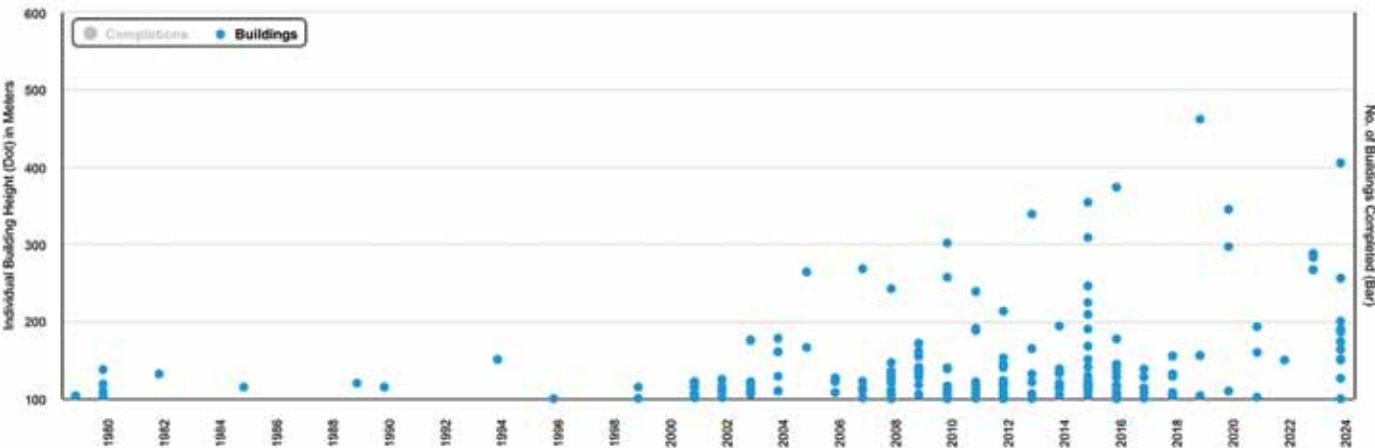


Рис. 1. График возведения объектов высотой более 100 метров в Российской Федерации, данные международной организации The Council on Tall buildings and Urban Habitat, CTBUH

Fig. 1. Construction schedule for objects over 100 meters high in the Russian, data provided by the Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH

стью эффективного и рационального освоения городских территорий и увеличения площадей производственного и непроизводственного назначения. В Российской Федерации существует понятие «уникальные объекты капитального строительства», к которым относятся объекты высотой более 100 метров. Согласно статистике международной организации The Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), такие объекты стали востребованными начиная с 2000-х годов (рисунок 1) и набирают свою популярность с каждым годом.

Согласно современной законодательной базе, к уникальным объектам капитального строительства относятся объекты, указанные в статье 48.1 Градостроительного кодекса Российской Федерации, как «особо опасные, технически сложные и уникальные объекты».

Нестандартные и не апробированные ранее решения проектных организаций, усложняющие характеристики новых уникальных объектов, требуют обеспечения надлежащего качества, надёжности и безопасности на всём жизненном цикле таких объектов ввиду значительных социальных и экономических последствий их разрушений [1]. С целью обеспечения данных требований на законодательном уровне Российской Федерации предусмотрена деятельность научно-технического сопровождения (далее – НТС), полезный потенциал проведения которого был неоднократно доказан на практике возведения уникальных объектов [2–5].

Однако сегодня возникает необходимость рассмотрения деятельности НТС как целостного комплекса взаимосвязанных структурных элементов, который будет способен учитывать в себе различные организационные и практические стороны данного процесса [6–7] и позволит представить данный вид деятельности как единое целое.

В качестве возможного формата реализации такого подхода может быть привлечена концепция технологических платформ. Представление деятельности НТС в платформенном виде позволит объединить уже исследованные направления и существующие аспекты деятельности НТС в единую систему, а именно организационно-технологическую платформу научно-технического сопровождения уникальных объектов (ОТП НТС), и при этом создаст такой практический инструмент, который будет понятен и практически применяем для заказчиков данного вида работ и остальных участников строительного процесса.

Предметом исследования выступает ОТП НТС, целью исследования является определение и разработка комплекса мероприятий для достижения целей исследуемой платформы.

Материалы и методы

Платформенное представление НТС уже являлось предметом существующих исследований авторов настоящей статьи в [6–7], так как содержит ряд ключевых преимуществ [8–11]. В отношении деятельности НТС платформа выступает способом интеграции уже существующих направлений и результатов исследований в об-

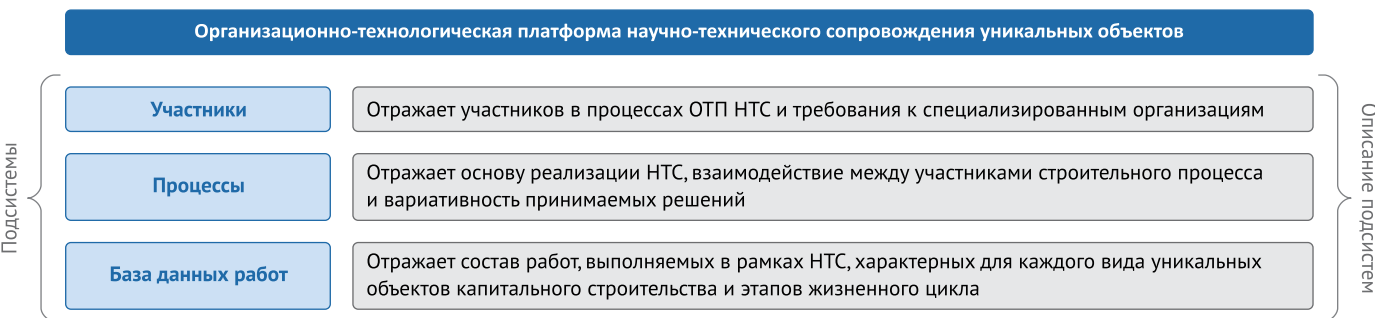


Рис. 2. Структура OTP НТС
Fig. 2. Structure of OTP STS

Введение

Стремительные темпы развития городов, городского пространства и территорий являются точками притяжения реализации нестандартных архитектурно-строитель-

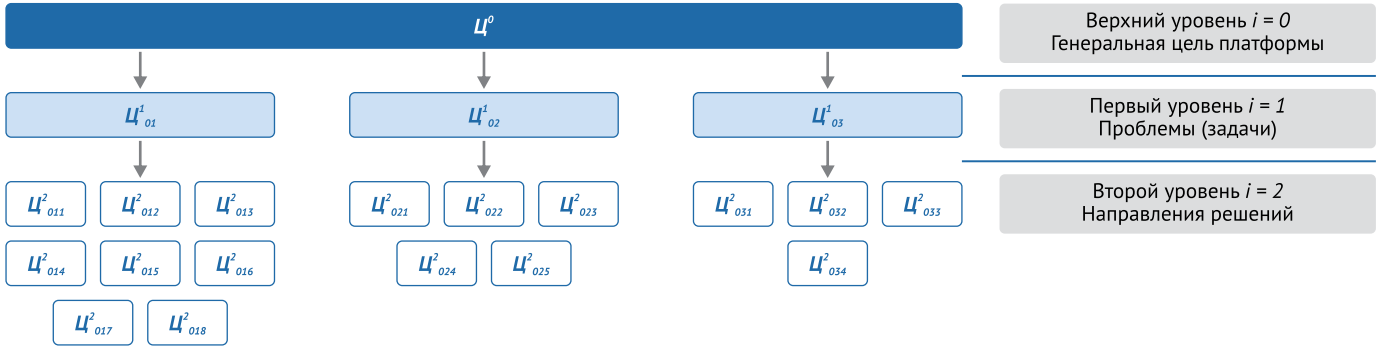


Рис. 3. Матрица целей ОТП НТС
Fig. 3. The matrix of the goals of OTP STS

ласти НТС, а также организует данный вид деятельности в целостное пространство с необходимыми структурными элементами.

Предлагаемое построение ОТП, представленное в исследованиях [6–7], было основано на системном и комплексном подходах, которые применимы к рассмотрению деятельности НТС [12], и осуществлялось с позиции системотехники. Основные принципы существования систем позволяют исследуемой платформе состоять из подсистем, как представлено на рисунке 2.

Возможность использования метода дерева целей, предлагаемая в исследовании [7], направлена на представление платформы в виде иерархической структуры с разложением целей платформы по уровням. На рисунке 3 представлена матрица целей ОТП НТС.

На рисунке 4 представлено поуровневое описание целей ОТП НТС. Более детальное описание целей платформы с описанием каждого направления решений ($i = 2$) и планируемым результатом для практического применения представлено в исследовании авторов [6].

Для определения наиболее значимых из предложенных на рисунке 4 целей первого и второго уровней ($i = 1, 2$) был применён метод априорного ранжирования.

Результаты

При проведении экспертного опроса специалистам, имеющим опыт возведения уникальных объектов, предлагалось провести ранжирование целей по степени их значимости для достижения генеральной цели (ранжировались цели уровня $i = 1$) и целей подсистем (ранжировались цели $i = 2$).

На основе обработки результатов экспертного опроса определялся удельный вес каждой цели (вклад), который также показывает коэффициент значимости конкретной цели. В исследовании принимается, что суммарный вклад целей первого уровня в генеральную цель платформы равен 100 %. При умножении коэффициента значимости цели второго уровня на соответствующий данной цели коэффициент значимости цели первого уровня был получен вклад целей второго уровня в генеральную цель платформы. Суммарный вклад целей второго уровня в генеральную цель платформы равен также 100 %.

По результатам экспертного опроса получен перечень направлений решений (целей второго уровня) для каждой подсистемы, который необходимо выполнить для достижения генеральной цели платформы:

- наиболее значимыми направлениями решений для подсистемы «Участники» являются: $Ц^2_{011}$; $Ц^2_{012}$; $Ц^2_{015}$; $Ц^2_{016}$; $Ц^2_{018}$;
- наиболее значимыми направлениями решений для подсистемы «Процессы» являются: $Ц^2_{021}$; $Ц^2_{022}$; $Ц^2_{023}$; $Ц^2_{024}$; $Ц^2_{025}$;
- наиболее значимыми направлениями решений для подсистемы «База данных работ» являются: $Ц^2_{031}$; $Ц^2_{032}$; $Ц^2_{033}$.

Вышеуказанные цели необходимо выполнить для достижения результата деятельности НТС – генеральной цели платформы – с вероятностью более 90 %.

На основании полученных результатов исследования предлагается разработка комплексов мероприятий для каждой подсистемы ОТП НТС, которые будут учитывать наиболее значимые цели и позволят отразить их применение в практической деятельности.

Комплекс мероприятий для подсистемы «Участники»

Ввиду того, что сегодня нормативно-техническая база в области научно-технического сопровождения не содержит исчерпывающих требований к организациям, осуществляющим научно-техническое сопровождение, и не исключены такие случаи, когда организация не обладает всеми предъявляемыми к ней требованиями, указанными в существующей документации, необходимо выбрать наиболее подходящую организацию для проведения НТС. Так как комплексом направлений решений (целей второго уровня, $i = 2$) для подсистемы «Участники» являлся перечень предъявляемых требований к специализированным организациям, то полученные коэффициенты значимости каждой конкретной цели второго уровня могут выступить критериями оценки таких организаций.

На основании вышеизложенного можно разработать алгоритм выбора специализированной организации, основанный на направлениях решений и их коэффициентах значимости. Такой алгоритм позволит произвести оценку специализированной организации с целью достижения генеральной цели платформы, а также позволит выбрать специализированную организацию в условиях, когда не удастся подобрать специализированную организацию, соответствующую всем требованиям к ним, основываясь на полученных значениях целей второго уровня подсистемы «Участники». Но важно отметить, что при выборе исполнителя работ по НТС специализированной организации

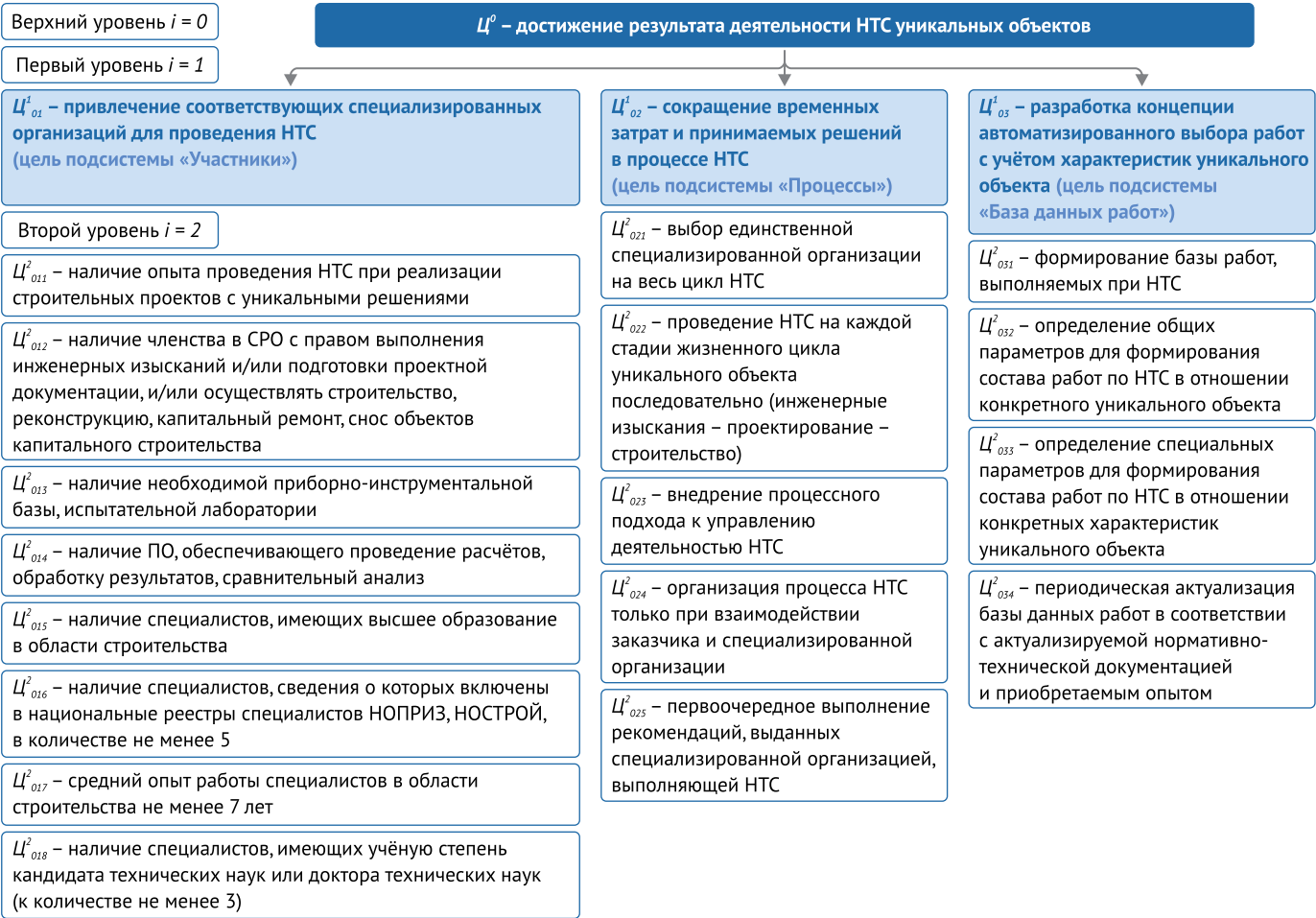


Рис. 4. Дерево целей ОТП НТС
Fig. 4. Tree of goals of OTP STS

необходимо соответствовать тем критериям, которые влияют на достижение генеральной цели ОТП НТС и вносят значимый вклад ($Ц^2_{011}$; $Ц^2_{012}$; $Ц^2_{015}$; $Ц^2_{016}$; $Ц^2_{018}$).

Комплекс мероприятий для подсистемы «Процессы»

Согласно полученному при исследовании комплексу направлений решений для подсистемы «Процессы», все направления решений данной подсистемы необходимы как для сокращения временных затрат и принимаемых решений в процессе НТС ($Ц^1_{02}$), так и для достижения генеральной цели платформы ($Ц^0$). Данный комплекс направлений решений направлен на разработку и формирование организационных аспектов работы НТС.

Внедрение процессного подхода к управлению деятельностью НТС позволит разработать единый процесс организации и проведения НТС. В исследовании [14] авторами данной статьи была построена и предложена графическая модель организации и проведения работ научного характера, выполняющихся научными организациями, как при НТС, на основании и с учётом формирования организационно-технологической платформы, и в нотации моделирования бизнес-процессов BPMN 2.0.

Аналогичный процесс может быть построен для специализированных организаций, выполняющих комплекс работ по НТС, в дальнейших исследованиях в данной об-

ласти. Такой процесс будет учитывать все полученные направления решений для данной подсистемы.

Комплекс мероприятий для подсистемы «База данных работ»

Полученный комплекс направлений решений по результатам исследования для подсистемы «База данных работ» предназначен для разработки однозначных подходов и принципов выбора работ, выполняющихся при НТС для различных характеристик не только «уникальности» объектов, но и параметров возведения объектов, а также формирования самой базы работ, выполняемых при предоставлении услуг по НТС [15].

Основными этапами формирования такой базы являются:

1. Изучение исходных данных (анализ нормативной документации, справочной документации, публикационной активности, и накопленного опыта проведения НТС, и реализации уникальных строительных объектов);
2. Формирование общего перечня работ для выполнения НТС;
3. Определение параметров для выбора работ, входящих в состав и объём работ по НТС. Подразумевается, что для формирования и дальнейшего выбора работ необходимо создание «общих» и «специальных» параметров. На основе сформированно-

го общего перечня к «общим» параметрам могут относиться такие, как этапы жизненного цикла, тип уникального объекта и другие. К «специальным» параметрам возможно отнесение таких параметров, как геотехническая категория объекта, особенности (методы) строительства, тип фундамента и другие;

4. Соотношение работ из общего перечня работ, выполняемых при НТС, с соответствующими параметрами выбора работ «общим» и «специальным». Также необходимо учитывать то, что некоторые работы, выполняемые в рамках НТС, могут относиться к различным предлагаемым параметрам. Например, работы по осуществлению технического и геотехнического мониторинга относятся к этапу «строительство» жизненного цикла, однако данный вид работы следует выполнять при строительстве любого типа уникального объекта.

Принцип автоматизированного выбора работ в подсистеме «База данных работ» основан на действиях пользователей данной базы работ, работе с параметрами, работе программы и работе самой базы данных.

Обсуждение

Предложенные комплексы мероприятий для достижения целей каждой из подсистем исследуемой платформы «Участники», «Процессы», «База данных работ» позволят в дальнейших исследованиях данной темы сформировать методику организации и проведения научно-технического сопровождения уникальных объектов на основе формирования организационно-технологической платформы. Данная методика сможет учесть в себе участие всех трёх подсистем и их направления решений.

Разработка алгоритма выбора специализированной организации и направления решений подсистемы «Участники», которые могут выступить критериями для оценки специализированных организаций, позволит выбрать наиболее подходящую организацию из предлагаемых и сократит процесс выбора такой организации.

На основе организационных аспектов деятельности НТС, которые можно представить в виде BPMN-схемы, как в исследовании [14], будет получен единообразный подход к организации и проведению процесса НТС с учётом возможного привлечения специализированных организаций на различные этапы жизненного цикла уникальных объектов. Такая графическая модель позволит участникам строительства и заказчикам услуг по НТС иметь единообразное представление об организации процесса НТС.

Концепция выбора работ для проведения в рамках НТС выступает автономной частью исследуемой платформы, которая необходима для формирования состава работ, выполняемых с учётом различных особенностей уникальных строительных объектов.

Формирование методики, основанной на предложенных комплексах мероприятий, и платформенный подход

позволят достичь результата деятельности НТС без ухудшения качества предоставляемых услуг и с уменьшением продолжительности организации данного процесса.

Заключение

Для успешной реализации уникальных строительных проектов, обеспечения соответствующих показателей и требований к качеству и безопасности таких объектов в строительной отрасли предусмотрен современный инструмент обеспечения таких требований – научно-техническое сопровождение, важным и целесообразным свойством которого является его привлечение на весь жизненный цикл такого типа строительных объектов. В ряде исследований авторов уже предлагалось объединить существующие направления данного вида деятельности в отдельную структуру – организационно-технологическую платформу. Формируя понятие данной платформы, авторы представляют данную деятельность как сложную систему с составляющими её подсистемами: «Участники», «Процессы», «База данных работ».

Используя метод дерева целей, сформировали матрицу ОТП НТС с разноуровневыми целями. Оценка значимости разноуровневых целей производилась с использованием метода априорного ранжирования и с привлечением экспертов. При статистической обработке полученных оценок экспертов был определён вклад каждой цели первого и второго уровней ($i = 1, 2$) в генеральную цель платформы ($Ц^0$). Таким образом были определены наиболее значимые направления решений (цели второго уровня, $i = 2$) для достижения генеральной цели платформы.

На основании полученных результатов был предложен комплекс мероприятий для достижения цели каждой подсистемы исследуемой платформы. Так, для подсистемы «Участники» возможна разработка алгоритма выбора специализированной организации на основании предложенных направлений решений данной подсистемы и полученных значений вклада каждой цели второго уровня данной подсистемы, которые выступают в качестве критериев оценки специализированной организации.

Для подсистемы «Процессы» предлагается использовать графическую модель, отражающую организационные аспекты деятельности НТС. Концепция автоматизированного выбора работ для подсистемы «База данных работ», исследуемая в других работах авторов настоящей статьи, является автономной частью платформы, а проводимые в рамках НТС работы, основанные на нормативно-технической документации или опыте реализации уникальных объектов, будут являться наполнением такой базы.

Предложенные комплексы мероприятий позволят сформировать в будущих исследованиях методику организации и проведения процесса НТС с целью достижения результата данной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century / J. M. Adam, F. Parisi, J. Sagaseta, X. Lu // Engineering Structures. – 2018. – Vol. 173, No. 4. – Pp. 122–149. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.
2. Kapyrin, P. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility / P. Kapyrin, N. Sevyugina. – DOI 10.1088/1757-899X/365/4/042018 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / 21ST International

Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, April 25-27, 2018. – 2018. – Vol. 365, Iss. 4 – Art. 042018.

3. Leontiev, E. V. Scientific and technical support in the design of industrial and civil facilities with a higher level of responsibility / E. V. Leontiev, R. Yu. Gazizov // Bulletin of State Expertise. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 54–59.
4. Ведяков, И. И. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства высотных зданий на примере комплекса в Санкт-Петербурге / И. И. Ведяков, Д. В. Конин // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 10. – С. 4–11.
5. Ведяков, И. И. Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации при реконструкции большой спортивной арены «Лужники» в г. Москва к чемпионату мира по футболу в 2018 году / И. И. Ведяков, М. И. Фарфель // Вестник НИЦ «Строительство». – 2019. – № 3 (22). – С. 27–41.
6. Лapidус, А. А. Определение целей организационно-технологической платформы научно-технического сопровождения уникальных объектов / А. А. Лapidус, И. С. Шевченко // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 48–56.
7. Лapidус, А. А. Основные принципы формирования организационно-технологической платформы научно-технического сопровождения уникальных объектов / А. А. Лapidус, И. С. Шевченко. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.7.1138-1147 // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, вып. 7. – С. 1138–1147.
8. Gitelman, L. D. University technology platform of anticipatory learning / L. D. Gitelman, D. G. Sandler, M. V. Kozhevnikov. – DOI 10.17059/2016-1-20 // Economy of Region. – 2016. – Pp. 257–266.

REFERENCES

1. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century / J. M. Adam, F. Parisi, J. Sagaseta, X. Lu // Engineering Structures. – 2018. – Vol. 173, No. 4. – Pp. 122–149. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.
2. Kapyrin, P. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility / P. Kapyrin, N. Sevyugina. – DOI 10.1088/1757-899X/365/4/042018 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / 21ST International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, April 25-27, 2018. – 2018. – Vol. 365, Iss. 4 – Art. 042018.
3. Leontiev, E. V. Scientific and technical support in the design of industrial and civil facilities with a higher level of responsibility / E. V. Leontiev, R. Yu. Gazizov // Bulletin of State Expertise. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 54–59.
4. Vedyakov, I. I. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie proektirovaniya i stroitel'stva vysotnykh zdaniy na primere kompleksa v Sankt-Peterburge [Scientific and technical support for the design and construction of high-rise buildings on the example of a complex in St. Petersburg] / I. I. Vedyakov, D. V. Konin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2019. – No. 10. – Pp. 4–11.
5. Vedyakov, I. I. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie proektirovaniya, izgotovleniya, montazha i ehkspluatatsii pri rekonstruktsii bol'shoj sportivnoj areny «Luzhniki» v g. Moskva k chempionatu mira po futbolu v 2018 godu [Scientific and technical support for design, manufacture, installation and operation during the reconstruction of the large Luzhniki sports

9. Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework / J. Weking, M. Stöcker, M. Kowalkiewicz, M. Böhm, H. Krcmar. – DOI 10.1016/j.ijpe.2019.107588 // International Journal of Production Economics. – 2020. – Vol. 225. – Art. 107588.
10. Schulze, F. Industry 4.0 concepts and lean methods mitigating traditional losses in engineer-to-order manufacturing with subsequent assembly on-site: A framework / F. Schulze, P. Dallasega. – DOI 10.1016/j.promfg.2020.10.190 // Procedia Manufacturing. – 2020. – Vol. 51. – P. 1363–1370.
11. Gawer, A. Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework / A. Gawer. – DOI 10.1016/j.respol.2014.03.006 // Research Policy. – 2014. – Vol. 43, Iss. 7. – P. 1239–1249.
12. Лapidус, А. А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта / А. А. Лapidус. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437 // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 11. – С. 1428–1437.
13. Кузнецов, Е. С. Управление техническими системами : учебное пособие / Е. С. Кузнецов ; МАДИ (ГТУ). – Москва, 2003. – 247 с.
14. A New Direction of Professional Activity of Consulting Engineers in the Construction Industry / A. Lapidus, D. Topchiy, T. Kuzmina, I. Shevchenko // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – Pp. 1674. – URL : <https://doi.org/10.3390/buildings13071674>.
15. Лapidус, А. А. Концепция разработки модели программы по научно-техническому сопровождению жизненного цикла уникальных зданий с большим заглублением / А. А. Лapidус, Д. В. Топчий, И. С. Шевченко. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.298-313 // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, вып. 3. – С. 298–313.

arena in Moscow for the 2018 FIFA World Cup] / I. I. Vedyakov, M. I. Farfel // Vestnik NITS «Stroitel'stvo» [Bulletin of the Scientific Research Center "Construction"]. – 2019. – No. 3 (22). – Pp. 27–41.

6. Lapidus, A. A. Opređenje tselej organizatsionno-tekhnologicheskoy platformy nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya unikal'nykh ob'ektov [Defining the goals of the organizational and technological platform for scientific and technical support of unique objects] / A. A. Lapidus, I. S. Shevchenko // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 3. – Pp. 48–56.
7. Lapidus, A. A. Osnovnye printsipy formirovaniya organizatsionno-tekhnologicheskoy platformy nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya unikal'nykh ob'ektov [Basic principles of formation of an organizational and technological platform for scientific and technical support of unique objects] / A. A. Lapidus, I. S. Shevchenko. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.7.1138-1147 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2023. – Vol. 18, Iss. 7. – Pp. 1138–1147.
8. Gitelman, L. D. University technology platform of anticipatory learning / L. D. Gitelman, D. G. Sandler, M. V. Kozhevnikov. – DOI 10.17059/2016-1-20 // Economy of Region. – 2016. – Pp. 257–266.
9. Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework / J. Weking, M. Stöcker, M. Kowalkiewicz, M. Böhm, H. Krcmar. – DOI 10.1016/j.ijpe.2019.107588 // International Journal of Production Economics. – 2020. – Vol. 225. – Art. 107588.
10. Schulze, F. Industry 4.0 concepts and lean methods mitigating traditional losses in engineer-to-order manufacturing with subsequent assembly on-site: A framework / F. Schulze, P. Dallasega. – DOI 10.1016/j.promfg.2020.10.190 // Procedia

- Manufacturing. – 2020. – Vol. 51. – Pp. 1363–1370.
11. Gawer, A. Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework / A. Gawer. – DOI 10.1016/j.respol.2014.03.006 // Research Policy. – 2014. – Vol. 43, Iss. 7. – Pp. 1239–1249.
 12. Lapidus, A. A. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie izyskaniy, proektirovaniya i stroitel'stva kak obyazatel'nyj ehlement dostizheniya trebuemykh pokazatelej proekta [Scientific and technical support of research, design and construction as an obligatory element of achieving the required project indicators] / A. A. Lapidus. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2019. – Vol. 14, No. 11. – Pp. 1428–1437.
 13. Kuznetsov, E. S. Upravlenie tekhnicheskimi sistemami : ucheb-

- noe posobie [Management of technical systems : A textbook] / E. S. Kuznetsov ; MADI (GTU). – Moscow, 2003. – 247 p.
14. A New Direction of Professional Activity of Consulting Engineers in the Construction Industry / A. Lapidus, D. Topchiy, T. Kuzmina, I. Shevchenko // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – Pp. 1674. – URL : <https://doi.org/10.3390/buildings13071674>.
 15. Lapidus, A. A. Kontseptsiya razrabotki modeli programmy po nauchno-tekhnicheskomu soprovozhdeniyu zhiznennogo tsikla unikal'nykh zdaniy s bol'shim zaglubleniem [The concept of developing a program model for scientific and technical support of the life cycle of unique buildings with a large depression] / A. A. Lapidus, D. V. Topchiy, I. S. Shevchenko. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.298-313 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – Vol. 17, Iss. 3. – Pp. 298–313.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_118

Организационно-технологическое моделирование производственных процессов с применением информационных систем

Organizational and Technological Modeling of Production Processes Using Information Systems

Хрусталёв Борис Борисович

Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика, организация и управление производством», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (ПГУАС), Россия, 440028, Пенза, улица Германа Титова, 28, hrustalev_bb@mail.ru

Khrustalev Boris Borisovich

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics, Organization and Production Management, Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS), Russia, 440028, Penza, ulitsa Germana Titova, 28, hrustalev_bb@mail.ru

Каргин Алексей Александрович

Старший преподаватель кафедры «Экономика, организация и управление производством», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (ПГУАС), Россия, 440028, Пенза, улица Германа Титова, 28, kargin_a@mail.ru

Kargin Alexey Alexandrovich

Senior Lecturer of the Department of Economics, Organization and Management of Production, Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS), Russia, 440028, Penza, ulitsa Germana Titova, 28, kargin_a@mail.ru

Аннотация. В настоящее время отсутствует методика управления и моделирования жизненных циклов объекта с учётом образования различных видов потерь на этапах и при переходе с одного этапа жизненного цикла к другому. Методами исследования, применяемыми в работе, являются теоретический анализ, эмпирическое изучение с последующим обобщением и систематизацией полученных данных, кроме этого, были использованы основные научные подходы: «диалектический», «системный», «динамический», «вариантный», «балансовый», «моделирование». Объектом анализа являются организационно-технологические процессы возведения объекта капитального строительства.

Рассмотрен алгоритм формирования и реализации моделей управления с применением информационных моделей в условиях риска с учётом различных видов потерь на организационно-технологических процессах возведения объекта. В исследовании рассмотрено несколько рациональных вариан-

Abstract. Currently, there is no methodology for managing and modeling the life cycles of an object, taking into account the formation of losses at the stages and during the transition from one stage of the life cycle to another. The research methods used in

тов создания объекта капитального строительства, в каждом из которых подвержена изменению только определённая часть параметров.

Для оценки эффективности принятых организационно-технологических решений используется интегральный показатель по всем заданным группам параметрам. Применение цифровых технологий в системах управления объектами недвижимости на этапах жизненного цикла позволит оперативно выполнять и управлять всеми процессами, проходящими на этапах жизненного цикла объекта, что позволяет минимизировать возникновение негативных сценариев при фактической реализации объекта на основной стадии возведения объекта капитального строительства.

Ключевые слова: информационная модель, риски, организационно-технологическое моделирование, потери первого и второго рода, жизненный цикл, гибкие организационные структуры.

the work are theoretical analysis, empirical study with subsequent generalization and systematization of the data obtained, in addition, the main scientific approaches were used: "dialectical", "system", "dynamic", "variant", "balance", "modeling". The object of the

analysis is the organizational and technological scheme of the processes of the capital construction object.

An algorithm for implementing management models using information models in risk conditions, taking into account losses of various levels, is considered. The study considers four options for creating a capital construction facility, in each of which only a certain part of the parameters is subject to change.

To assess the effectiveness of the adopted organizational and technological decisions, an integral indicator is used for all specified parameters. The use of digital technologies in real estate

Введение

На сегодняшний день развитие предприятий инвестиционно-строительного комплекса происходит в условиях риска и неопределённости функционирования строительной отрасли в целом. В связи с нестабильностью ситуации в экономике необходимо разработать актуальный алгоритм развития компаний с вектором эволюции, направленным на использование современных технологий, в том числе с применением информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла возведения объектов. Процесс построения информационной модели, её внедрение и использование являются эффективным инструментом управления в строительной отрасли, а именно во всей системе комплекса видов работ: проектировании, строительстве и эксплуатации всех видов зданий и сооружений на этапах жизненного цикла объектов строительства.

Одной из основных задач организации и управления строительством в настоящее время является разработка методик, направленных на сокращение разного рода потерь при строительстве. Их разработка является одной из приоритетных задач системы управления, что особенно актуально на уникальных и особо сложных инфраструктурных объектах, реализуемых на территории Российской Федерации в рамках выполнения национальных проектов. Наличие потерь времени и средств в период реализации объектов обусловлено применением морально-устаревших методик; управлением инвестиционными проектами, не учитывающими особенности строительного производства; неприменением технологии информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объектов.

Данные предпосылки свидетельствуют о необходимости и актуальности разработки современных организационно-технологических моделей функционирования и развития производственных процессов и комплексной разработки механизмов управления с учётом образования различного вида потерь на всех уровнях развития производственных процессов.

Материалы и методы

Методами исследования, применяемыми в работе, являются теоретический анализ, эмпирическое изучение с последующим обобщением и систематизацией полученных данных. Кроме этого, были использованы основные научные подходы: «диалектический», «системный», «динамический», «вариантный», «балансовый», «моделирование». Объектом анализа является организационно-технологическая схема процессов объекта капитального строительства. Рассмотрен алгоритм для реализации моделей управления с применением информационных

management systems at the stages of the life cycle will allow you to quickly perform and manage all the processes taking place at the stages of the life cycle of the object, which minimizes the occurrence of negative scenarios during the actual implementation of the object at the main stage of the construction of the capital construction object.

Keywords: information model, risks, organizational and technological modeling, losses of the first and second kind, life cycle, flexible organizational structures.

моделей в условиях риска с учётом потерь различного уровня.

В устоявшемся комплексе теоретической и практической системы методологии управления строительством большая часть отечественных, а также иностранных учёных придерживается самой распространённой классификации факторов окружающей среды, при которой фундаментальным основанием является их разделение на внешние и внутренние. Внешние факторы проявляют себя в таких сложных организационно-технологических и экономических ситуациях и условиях на производственных процессах, когда они функционируют во внешней среде и оказывают своё влияние независимо от деятельности конкретного хозяйствующего субъекта и других аналогичных, находящихся за его пределами.

В этих условиях указанные факторы не поддаются какому-либо воздействию и изменению, в связи с чем их влияние необходимо воспринимать как нечто неизменное и чаще всего постоянное. Именно влияние только внешних переменных условий формирует образование рисков, связанных с неопределённостью, сложностью и динамизмом внешней среды. Такая интерференция неизменно приводит к негативному развитию событий, в результате появляется существенное отрицательное отклонение от поставленной цели, плана реализации инвестиционного проекта или общего плана развития деятельности строительных предприятий [1; 2; 3; 4].

Ранее проведённые исследования [5; 6] показывают, что все возникающие потери на производственных процессах возведения объектов недвижимости условно делятся на первого и второго рода. К потерям первого рода относятся прямые потери от воздействия внешних и внутренних факторов на каждом из этапов жизненного цикла. К потерям второго рода относят потери, образующиеся на стыках между этапами жизненного цикла. Это связано с тем, что границы между этапами жизненного цикла являются строго жёсткими, негибкими, т. к. в каждом из периодов взаимодействует множество различных субъектов хозяйственной деятельности, как с одновекторными, так и с противоположными курсами развития, в итоге получаем динамичную систему, но которая не выходит за узкие рамки конкретного этапа и не определяет эффективность развития общей стратегии всего комплекса в целом [5; 6].

На потери второго рода, по сравнению с другими видами, возможно оказывать целенаправленное воздействие при определённых условиях их функционирования с помощью эффективных и оптимальных методов организации и управления строительным производством.

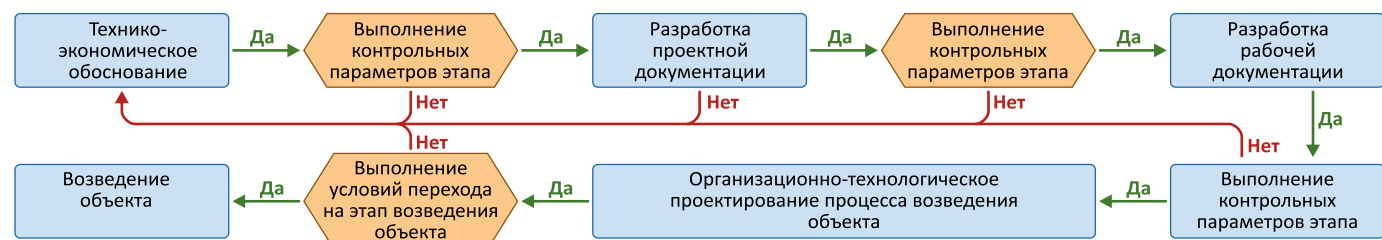


Рис. 1. Алгоритм возведения объекта с применением информационной модели на этапах жизненного цикла
Fig. 1. An algorithm for the construction of an object using an information model at the stages of the life cycle

Неотъемлемой частью моделирования процессов жизненного цикла объекта является обеспечение объекта своевременной и достоверной информацией [7; 8].

В ходе проведённого исследования установлено, что в условиях постоянно меняющихся факторов внешней и внутренней среды происходит образование потерь, которые требуют своей оценки при определении основных параметров и эффективности деятельности предприятий на различных этапах жизненного цикла.

При переходе от одной стадии к другой жизненного цикла объекта внутренние факторы преобразовываются во внешние для всех последующих этапов жизненного цикла возведения объекта недвижимости и деятельности предприятий инвестиционно-строительного комплекса. Например, одним из внутренних факторов на этапе проектирования является компетенция персонала, которая определяет качество всей проектной документации. На последующих этапах качество проектной документации определяет во многом применение современных энергоэффективных и экологических материалов, сокращение транспортных затрат, сроков строительства и иных прямых и косвенных потерь. Таким образом, внутренний фактор на стадии изготовления проектной документации трансформируется во внешний фактор и оказывает существенное влияние на весь процесс возведения объекта и выполнения всех видов строительно-монтажных и специальных работ на основном этапе его строительства.

Результаты

На основании организационно-технологических методов организации строительства с учётом потерьобразующих факторов формируется информационная модель объекта на подготовительных стадиях, до начала производства строительно-монтажных работ и одновременно происходит верификация модели (проверка на соответствие исходным требованиям) с последующей доработкой модели на стадии разработки проектной документации. Описанный выше процесс может выполняться не единожды, в зависимости от поставленных требований

1 модель	2 модель	3 модель	4 модель
P = const R = const t = const S – optimum	P = const R = const t – optimum S – optimum	P = const R – optimum t – optimum S – optimum	P – optimum R – optimum t – optimum S – optimum

Примечание: P – пространство; R – ресурсы; t – время; S – стоимость; Optimum – оптимальный параметр; Const – постоянный параметр

Табл. 1. Модели создания объекта капитального строительства
Tab. 1. Models for creating a capital construction facility

к конечному результату. На каждом этапе определяется комплекс контрольных параметров, выполнение которых позволяет перейти на следующий этап. Алгоритм возведения объекта приведён на рисунке 1.

В процессе моделирования было установлено, что потери имеют два основных вектора развития: в пределах текущего этапа жизненного цикла и на стыках между этапами. Выше указанные потери возникают за счёт дисбаланса влияния внешней и внутренней среды, то есть несоответствия внутренней среды внешним условиям. Таким образом, при смене этапов происходит трансформация потерь за счёт превращения влияния внутренних переменных факторов во внешние факторы постоянного характера влияния, что определяет образование потерь второго рода.

Комплекс мероприятий, учитываемых в информационной модели на стадии подготовки к основному этапу (производство и выполнение строительно-монтажных работ), включает только вспомогательные и обслуживающие производственные процессы, не затрагивая основной процесс возведения объекта строительства.

На стыках между этапами жизненного цикла возведения и реализации объекта влияние потерьобразующих факторов проявляется в максимальной степени [5; 6]. Это потери, которые необходимо минимизировать или исключить за счёт применения технологических и организационных методов организации работ путём создания необходимых резервов по всем видам ресурсов строительного производства (R1 – материальные, R2 – технические, R3 – трудовые, R4 – управленческие, R5 – финансовые, R6 – информационные).

В исследовании рассмотрены четыре варианта создания объекта капитального строительства, в каждом из которых подвержена изменению только определённая часть параметров. Состав параметров и их значения для каждого рассматриваемого варианта приведены в таблице 1.

Первая модель характеризует ситуацию, в пределах которой все пространственные (P), ресурсные (R) и временные (t) группы параметров носят постоянный характер и выступают в качестве ограничений при реализации процесса возведения объекта на всех этапах жизненного цикла. При этом только стоимостные (S) параметры объекта могут быть доведены за счёт организационно-технологического моделирования до оптимальных значений, ориентированных на их минимизацию, что является сложной задачей для последующего её решения.

При втором варианте ситуация характеризуется наличием пространственных (P) и ресурсных (R) постоянных параметров, а временные (t) и стоимостные (S) параме-

тры могут быть оптимизированы и минимизированы на основе применения технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла, что даёт возможность применения гибких форм организации и управления производственными процессами в условиях многовариантного решения задач в строительстве.

Третий тип модели включает в себя условия, при которых только пространственные (P) параметры носят постоянный характер и выступают в качестве ограничений задачи, а все остальные группы параметров носят переменный характер и могут иметь оптимальные значения или стремиться к оптимизации.

Четвёртая модель предполагает, что все четыре группы параметров имеют возможность оптимизации до рациональных значений в пределах конкретных организационно-технологических ситуаций на производственных процессах на основе использования информационных систем.

Указанные выше мероприятия необходимо учитывать в пределах текущей стадии развития процесса без перехода к последующей его стадии, что позволит сохранить устойчивость и стабильность всей строительной системы в целом при всех рациональных (оптимальных) группах параметров при их минимизации. Выполнение указанных условий исключает влияние внутренних факторов действующего этапа на последующие и тем самым исключает появление потерь второго рода, которые носят скрытый характер и проявляются преимущественно на переходах от одного этапа жизненного цикла к другому. Минимизации количества этапов на основе уменьшения количества стыков между ними существенно ведёт к сокращению потерь второго рода.

На сегодняшний день одной из тенденций развития отечественных строительных предприятий выступают разработка и использование гибких организационных структур и форм материального производства, которые также сокращают количество жёстких стыков между этапами строительства объекта и тем самым сводят к минимуму возникновение всех видов потерь на производственных процессах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гребенщиков, В. С. Риски в инвестиционно-строительной сфере : монография / В. С. Гребенщиков, П. Г. Грабовый, С. И. Беляков. – Москва : Московский государственный строительный университет ; ЭБС АСБ. – 2017. – 160 с.
- Krui, M. Fundamentals of risk management / M. Krui, D. Galai, R. Mark. – Lyubertsy : Yurait, 2017.
- Sauvant, K. P. Foreign direct investments from emerging markets the challenges ahead / K. P. Sauvant, G. McAllister, W. A. Maschek. – New York : P. Macmillan, 2010. – 492 p.
- Grabovyy, P. Digitalization of the world economy – A factor in the development of society / P. Grabovyy. – DOI 10.1051/e3sconf/201913504058 // E3S Web of Conferences : Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019, Divnomorskoe Village, 09–14 сентября 2019 года. – Divnomorskoe Village : EDP Sciences, 2019. – Vol. 135. – Art. 04058.
- Taking into Account the Impact of Various Types of Losses When

Для оценки эффективности принятых организационно-технологических решений используется уровень организации (Org.) (формула 1).

$$U_{org} = f(K_p + K_r + K_t + K_s) = \sqrt[4]{K_p + K_r + K_t + K_s} \rightarrow \text{optimum}, \quad (1)$$

где K_p , K_r , K_t , K_s – переменные параметры функции, зависящие от пространства (P), ресурсов (R), времени (t) и стоимости (S).

Данная функция должна стремиться к оптимальным значениям, исходя из всех групп параметров в рамках одного из возможных рациональных вариантов при использовании организационно-технологического моделирования производственных процессов.

Заключение

Потери различного рода возникают до начала проектирования ещё на стадии предпроектной подготовки с минимальным влиянием, а на следующих стадиях они приобретают эффект накопления. Таким образом, несущественное влияние какого-либо фактора в начальной стадии имеет более значительное своё воздействие на всех последующих стадиях. В современных условиях трансформации отрасли в целом, связанных с внедрением и применением технологии информационного моделирования, необходимо развивать и внедрять в практику строительства объектов недвижимости организационно-технологическое моделирование с учётом факторного пространства на всех этапах жизненного цикла объекта, определять и анализировать, и оценивать причины, и прогнозировать все возможные последствия развития процессов по негативным сценариям, которые не в полной мере были рассмотрены на ранних стадиях проектирования.

Применение эффективных механизмов управления, с учётом возникающих потерь, при разработке информационной модели позволяет свести к минимуму возникновение негативных сценариев при фактической реализации объекта на основном производственном процессе возведения объекта капитального строительства. Кроме того, применение цифровых технологий в системах управления объектами недвижимости на этапах жизненного цикла позволит оперативно выполнять и управлять всеми процессами, проходящими на этапах жизненного цикла объекта.

- Using Information Modeling Technology in Construction / B. Khurstalev, P. Grabovyy, K. Grabovyy, A. Kargin // Journal of Law and Sustainable Development. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – Art. e289. – URL : <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i2.289>.
- Features of the use of information modeling technology in the activities of the construction complex enterprises in risk conditions / B. Khurstalev, P. Grabovyy, K. Grabovyy, A. Kargin. – DOI <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15007> // Nexa Revista Cientifica. – 2022. – Vol. 35, No. 03. – Pp. 777–786.
 - Теличенко В. И. Информационное моделирование технологий и бизнеспроцессов в строительстве / В. И. Теличенко, А. А. Липидус, А. А. Морозенко. – Москва : Издательство АСБ, 2008. – 144 с.
 - Моделирование логистических процессов с использованием информационных технологий / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилаян, Д. В. Пирко, А. Ф. Аль-Тубаили. – DOI 10.54950/26585340_2022_1_10 // Строительное производство. – 2022. – № 1. – С. 10–15.

REFERENCES

1. Grebenshchikov, V. S. Riski v investitsionno-stroitel'noj sfere : monografiya [Risks in the investment and construction sector : monograph] / V. S. Grebenshchikov, P. G. Grabovy, S. I. Belyakov. – Moscow : Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [Moscow State University of Civil Engineering] ; EBS ASV [Electronic library system of the Association of Construction Universities]. – 2017. – 160 p.

2. Krui, M. Fundamentals of risk management / M. Krui, D. Galai, R. Mark. – Lyubertsy : Yurait, 2017.

3. Sauvart, K. P. Foreign direct investments from emerging markets the challenges ahead / K. P. Sauvart, G. McAllister, W. A. Maschek. – New York : P. Macmillan, 2010. – 492 p.

4. Grabovy, P. Digitalization of the world economy – A factor in the development of society / P. Grabovy. – DOI 10.1051/e3s-conf/201913504058 // E3S Web of Conferences : Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019, Divnomorskoe Village, September 09-14, 2019. – Divnomorskoe Village : EDP Sciences, 2019. – Vol. 135. – Art. 04058.

5. Taking into Account the Impact of Various Types of Losses

When Using Information Modeling Technology in Construction / B. Khrustalev, P. Grabovy, K. Grabovy, A. Kargin // Journal of Law and Sustainable Development. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – Art. e289. – URL : <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i2.289>.

6. Features of the use of information modeling technology in the activities of the construction complex enterprises in risk conditions / B. Khrustalev, P. Grabovy, K. Grabovy, A. Kargin. – DOI <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15007> // Nexo Revista Cientifica. – 2022. – Vol. 35, No. 03. – Pp. 777–786.

7. Telichenko, V. I. Informatsionnoe modelirovanie tekhnologij i biznes-protssesov v stroitel'stve [Information modeling of technologies and business processes in construction]. / V. I. Telichenko, A. A. Lapidus, A. A. Morozenko. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 144 p.

8. Modelirovanie logisticheskikh protssesov s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologij [Modeling of logistics processes using information technology] / L. B. Zelenkov, L. D. Mailyan, D. V. Pirko, A. F. Al-Tubaili. – DOI 10.54950/26585340_2022_1_10 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 1. – Pp. 10–15.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2024_1_122

Математическое моделирование формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства

Mathematical Modeling of the Formation of an Optimal Sequence of Intra-Block Residential Buildings at the Construction Stage

Толстикова Виктория Сергеевна

Старший преподаватель кафедры «Строительное производство», Институт архитектуры, строительства и дизайна, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИрНТУ), Россия, 664074, Иркутск, улица Лермонтова, 83, vika_0883@inbox.ru

Tolstikova Victoria Sergeevna

Senior Lecturer of the Department of Construction Production, Institute of Architecture, Construction and Design, Irkutsk National Research Technical University (IRNITU), Russia, 664074, Irkutsk, ulitsa Lermontova, 83, vika_0883@inbox.ru

Аннотация. Продолжительность строительства – один из ключевых факторов в организации, планировании и управлении в строительстве. Сокращение продолжительности строительства является актуальным вопросом исследования на протяжении долгого времени, направленным на обеспечение своевременного срока ввода жилых объектов в эксплуатацию. На данный момент застройка городов осуществляется в соответствии с комплексным развитием территории, позволяющим обеспечить улучшение жилищных условий граждан, в соответствии с указами Президента Российской Федерации, национальными проектами, государственными программами. На сегодняшний день комплексное развитие территории является одним из ключевых направлений градостроительного развития регионов Российской Федерации, которое осуществляется для повышения эффективности использования территорий, создания

необходимых условий для развития инфраструктуры, расселения аварийного жилья, обновления застроенных территорий. Автором предложена математическая модель формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства, позволяющая смоделировать основные аспекты оптимальных сроков, определяющих очередность строительства объектов капитального строительства при комплексном развитии территории. В основу данного исследования положен комплекс методов, включающих в себя корреляционно-регрессионный анализ, системный анализ.

Ключевые слова: жилищное строительство, продолжительность строительства, внутриквартальная застройка, оптимизация, математическое моделирование.

Abstract. The duration of construction is one of the key factors in the organization, planning and management of construction. Reducing the duration of construction has been an urgent research issue since ancient times, aimed at ensuring the timely commissioning of residential facilities. At the moment, urban development is carried out in accordance with the integrated development of the territory, which makes it possible to improve the living conditions of citizens, in accordance with the decrees of the President of the Russian Fed-

eration, national projects, and state programs. To date, the integrated development of the territory is one of the key directions of urban development of the regions of the Russian Federation, which is carried out to increase the efficiency of the use of territories, create the necessary conditions for infrastructure development, resettlement of emergency housing, renovation of built-up areas. The author proposes a mathematical model for the formation of an optimal sequence of intra-block residential buildings at the

construction stage, which allows us to simulate the main aspects of optimal deadlines that redefine the order of construction of capital construction facilities in the complex development of the territory. This study is based on a set of methods, including cor-

Введение

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ, планировка и застройка территории осуществляется по принципам комплексного развития территории, то есть в границах одного или нескольких элементов планировочной структуры (квартал, микрорайон, район и иные подобные элементы). Строительство квартала, микрорайона или района производится несколькими очередями строительства, определёнными градостроительным планом земельного участка и проектной документацией. Каждая очередь строительства внутриквартальной застройки жилых домов состоит, преимущественно, из трёх-четырёх объектов капитального строительства, возводимых поточным методом.

Поточный метод представляет собой метод непрерывного и равномерного производства работ, основанный на расчленении общего производственного процесса, разделении фронта работ на группы жилых домов и захватки, совмещении работ по периодам строительства и по видам работ с периодической корректировкой параметров потока [1].

При выполнении поточного строительства жилых домов не всегда учитывается интервал времени, затраченный на перемещение рабочих с объекта на объект, подготовку фронта работ, перебазировку строительной техники, поставку строительных материалов для выполнения строительного процесса, а также интервал време-

relation and regression analysis, and system analysis.

Keywords: using construction, duration of construction, residential development, optimization, mathematical modeling.

ни, связанный с окончанием одного комплекса работ и началом следующего комплекса работ на строительном объекте.

Интервалы времени указаны на рисунке 1, где:

$x_{i,j}$ – момент начала j -го комплекса работ на i -м объекте;

$y_{i,j}$ – момент окончания j -го комплекса работ на i -м объекте;

i – номер объекта строительства, $i = \overline{1, n}$;

j – номер комплекса работ, $j = \overline{1, m}$;

n – число объектов строительства (4 строительных объекта);

m – число комплексов работ (подготовительный период, возведение подземной части здания, возведение надземной части зданий, выполнение отделочных и кровельных работ, выполнение благоустройства территории);

δ_{ij} – технологические паузы;

Δ_{ij} – организационные паузы;

t_{pr} – продолжительность подготовительных работ;

t_{ij} – продолжительность j -го комплекса работ на i -м объекте;

t_{fin} – продолжительность работ по благоустройству.

На сетевой модели временных интервалов, указанной на рисунке 1, при поточной внутриквартальной застройке очереди строительства временные затраты на выполнение определённого комплекса работ изображаются в виде полос одного цвета. Каждая полоса представляет отдельный комплекс работ на соответствующем объекте, её

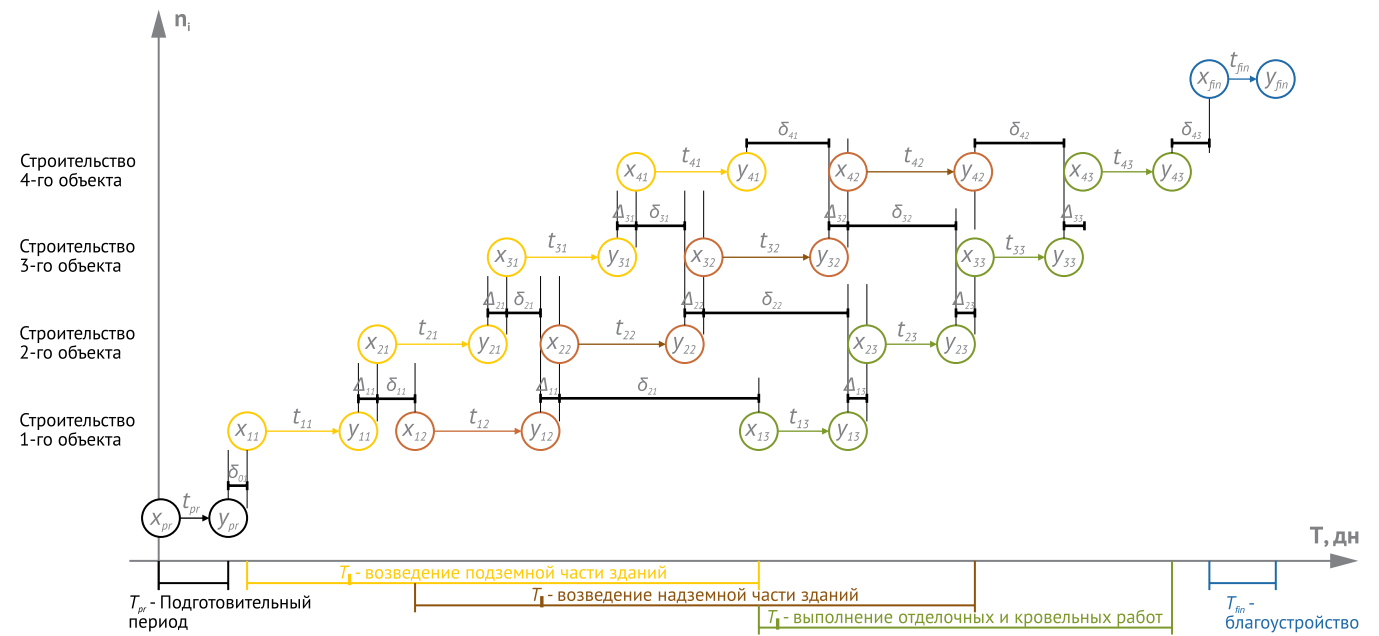


Рис. 1. Сетевая модель временных интервалов при поточной внутриквартальной застройке очереди строительства из четырёх строящихся объектов

Fig. 1. Network model of time intervals during in-line development of an intra-block construction queue of four objects under construction

концы – моменты начала и завершения комплекса работ, её протяженность – длительность комплекса работ. Горизонтальной осью диаграммы является временная ось, а вертикальной – последовательность объектов в очереди [1; 2; 3; 4].

Перерывы в работе, обусловленные окончанием работ на одном объекте и началом работ на следующем объекте, назовём организационными и обозначим Δ_{ij} . Они формируются из-за необходимости непрерывного освоения фронтов работ при поточной организации строительства.

Суммируя величины Δ_{ij} по индексу j , получим продолжительность организационных перерывов на i -м объекте в очереди (1):

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^{m-1} \Delta_{ij} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

При правильном планировании строительства организационные перерывы минимизированы, то есть $\Delta_{ij} \rightarrow 0$, где i – номер объекта в очереди ($i = \overline{1, n}$), j – номер комплекса работ ($j = \overline{1, m}$).

Перерывы в работе, обусловленные окончанием одного комплекса работ и началом следующего комплекса работ на объекте, назовём технологическими и обозначим δ_{ij} . Они формируются из-за необходимости непрерывного использования ресурсов при поточной организации работ.

Суммируя величины δ_{ij} по индексу j , получим продолжительность технологических перерывов на i -м объекте в очереди (2):

$$\delta_i = \sum_{j=1}^{m-1} \delta_{ij} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (2)$$

Таким образом, очерёдность выполнения процессов воздействует на такие показатели, как общая продолжительность работ T_i на объекте и величина организационно-технологических перерывов ($\delta_i + \Delta_i$).

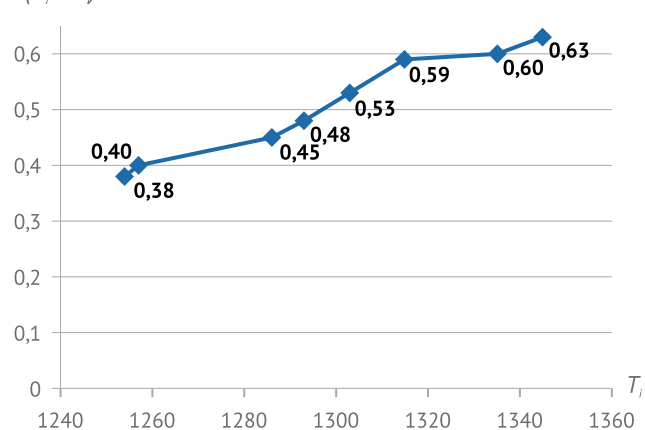


Рис. 2. Зависимость продолжительности строительства T_i от организационно-технологических перерывов ($\delta_i + \Delta_i$) при внутриквартальной застройке жилых домов на этапе строительства

Fig. 2. Dependence of the duration of construction T_i on organizational and technological interruptions ($\delta_i + \Delta_i$) during the intra-block development of residential buildings at the construction stage

технологических перерывов ($\delta_i + \Delta_i$) на объекте, которые, в свою очередь, формируют общую продолжительность работ T^k и величину технологических перерывов в очереди строительства $\sum_{i=1}^n (\delta_i + \Delta_i)$, а в дальнейшем – и при строительстве всей квартальной застройки (микрорайон, квартал, район) в целом.

На рисунке 2 представлена зависимость продолжительности строительства T_i от величины организационно-технологических перерывов ($\delta_i + \Delta_i$) при внутриквартальной застройке жилых домов на этапе строительства при возведении жилых домов, построенная на основании анализа и исследования автора данной работы 50 вариантов внутриквартальной застройки жилых домов. Продолжительность строительства будет минимальной, а очерёдность возведения объектов при внутриквартальной застройке – оптимальной при минимальной величине организационно-технологического перерыва.

Поэтому автор данной работы делает вывод, что критерием выбора оптимальной последовательности возведения объектов при внутриквартальной застройке является критерий минимальной продолжительности строительства, при котором $T_i = T_{min}$.

Материалы и методы

Исходными данными для определения оптимальной очерёдности строительства объектов являются затраты времени, которые необходимы на проведение основных комплексов работ на каждом объекте.

Затраты времени можно записать в виде матрицы продолжительности строительства жилых домов в одной очереди строительства (3):

$$T = \|t_{i,j}\|_{n \times m}. \quad (3)$$

При рассмотрении обобщённых комплексов работ, а именно: 1 – строительство подземной части; 2 – строительство надземной части; 3 – отделочные, кровельные работы, матрица продолжительности строительства примет следующий вид (4):

$$T = \|t_{i,j}\|_{n \times 3} = \begin{pmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & t_{1,3} \\ t_{2,1} & t_{2,2} & t_{2,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{n,1} & t_{n,2} & t_{n,3} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При рассмотрении перебора путём перестановки очерёдности k объектов строительства i (5):

$$\pi_k \quad (1 \leq k \leq n!). \quad (5)$$

Матрица продолжительности строительства жилых домов, полученная путём перестановки объектов строительства в очерёдности перестановки π_k , равна (6):

$$T^k = \|t_{i,j}^k\|_{n \times 3}. \quad (6)$$

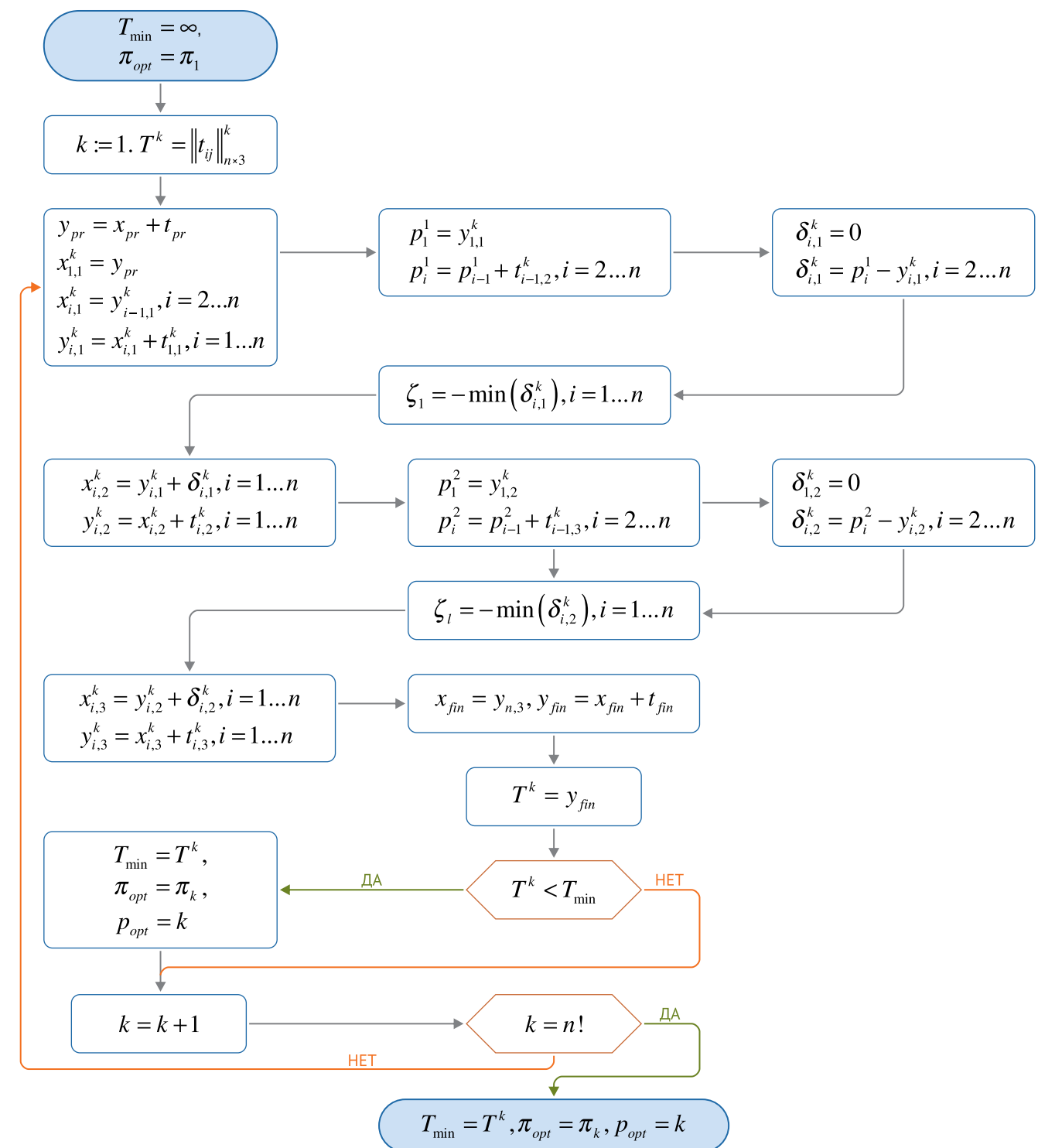


Рис. 3. Блок-схема математической модели формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства

Fig. 3. Block diagram of a mathematical model for the formation of an optimal sequence of intra-block residential buildings at the construction stage

При этом матрицы моментов соответственно начала и окончания работ для матрицы T^k записаны в виде (7) и (8), а матрица технологических пауз в виде (9):

$$X^k = \|x_{i,j}^k\|_{n \times 3}, \quad (7)$$

$$Y^k = \|y_{i,j}^k\|_{n \times 3}, \quad (8)$$

$$\delta^k = \|\delta_{i,j}^k\|_{n \times 2}. \quad (9)$$

Для определения T_{min} необходимо выполнить ряд математических действий (9.1–36):

Шаг 1. Положим $T_{min} = \infty, \pi_{opt} = \pi_1$. (9.1)

Шаг 2. Рассчитываем T^k , соответствующее перестановке π_k .

Шаг 2.1. $k := 1$. (9.2)

Шаг 2.2. Построим соответствующую перестановку π_k матрицу T^k .

Шаг 2.3. Рассчитаем первые столбцы матриц X^k и Y^k :

$$y_{pr} = x_{pr} + t_{pr}, \quad (10)$$

$$x_{i,1}^k = y_{pr}, \quad (11)$$

$$x_{i,1}^k = y_{i-1,1}^k, i = 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$y_{i,1}^k = x_{i,1}^k + t_{i,1}^k, i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Шаг 2.4. Введём вспомогательный вектор ρ^l длины n :

$$\rho_1^1 = y_{1,1}^k, \quad (14)$$

$$\rho_i^1 = \rho_{i-1}^1 + q_{i-1,2}^k, i = 2, \dots, n. \quad (15)$$

Шаг 2.5. Рассчитаем предварительное приближение первого столбца матрицы δ^k :

$$\delta_{1,1}^k = 0, \quad (16)$$

$$\delta_{i,1}^k = \rho_i^1 - y_{i,1}^k, i = 2, \dots, n. \quad (17)$$

Шаг 2.6. Найдём максимальное отклонение ζ_i предварительного приближения первого столбца матрицы δ^k :

$$\zeta_1 = -\min(\delta_{i,1}^k), i = 1, \dots, n. \quad (18)$$

Шаг 2.7. Пересчитаем первый столбец матрицы δ^k :

$$\delta_{i,1}^k = \delta_{i,1}^k + \zeta_1. \quad (19)$$

Шаг 2.8. Рассчитаем вторые столбцы матриц X^k и Y^k :

$$x_{i,2}^k = y_{i,1}^k + \delta_{i,1}^k, i = 1, \dots, n, \quad (20)$$

$$y_{i,2}^k = x_{i,2}^k + t_{i,2}^k, i = 1, \dots, n. \quad (21)$$

Шаг 2.9. Введём вспомогательный вектор ρ^2 длины n :

$$\rho_1^2 = y_{1,2}^k, \quad (22)$$

$$\rho_i^2 = \rho_{i-1}^2 + q_{i-1,3}^k, i = 2, \dots, n. \quad (23)$$

Шаг 2.10. Рассчитаем предварительное приближение второго столбца матрицы δ^k :

$$\delta_{1,2}^k = 0, \quad (24)$$

$$\delta_{i,2}^k = \rho_i^2 - y_{i,2}^k, i = 2, \dots, n. \quad (25)$$

Шаг 2.11. Найдём максимальное отклонение ζ_2 предварительного приближения второго столбца матрицы $\|\delta^k\|_{n \times 2}$:

$$\zeta_2 = -\min(\delta_{i,2}^k), i = 1, \dots, n. \quad (26)$$

Шаг 2.12. Пересчитаем второй столбец матрицы $\|\delta^k\|_{n \times 2}$:

$$\delta_{i,2}^k = \delta_{i,2}^k + \zeta_2. \quad (27)$$

Шаг 2.13. Рассчитаем третьи столбцы матриц X^k и Y^k :

$$x_{i,3}^k = y_{i,2}^k + \delta_{i,2}^k, i = 1, \dots, n, \quad (28)$$

$$y_{i,3}^k = x_{i,3}^k + t_{i,3}^k, i = 1, \dots, n. \quad (29)$$

Шаг 2.14. Рассчитаем x_{fin} и y_{fin} :

$$x_{fin} = y_{n,3}, \quad (30)$$

$$y_{fin} = x_{fin} + t_{fin}. \quad (31)$$

Шаг 2.15. $T^k = y_{fin}$. (32)

Шаг 2.16. Если $T^k < T_{min}$, присваиваем $T_{min} := T^k, \pi_{opt} = \pi_k$. (33)

Шаг 2.17. $k := k + 1$. (34)

Шаг 2.18. Если $k < n!$, то возвращаемся к шагу 2.3. (35)

$$\text{Если } k = n!, \text{ то } T^k = T_{min}, \pi_{opt} = \pi_k, p_{opt} = k. \quad (36)$$

Таким образом, автором была создана математическая модель формирования оптимальной последовательности застройки жилых домов.

Результаты

Математическую модель формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства можно описать в виде блок-схемы, указанной на рисунке 3.

Для выбора оптимального варианта последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства, а также для оценки и анализа вариантов предложена сетевая модель временных интервалов и блок-схема математической модели формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов на этапе строительства, указанные на рисунках 1 и 3, которые позволяют визуально оценивать варианты размещения объектов на этапе строительства и выбирать оптимальный вариант по критерию минимальной продолжительности строительства.

Обсуждение

Метод задачи формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов основан на модифицированном алгоритме поиска оптимальной последовательности возведения строительных объектов за счёт минимизации технологических перерывов δ_{ij} . Данную методику легко реализовать на ЭВМ с помощью программы MS Excel [5; 6; 7; 8].

Заключение

Математический аппарат, позволяющий находить абсолютно оптимальный вариант застройки n -го количества жилых домов, на сегодняшний день не разработан. Последовательность строительства жилых объектов происходит в хаотичном порядке и, как следствие, в хаотичном порядке происходит и возведение очередей строительства при комплексном развитии территории [5; 6; 7; 8].

В связи с этим предложенная автором математическая модель формирования оптимальной последовательности внутриквартальной застройки жилых домов позволяет

при сравнительно небольших затратах времени получать решения, достаточно близкие к оптимальному, и определять очерёдность возведения как объектов капи-

тального строительства, так и очередей строительства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минимизация продолжительности возведения объектов на основе использования информационно-динамических сетевых моделей / Б. Ф. Ширшиков, В. С. Степанова, А. М. Славин, С. О. Михеев // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 2. – С. 89–94.
2. Ширшиков, Б. Ф. Анализ финансирования при оптимальной последовательности квартальной застройки жилых домов / Б. Ф. Ширшиков, И. А. Огнев, В. С. Степанова // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 12. – С. 63–67.
3. Ширшиков, Б. Ф. Методика графической оценки и анализа оптимальной последовательности квартальной застройки жилых домов / Б. Ф. Ширшиков, И. А. Огнев, В. С. Степанова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 10. – С. 47–51.
4. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : СП 333.1325800.2020 : Свод правил : утв. Приказом Министерства строительства и

REFERENCES

1. Minimizatsiya prodolzhitel'nosti vozvedeniya ob'ektov na osnove ispol'zovaniya informatsionno-dinamicheskikh setevykh modelej [Minimizing the duration of construction of objects based on the use of information-dynamic network models] / B. F. Shirshikov, V. S. Stepanova, A. M. Slavin, S. O. Mikheev // [Industrial and civil construction]. – 2016. – No. 2. – Pp. 89–94.
2. Shirshikov, B. F. Analiz finansirovaniya pri optimal'noj posledovatel'nosti kvartal'noj zastrojki zhilykh domov [Analysis of financing with an optimal sequence of quarterly residential buildings] / B. F. Shirshikov, I. A. Ognev, V. S. Stepanova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2015. – No. 12. – Pp. 63–67.
3. Shirshikov, B. F. Metodika graficheskoy otsenki i analiza optimal'noj posledovatel'nosti kvartal'noj zastrojki zhilykh domov [The methodology of graphical assessment and analysis of the optimal sequence of quarterly residential buildings] / B. F. Shirshikov, I. A. Ognev, V. S. Stepanova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2014. – No. 10. – Pp. 47–51.
4. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoy 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 : Set of rules] : utv. Prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhnokommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2020 g. № 928/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 31, 2020 No. 928/

- жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 928/пр : введён в действие с 01 июля 2021 г. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Росстандарт, 2020.
5. Исследование понятия факторов организационно-технологической надёжности строительно-монтажных работ / С. В. Федосов, Л. А. Опарина, И. С. Карасев, А. Б. Петрухин, В. Н. Федосеев, А. Л. Маилан // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 1. – С. 70–80.
6. Олейник, П. П. Организация, планирование, управление и экономика строительства. Терминологический словарь / П. П. Олейник. – Москва : Издательство АСВ, 2016. – 320 с.
7. Баринов, В. А. Организационное проектирование / В. А. Баринов. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 384 с.
8. Шафранова, А. А. Варианты определения продолжительности на основе влияния внешних факторов / А. А. Шафранова, Л. А. Коклюгина, А. В. Коклюгин // Известия КГАСУ. – 2013. – № 4 (26). – С. 262–267.

- pr] : vveden v dejstvie s 01 iyulya 2021 g. [put into effect from July 01, 2021] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. – Moscow : Rosstandart, 2020.
5. Issledovanie ponyatiya faktorov organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'no-montazhnykh rabot [Research of the concept of factors of organizational and technological reliability of construction and installation works] / S. V. Fedosov, L. A. Oparina, I. S. Karasev, A. B. Petrukhin, V. N. Fedoseev, A. L. Mailan // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies]. – 2021. – No. 1. – Pp. 70–80.
6. Oleynik, P. P. Organizatsiya, planirovanie, upravlenie i ekonomika stroitel'stva. Terminologicheskij slovar' [Organization, planning, management and economics of construction. Terminological dictionary] / P. P. Oleinik. – Moscow : ASV, 2016. – 320 p.
7. Barinov, V. A. Organizatsionnoe proektirovanie [Organizational design. Organizational design] / V. A. Barinov. – Moscow : INFRA-M, 2019. – 384 p.
8. Shafranova, A. A. Varianty opredeleniya prodolzhitel'nosti na osnove vliyaniya vneshnikh faktorov [Options for determining duration based on the influence of external factors] / A. A. Shafranova, L. A. Koklyugina, A. V. Koklyugin // Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. – 2013. – No. 4 (26). – Pp. 262–267.

УДК 69.003.13

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_128

Сравнительная эффективность технологий систем водоснабжения городов в условиях Арктики, на примере г. Дудинка

Comparative Efficiency of Technologies for Urban Water Supply Systems in the Arctic, Using the Example of the City of Dudinka

Суслов Дмитрий Николаевич

Кандидат экономических наук, доцент, кафедра международной и управленческой экономики, Институт экономики, государственного управления и финансов, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (СФУ), Россия, 660041, Красноярск, проспект Свободный, 79; кафедра организации и управления наукоёмкими производствами, Институт инженерной экономики, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва» (СибГУ), Россия, 660037, Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31, DSuslov@sfu-kras.ru

Suslov Dmitry Nikolaevich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of International and Managerial Economics, Institute of Economics, Public Administration and Finance, Siberian Federal University (SibFU), Russia, 660041, Krasnoyarsk, prospekt Svobodny, 79; Department of Organization and Management of High-Tech Industries, Institute of Engineering Economics, Siberian State University Academician M. F. Reshetnev University of Science and Technology (SibGU), Russia, 660037, Krasnoyarsk, Prospect imeni gazety «Krasnoyarskij Rabochij», 31, DSuslov@sfu-kras.ru

Данилович Елена Владимировна

Старший преподаватель кафедры строительных материалов и технологий строительства, Инженерно-строительный институт, ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет» (СФУ), Россия, 660041, Красноярск, проспект Свободный, 79, EDaniovich@sfu-kras.ru

Danilovich Elena Vladimirovna

Senior Lecturer at the Department of Building Materials and Construction Technologies, Institute of Civil Engineering, Siberian Federal University (SibFU), Russia, 660041, Krasnoyarsk, prospekt Svobodny, 79, EDaniovich@sfu-kras.ru

Аннотация. Несмотря на то, что Красноярский край расположен в бассейне крупнейшей в стране реки Енисей, проблема снабжения населения питьевой водой требуемого качества, особенно в районах арктических и северных территорий, на сегодня остаётся актуальной.

В настоящем исследовании изложены некоторые особенности водоснабжения малых населённых пунктов севера Красноярского края. В качестве примера был выбран водоканал г. Дудинка, для которого обоснованное технологическое решение позволило существенно повысить надёжность водоснабжения в климатических условиях многолетней мерзлоты севера Красноярского края.

В процессе выполнения исследования авторами применялись как общенаучные методы, такие как сравнительный анализ, синтез, так и специализированные методы экономико-математического моделирования и эконометрические методы.

Abstract. Despite the fact that the Krasnoyarsk Territory is located in the basin of the Yenisei River, the largest in the country, the problem of supplying the population with drinking water of the required quality, especially in the Arctic and northern territories, remains relevant today.

This study outlines some features of the water supply of small settlements in the North of the Krasnoyarsk Territory. As an example, the Dudinka water utility was chosen, for which a reasonable technological solution made it possible to significantly increase the reliability of water supply in the permafrost-climatic conditions of the North of the Krasnoyarsk Territory.

In the course of the research, the authors used both general scientific methods such as comparative analysis, synthesis, and specialized methods of economic and mathematical modeling and econometric methods.

Выбор типа как водоприёмника, так и водозаборных сооружений в целом зависит от природных условий: условий забора воды, рельефа берега, колебания уровня воды в источнике водоснабжения – и решается во всех случаях индивидуально.

При формулировании основных выводов и результатов работы разрешено противоречие между показателями интегрального эффекта, эффективности и окупаемости, с одной стороны, и требованиями законодательства и социальными обязательствами – с другой. При решении инженерных задач модернизации водозабора была разработана система, обеспечивающая их выполнение в плане нахождения оптимального решения в достижении необходимых требований к проекту и затратам на их реализацию.

Ключевые слова: повышение надёжности водоснабжения, проектирование и расчёт водозаборов, поверхностные источники водоснабжения.

The choice of the type of both the water intake and the intake structures in general depends on the natural conditions: water intake conditions, the topography of the shore, fluctuations in the water level in the water supply source and is decided in all cases individually.

Formulating the main conclusions and results of the work, the contradiction between the indicators of the integral effect, efficiency and payback on the one hand and the requirements of legislation and social obligations on the other is resolved. When solving engineering problems of water intake modernization, a system was developed to ensure their implementation in terms of finding the optimal solution in achieving the necessary project requirements and costs for their implementation.

Keywords: improving the reliability of water supply, design and calculation of water intakes, surface water supply sources.

Введение

Красноярский край – второй по площади субъект Российской Федерации. Несмотря на то, что Красноярский край расположен в бассейне крупнейшей в стране реки Енисей, проблема снабжения населения питьевой водой требуемого качества, особенно в районах северных территорий, на сегодня остаётся актуальной.

Существующая система водоснабжения г. Дудинка не может обеспечить хозяйственно-питьевые нужды населения водой питьевого качества согласно требованиям законодательства РФ по следующим причинам: для водозаборов, использующих поверхностные воды системы трёх озёр и р. Дудинка, невозможно организовать зону санитарной охраны источников водоснабжения питьевого назначения, состояние водозабора на оз. Самсонкино аварийное, отсутствуют очистные сооружения.

В соответствии с п. 7.4 СП 31.13330.2018, хозяйственно-питьевые и производственные водопроводные сооружения населённых пунктов при численности жителей от 5 до 50 тысяч человек относятся ко второй категории по степени обеспеченности подачей воды. Ко второй категории относятся: водозаборные сооружения, водоводы от водозаборных сооружений до станции очистки воды, станция водоподготовки.

Материалы и методы

В процессе выполнения исследования авторами применялись как общенаучные методы, такие как сравнительный анализ, синтез, так и специализированные методы экономико-математического моделирования и эконометрические методы.

Результаты

Для исполнения требований российского законодательства с целью надёжного и качественного обеспечения водой питьевого качества требуется реконструкция системы водоснабжения г. Дудинка, предполагающая строительство новых водозаборных сооружений на оз. Самсонкино, включая насосную станцию первого подъёма и строительство очистных сооружений, включая систему обеззараживания, насосную станцию второго подъёма и резервуары чистой воды.

Нами предложено рассмотреть альтернативные варианты строительства водозабора на оз. Самсонкино, очистных сооружений и систем обеззараживания воды при максимальном объёме водопотребления г. Дудинка 16 тыс. м³/сут.

Проектируемые сооружения должны обеспечивать необходимую надёжность подачи воды питьевого качества в систему водоснабжения Дудинского промрайона в расчётном объёме с соблюдением требований российского законодательства, нормативных и санитарных правил и норм в области охраны природы.

Обоснование компоновки водозаборных сооружений

Водозаборные сооружения поверхностных вод – это комплекс гидротехнических сооружений, включающий водоприёмник, насосную станцию 1-го подъёма и водоводы.

Водоприёмники, служащие для непосредственного приёма воды из водного объекта, делятся на береговые и русловые.

Водозаборные сооружения делятся на два типа:

- при достаточно больших перепадах уровней воды в водном объекте применяются водозаборы раздельного типа: водоприёмник и насосная станция первого подъёма размещены раздельно, всасывающие водоводы насосов заведены в береговой колодезь водоприёмника;
- при пологих берегах применяются водозаборы совмещённого типа: береговой колодезь водоприёмника и насосная станция первого подъёма размещены в одном здании, длина всасывающих водоводов минимальна.

Выбор типа как водоприёмника, так и водозаборных сооружений в целом зависит от природных условий: условий забора воды, рельефа берега, колебания уровня воды в источнике водоснабжения – и решается во всех случаях индивидуально [1].

Целесообразность в применении водозаборных сооружений совмещённого типа, когда береговой колодезь водоприёмника и насосная станция первого подъёма размещены в одном здании, в данном случае продиктована пологим берегом, экономической целесообразностью и соблюдением экологических требований РФ в условиях строительства на Крайнем Севере при расположении в зоне многолетней мерзлоты:

- сокращение объёмов строительных материалов, сокращение сроков строительства и, как следствие, сокращение финансовых затрат;
- предотвращение увеличения площади деградации мерзлоты.

Размеры водозабора с водоприёмным береговым колодезем, совмещённым с насосной станцией первого подъёма, в плане определяются размещением водоприёмных окон, секций водоприёмного отделения, основного насосного оборудования с соблюдением технических и строительных норм и правил. Размер и количество водоприёмных окон определены с использованием формулы определения площади одного водоприёмного окна $W_{бр} = 1,25(Q_{вз}/V_p)K$ из условия соблюдения требований рыбоохраны, размещения окна с учётом толщины льда и возможности нормального обслуживания сеток и решёток, для предохранения решёток и сеток от оледенения предусматривается их обогрев. Разделение подземной части на отделения, водоприёмные, в том числе секции водозаборные или машинного зала, осуществляется вертикальными перегородками. Взаимозаменяемость секций водоприёмного отделения обеспечивается запорной арматурой, оборудованной колонками управления.

Размеры водозабора с водоприёмником руслового типа и водоприёмным береговым колодезем, совмещённым с насосной станцией первого подъёма, в плане определяются размещением секций водоприёмного отделения, основного насосного оборудования с соблюдением технических и строительных норм и правил. Разделение подземной части на отделения, водоприёмные, в том чис-

ле секции водозаборные или машинного зала, осуществляется вертикальными перегородками. Взаимозаменяемость секций водоприёмного отделения обеспечивается запорной арматурой, оборудованной колонками управления или глубинными затворами.

Глубина подземной части, прежде всего, обусловлена уровнем воды 95 % обеспеченности, толщиной льда в зимний период, минимальным динамическим уровнем воды в камерах, определяющими глубину установки насоса, рабочими характеристиками и габаритами применяемых насосов, марка которых определяется на основании графоаналитических расчётов совместной работы насосов и водоводов.

Обоснование выбора створа сооружений, сведения о площадке для их размещения

Створ водозабора назначен, исходя из топографических возможностей, с учётом гидрологических и геоэкологических условий и многолетней практики эксплуатации существующих водозаборных сооружений «оз. Самсонкино». Местоположение створа проектируемых водозаборных сооружений отвечает санитарно-эпидемиологическим требованиям размещения водозабора питьевого назначения, условиям технической работоспособности водозабора и экономической целесообразности в условиях расположения сооружений и сетей в суровых климатических условиях Крайнего Севера на границе озёрного талика и многолетней мерзлоты.

Состав сооружений для всех вариантов традиционен: водоприёмная часть, представленная русловым оголовком с водоприёмными окнами с береговым колодцем, или водоприёмные окна в стене берегового колодца; береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма и камера переключений [2].

Сведения об общих для всех вариантов сетях и сооружениях

Учитывая, что производительность водозаборных сооружений для всех вариантов 16000 м³/сут., подача воды только на площадку водоочистной станции (далее – ВОС), одними для всех вариантов приняты следующие сети и сооружения:

- напорный водовод 2DN 300 длиной от 15 до 30 м от насосной станции первого подъёма до камеры подключения (далее – КП). Длина зависит их взаимного расположения, обусловленного наличием существующих сетей в расчётном створе водозабора, надземной прокладки с теплоизоляцией;
- надземная камера переключений КП из монолитного железобетона на свайном фундаменте, предусмотренная для размещения флейты переключения с запорной арматурой, расходомерных устройств и водонагревателей типа Electrotherm ET 2000 E в комплекте с ТЭНами и теплоизоляцией;
- напорный водовод 2DN 300 длиной 1350 м от площадки водозаборных сооружений до площадки станции водоочистки надземной прокладки с теплоизоляцией;
- проезд к площадкам организуется от существующей дороги г. Дудинка [3].

Далее в описании вариантов эти сети и сооружения исключены.

Варианты водозаборных сооружений

Вариант 1. Водозабор с водоприёмным береговым колодцем, совмещённым с насосной станцией первого подъёма, насосы сухой установки

Водозаборные сооружения производительностью 16000 м³/сут. в составе: подводящий канал, водоприёмный береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма.

Для подвода воды из озера к водоприёмным окнам берегового колодца предусмотрен подводящий канал, сопряжение откосов которого и площадки водозабора осуществлено подпорными стенками с анкерровкой в одном уровне.

Водозабор представлен подземным круглым в плане опускным колодцем диаметром 12 м, глубиной 12,30 м из монолитного железобетона, на который опирается надземная часть. Толщина стен колодца 1 м, днища 1,6 м. Водоприёмные окна размером 1,0 × 1,5 м, устроенные в стене колодца по одному в каждой водоприёмной секции, размещённые на 0,5 м выше дна и на 0,2 м ниже нижней кромки льда, оборудуются сороудерживающими решётками.

Вертикальной перегородкой колодец разделён на водоприёмную часть размером в плане 4 м и машинный зал. Водоприёмная часть разделена на водоприёмную камеру и камеру сеток, служащую одновременно водозаборной камерой. На основании графоаналитических расчётов совместной работы насосов и водоводов в машинном зале устанавливаются три одноступенчатых горизонтальных центробежных насоса. Насосы устанавливаются под залив, всасывающие линии насосов заводятся в водоприёмную камеру. Для защиты насосов от гидравлического удара установлены обратные клапаны.

Принимая во внимание суровые климатические условия, затрудняющие проведение ремонтов, принято решение об установке в насосной станции четырёх насосов со схемой работы: 2 рабочих, 1 резервный и 1 на профилактике [4].

Надземная часть – одноэтажное криволинейное в плане здание общими размерами 18 х 12 м, высотой 8,75 м до низа балок покрытия. Длина здания 18 м складывается из следующих размеров: 2 м на консолях над водоприёмными окнами для обслуживания сеток и затворов, далее 16 м в осях, в том числе 12 м в пределах подземной части, 4 м – на консолях. Кирпичные наружные стены – несущие, толщиной 380 мм, из кирпича М150, F50 на цементно-песчаном растворе М100, внутренние кирпичные стены выполнены толщиной 250 мм. Перекрытие выполнено из монолитного железобетона, покрытие из профнастила по металлическим балкам.

В надземной части располагаются технологическое помещение для обслуживания решёток, сеток, щитовых затворов и для размещения электротехнического оборудования [5].

Вариант 2. Водозабор ковшевого типа с водоприёмным береговым колодцем, совмещённым с

насосной станцией первого подъёма, насосы сухой установки

Основным назначением ковшей является борьба с шуголедовыми помехами при заборе воды. Вода протекает по ковшу с очень небольшой скоростью, благодаря чему в нём скорее, чем в реке, образуется ледяной покров, препятствующий образованию донного льда. Шуга, попавшая в небольшом количестве в ковш из реки, в самом начале ковша всплывает на поверхность воды или под нижнюю поверхность образовавшегося ледяного покрова и не достигает водозаборных сооружений, расположенных в конце ковша. Вторым назначением ковша является борьба с речными наносами, так как ковш играет роль отстойника.

Озеро Самсонкино небольших размеров, само по себе является своеобразным ковшом [6], и водозаборные сооружения варианта 2 производительностью 16000 м³/сут. аналогичны водозабору варианта 1.

Вариант 3. Водозабор с водоприёмником руслового типа – затопленные оголовки, самотёчно-сифонные водоводы и водоприёмный береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма, насосы погружные

Водозаборные сооружения производительностью 16000 м³/сут., 0,2 м³/с в составе: русловой оголовка, самотёчно-сифонные водоводы 2DN 300 длиной 30,0 м от руслового водоприёмного оголовка до водоприёмных секций берегового колодца, водоприёмный береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма.

Местоположение руслового оголовка, через водоприёмные окна размерами 1,2 × 2,4 м которого забирается вода непосредственно из водоёма, определилось из условия достаточности глубины реки для размещения оголовка с учётом ледовых условий: оголовок расположен на дне озера в 30 м от берега. Для увеличения надёжности работы водозаборных сооружений, с учётом суровых климатических условий и недоступности оголовка и водоводов в отдельные периоды, в проектных решениях расчётная схема аварийного режима принята по условию заменяемости самотёчно-сифонных линий на 100 %: каждая секция установлена на отдельный фундамент, для каждой секции предусмотрен самотёчно-сифонный водовод.

Сифонные линии устраивают вместо самотёчных при необходимости уменьшения глубины укладки труб. Зарядка сифонных линий принудительная с использованием вакуумной установки, размещённой в надземной части насосной станции первого подъёма.

Водозабор представлен подземным круглым в плане колодцем из монолитного железобетона диаметром 12 м, глубиной 18,80 м, на который опирается надземная часть, толщина стен колодца 1 м, толщина днища 1,6 м, строительство колодца предусматривается открытым способом в котловане. Вертикальной перегородкой колодец разделён на водоприёмную камеру размером в плане 3 м, остальная часть колодца служит водозаборной камерой. Согласно нормативным требованиям, водоприёмная камера разделена такой же перегородкой на 2 секции. Между секциями также предусмотрены перепускные от-

верстия, оборудованные закладными трубами, на которых установлена запорная арматура в виде задвижек с колонками управления для отключения секций друг от друга, отключающие задвижки с колонками управления установлены и на самотёчно-сифонных водоводах.

Согласно графоаналитическим расчётам совместной работы насосов и напорных водоводов, насосная станция оборудуется тремя погружными насосами марки SP 360-2F фирмы Grundfos (2 рабочих + 1 резервный) с номинальной производительностью 335 м³/ч и напором 60 м.

Надземная часть – одноэтажное прямоугольное в плане здание высотой 8,75 м до низа балок покрытия, общими размерами 15 × 12 м, с несущими кирпичными стенами толщиной 380 мм из кирпича М150, F50 на цементно-песчаном растворе М100, внутренние кирпичные стены толщиной 250 мм.

Машинный зал расположен в надземной части, где размещаются фундаменты насосов, оборудованные герметизированным оголовками, от напорных водоводов предусмотрен подающий водовод к обвязке вакуумной установки, для защиты насосов от гидравлического удара установлены обратные клапаны.

Вариант 4. Водозабор с водоприёмным береговым колодцем, совмещённым с насосной станцией первого подъёма, насосы погружные

Водозаборные сооружения производительностью 16000 м³/сут. в составе: подводящий канал, водоприёмный береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма.

Водозабор представлен подземным круглым в плане опускным колодцем из монолитного железобетона диаметром 12 м, глубиной 13,10 м, на который опирается надземная часть.

Согласно графоаналитическим расчётам совместной работы насосов и напорных водоводов, насосная станция оборудуется тремя погружными насосами марки SP 360-2F фирмы Grundfos (2 рабочих + 1 резервный) с номинальной производительностью 333,3 м³/ч и напором 60 м, в комплекте насоса предусмотрен электродвигатель мощностью 92 кВт.

Надземная часть – одноэтажное прямоугольное в плане здание высотой 8,75 м до низа балок покрытия, общими размерами 15 х 12 м, с несущими кирпичными стенами толщиной 380 мм из кирпича М150, F50 на цементно-песчаном растворе М100, внутренние кирпичные стены толщиной 250 мм [7].

Вариант 5. Водозабор плавучего типа с насосной станцией первого подъёма

Водозаборные сооружения производительностью 16000 м³/сут. в составе: насосные станции первого подъёма № 1 и № 2.

Напорный водовод 2DN 300 длиной 30 м от плавучих насосных станций до камеры переключений КП прокладывается от каждой насосной станции № 1 и № 2. Водоводы надземной прокладки проложены по понтонным переходам, соединение русловой и береговой части водоводов выполнено шаровым шарниром.

Плавучая насосная станция (ПНС) «Иртыш – Комфорт» П 3 ПД 150/500.432 – 90/4-ПЛ 10,0 × 6,0 м полной заводской готовности, изготовитель ОДО «Предприятие «Взлёт»». Понтон плавучей насосной станции стальной, площадью 60 м² (10 × 6 м), с антикоррозийным покрытием, имеет шесть герметичных отсеков, каждый отсек снабжён смотровым люком. Понтон снабжён кнехтами причальными и отбойными устройствами и имеет ограждение по периметру высотой не менее 1,2 м, обеспечивающее безопасное перемещение людей по палубе, палуба выполнена в противоскользящем исполнении. Понтон оборудован якорным оборудованием, включающим раскрепляющие устройства для крепления (монтажа) насосной станции, канаты стальные, якоря, швартовочное устройство, кабельные конструкции, имеется мостик переходной разборный длиной 4,0 м. Связь с берегом по переходному понтону общей длиной 30 м, шириной 2,4 м.

На понтоне устанавливается павильон на металлическом каркасе, укомплектованный вентиляцией, работающий по датчику температуры воздуха, распределительным щитом, электрическим освещением, электрическим отоплением с расчётной температурой воздуха внутри павильона не ниже 5 °С.

Насосная станция оборудована тремя погружными насосами марки «Иртыш» ПД 150/500.432.42 – 90/4 (2 рабочих + 1 резервный) производительностью Q = 335 м³/ч с напором Н = 60 м, мощностью электродвигателя N = 90 кВт. Всасывающие водоводы DN150 оборудованы комплек-

том направляющих. Режим работы – автоматический, без постоянного присутствия персонала, шкаф управления «Иртыш» ШУ2-3.90.ПЗ.6-32А (3 × 380 В) на 3 насоса: плавный пуск, два ввода питания с АВР. В павильоне ПНС установлен монорельс с грузоподъёмным механизмом грузоподъёмностью 2 т.

Таким образом, с учётом возможности комбинации вариантов водозабора, систем водоочистки и обеззараживания, возможны 75 различных исходов их технологических решений [8].

Ключевой задачей являлось определение оптимального варианта системы водозаборных сооружений для последующего прогнозного финансового планирования для оптимального варианта. В качестве критерия оптимизации выступает минимизация совокупной стоимости владения объектом (Total cost of ownership, далее по тексту TCO), представляющая собой приведённую стоимость капитальных и эксплуатационных затрат на 50-летнем горизонте планирования [9] и рассчитываемая по формуле:

$$TCO = \sum_{k=0}^n \frac{I_k + C_k}{(1+r_d)^k}, \quad (1)$$

где I_k – инвестиционные затраты во временном периоде k ,
 C_k – эксплуатационные затраты во временном периоде k ,

r_d – ставка дисконтирования.

Результаты расчёта TCO систем водозаборных сооружений определили минимальное значение TCO [10] у ва-

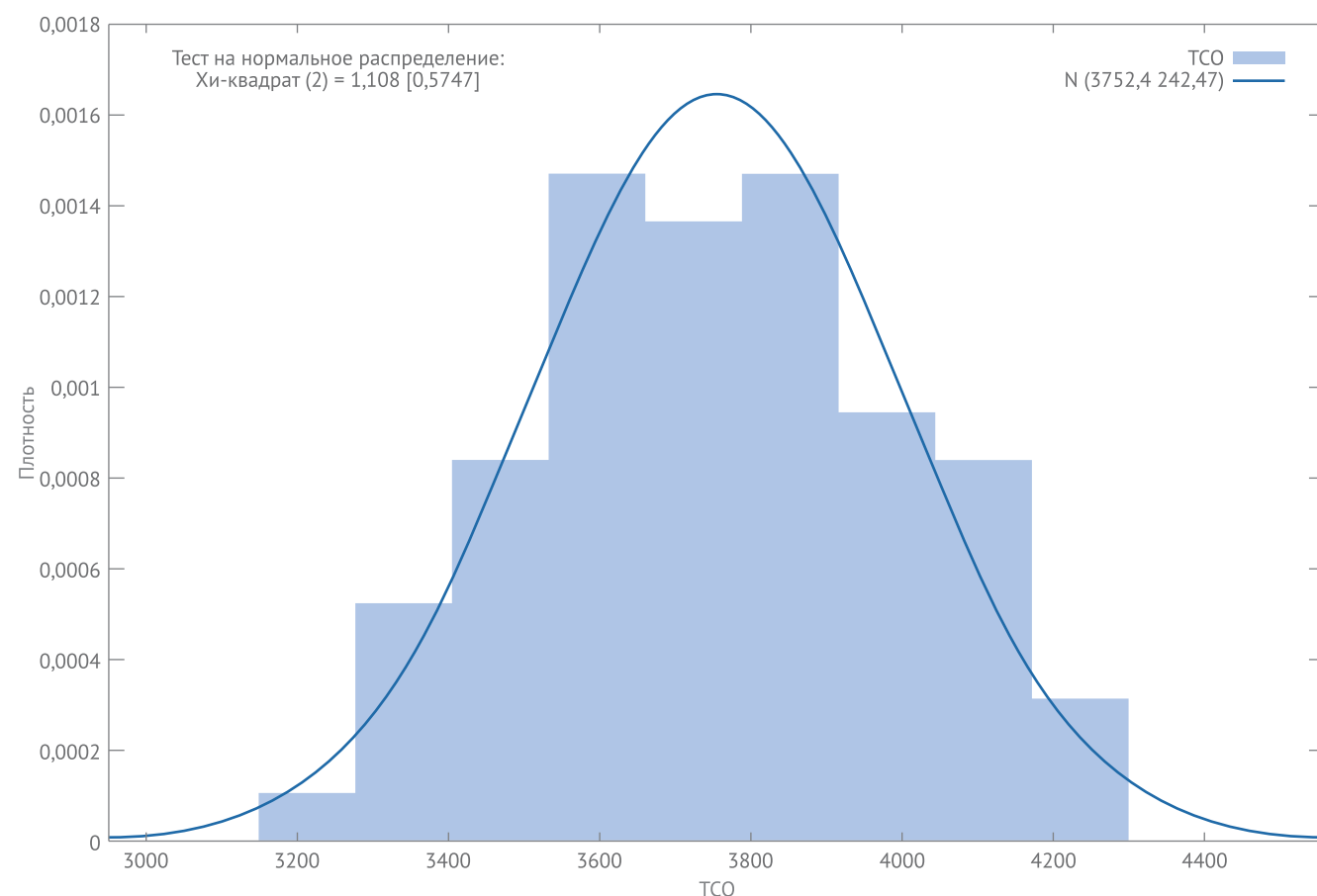


Рис. 1. Распределение значений TCO, млн руб.
Fig. 1. Distribution of TCO values, million rubles

рианта 5. Вместе с тем, с учётом ограничений производственного характера, в качестве оптимального варианта рекомендуется выбрать вариант 3, находящийся на второй позиции по минимуму данного критерия.

Далее подробнее проанализируем полученные данные (рисунок 1). Во-первых, для обоснования релевантности проверим совокупность полученных значений на нормальность распределения с помощью теста Дурника–Хансена (Doornik–Hansen). Результаты расчёта статистики: $DH = 1,10775$, p -значение 0,574718 [11].

Таким образом, гипотеза о нормальном распределении показателя TCO не опровергается (статистика DH меньше критического значения χ^2 при доверительной вероятности 0,05). Доказав нормальность распределения показателя TCO, можно говорить о релевантности вывода на основе описательных статистик распределения и последующего анализа чувствительности TCO к изменчивости капитальных и эксплуатационных затрат.

Обсуждение

Формулируя основные выводы и результаты исследования эффективности технологий, хотелось бы обратить внимание на противоречие между показателями интегрального эффекта, эффективности и окупаемости, с одной стороны, и требованиями законодательства и социальными обязательствами – с другой.

Прямолинейная их интерпретация говорит о том, что проект является экономически неэффективным при данном уровне тарифа, выйдет на состояние безубыточности лишь на семнадцатый год с момента ввода в эксплуатацию, окупится на 36-й год с момента начала реализации.

Вместе с тем анализ движения денежных средств свидетельствует о потенциале выхода на операционный профицит уже на третий год после начала эксплуатации данного водозаборного сооружения, и затем на всём горизонте планирования данный операционный профицит лишь увеличивается. Подобный положительный эффект достаточно просто контролируется с помощью установления центров финансовой ответственности, нормирования деятельности и системы корпоративного бюджетирования с жёстким контролем их исполнения [12].

При финансировании данного проекта следует обратить особое внимание на возможности, которые дают бюджеты различных уровней и институты развития для финансирования подобных социальных проектов.

В данном разделе также определено, что наиболее значимыми рисковыми экономическими факторами для

данного проекта являются, по сути, величина инвестиций в постоянные активы и уровень тарифов на услуги [13].

При этом в разделе доказано, что величина инвестиций в постоянные активы в рамках проектируемых технологических решений с очень невысокой вероятностью может быть менее 3025 млн руб. (без НДС), и её уменьшение потребует принципиального изменения технологии и организации капитального строительства в арктических условиях.

По второму, самому значимому рисковому фактору – тарифу на ресурс – для того чтобы проект вышел на состояние безубыточности к моменту запуска в эксплуатацию, действующие тарифы нужно поднять в 2 раза.

Проект характеризуется положительными накопленными потоками налоговых поступлений для федерального и территориального с местным бюджетов на расчётном горизонте планирования [14].

Заключение

При решении инженерных задач модернизации водозабора была разработана система, обеспечивающая их выполнение в плане нахождения оптимального решения в достижении необходимых требований к проекту и затратам на их реализацию.

Из описательных статистик следует, что коэффициент вариации TCO (CVTCO) составляет 6,46 %, что свидетельствует о высокой однородности полученных оценок TCO для разных технологических вариантов системы водозаборных сооружений, её низкой волатильности от проектируемых технологических решений.

В таких условиях можно утверждать, что принимаемое управленческое решение в меньшей мере определяется экономической эффективностью (минимумом TCO), а в большей мере обосновывается критериями производственно-технологического характера, социального и иных.

Все дальнейшие обоснования и расчёты будут осуществлены для варианта 3 – водозабора с водоприёмником руслового типа: затопленные оголовки, самотёчно-сифонные водоводы и водоприёмный береговой колодец, совмещённый с насосной станцией первого подъёма, насосы погружные со станцией водоподготовки с применением напорных фильтров и обеззараживанием ГПХН (гипохлоритом натрия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кулагин, В. А. Инженерно-экологическая особенность проектирования водозаборных сооружений Сибирских регионов / В. А. Кулагин, Г. П. Крючков // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 3. – С. 65–68.
- Гинзбург, М. Г. Повышение эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения в сложных природных условиях : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Гинзбург Александр Владимирович. – Москва, 2005. – 22 с.
- Орлов, С. П. Системный анализ и информационные технологии при проектировании и строительстве территориальных комплексов водоснабжения / С. П. Орлов, А. В. Чуваков, А. Г. Мережко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11 (27), № 5 (2). – С. 316–319.
- Вдовин, Ю. И. Водоснабжение на Севере / Ю. И. Вдовин. – Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение. – 1987. – 166 с.
- Порядин, А. Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов / А. Ф. Порядин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 183 с.
- Шонина, Н. А. Водоснабжение и водоотведение в условиях Крайнего Севера / Н. А. Шонина // Сантехника. – 2012. – № 5. – С. 32–43.
- Галкин, Ю. А. Технологическая система очистки сточных вод производственно-дождевой канализации / Ю. А. Галкин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 4. –

С. 27–37.

8. Щевьева, В. А. Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций : учебное пособие по курсу «Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций» для слушателей курса профессиональной переподготовки по программе «Экономика и управление инновационной деятельностью», [учебное пособие для вузов] / В. А. Щевьева ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Московский энергетический ин-т (технический ун-т). – Москва : Издательский дом МЭИ, 2008. – 230 с.

9. Вдовин Ю. И. Направления совершенствования систем водоснабжения в районах Севера // Сборник материалов ДВПТИ «Современные технологии водоснабжения». – Владивосток, 1990. – С. 81–85.

10. Ткачук, Р. В. Энергетическая эффективность водопроводных сетей и сетей канализации городов / Р. В. Ткачук // Молодой ученый. – 2020. – № 23 (313). – С. 168–171.

REFERENCES

1. Kulagin, V. A. Inzhenerno-ekologicheskaya osobennost' proektirovaniya vodozabornykh sooruzhenij Sibirskikh regionov [Engineering and environmental features of the design of water intake structures in Siberian regions] / V. A. Kulagin, G. P. Kryuchkov // Ekologiya urbanizirovannykh territorij [Ecology of Urbanized Territories]. – 2007 – No. 3. – Pp. 65–68.

2. Ginzburg, M. D. Povyshenie ehffektivnosti raboty sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya v slozhnykh prirodnykh usloviyakh [Increasing the efficiency of the system application and warning in the following modes] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk ; 05.23.04 [abstract of the dissertation ... candidate of Technical Sciences; 05.23.04] / Ginzburg Alexander Vladimirovich. – Moscow, 2005. – 22 p.

3. Orlov, S. P. Sistemnyj analiz i informatsionnye tekhnologii pri proektirovanii i stroitel'stve territorial'nykh kompleksov vodosnabzheniya [System analysis and information technologies in the design and construction of territorial water supply complexes] / S. P. Orlov, A. V. Chuvaikov, A. G. Merezko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. – 2009. – Vol. 11 (27), No. 5 (2). – Pp. 316–319.

4. Vdovin, Yu. I. Vodosnabzhenie na Severe [Water supply in the North] / Yu. I. Vdovin. – Leningrad : Stroyizdat, Leningrad branch. – 1987. – 166 p.

5. Ordin, A. F. Ustrojstvo i ehkspluatatsiya vodozaborov [Device and operation of water intakes] / A. F. Ordin. – Moscow : Stroyizdat, 1984. – 183 p.

6. Shonina, N. A. Vodosnabzhenie i vodootvedenie v usloviyakh Krajnego Severa [Water supply and sanitation in the conditions of the Far North] / N. A. Shonina // Santechnika [Plumbing]. – 2012. – No. 5. – Pp. 32–43.

7. Galkin, Yu. A. Tekhnologicheskaya sistema ochistki stochnykh vod proizvodstvenno-dozhdevoj kanalizatsii [Technological wastewater treatment system of industrial rainwater sewerage] / Yu. A. Galkin // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. – 2018. – No. 4. – Pp. 27–37.

8. Shchevyeva, V. A. Finansirovanie innovatsionnykh proektov i ehkonomicheskaya otsenka investitsij [Financing of innovative projects and economic assessment of investments] :

11. Al-Raweshidy, H. Water sustainability through efficient use of water resources: A review of the role of information and communication technologies / H. Al-Raweshidy, M. Al-Hussein // Journal of Environmental Management. – 2009. – Vol. 90, No. 9. – Pp. 2771–2781.

12. Salomaa, E. Environmental Performance and Compliance Costs for Industrial Wastewater Treatment – an International Comparison / E. Salomaa, G. Watkins // Sustainable Development. – 2011. – Vol. 19, No. 5. – Pp. 325–336.

13. Water Governance and Water Use Efficiency: The Five Principles of WUA Management and Performance in China / J. Wang, J. Huang, L. Zhang, Q. Huang, S. Rozelle // Journal of the American Water Resources Association. – 2010. – Vol. 46, No. 4. – Pp. 665–685.

14. Ramanathan, R. An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement / R. Ramanathan. – New Delhi : SAGE Publications, 2003. – 201 p.

uchebnoe posobie po kursu «Finansirovanie innovatsionnykh proektov i ehkonomicheskaya otsenka investitsij» dlya slushatelej kursa professional'noj perepodgotovki po programme «Ehkonomika i upravlenie innovatsionnoj deyatel'nost'yu» [a textbook on the course «Financing of innovative projects and economic assessment of investments» for students of the professional retraining course under the program «Economics and management of innovative activities»] / V. A. Shchevyeva ; M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federatsii [Ministry of Education and Science of the Russian Federation], Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Moskovskij ehnergeticheskij in-t (tekhnicheskij un-t) [Federal Agency for Education, Moscow Energy Institute (Technical University)]. – Moscow : Publishing House of MEI, 2008. – 230 p.

9. Vdovin Yu. I. Napravleniya sovershenstvovaniya sistem vodosnabzheniya v rajonakh Severa [Directions for improving water supply systems in the regions of the North] // Sbornik materialov DVPTI «Sovremennye tekhnologii vodosnabzheniya» [Collection of materials of DVPTI «Modern water supply technologies»]. – Vladivostok, 1990. – Pp. 81–85.

10. Tkachuk, R. V. Ehnergeticheskaya ehffektivnost' vodoprovodnykh setej i setej kanalizatsii gorodov [Energy efficiency of water supply networks and sewerage networks of cities] / R. V. Tkachuk // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2020. – No. 23 (313). – Pp. 168–171.

11. Al-Raweshidy, H. Water sustainability through efficient use of water resources: A review of the role of information and communication technologies / H. Al-Raweshidy, M. Al-Hussein // Journal of Environmental Management. – 2009. – Vol. 90, No. 9. – Pp. 2771–2781.

12. Salomaa, E. Environmental Performance and Compliance Costs for Industrial Wastewater Treatment – an International Comparison / E. Salomaa, G. Watkins // Sustainable Development. – 2011. – Vol. 19, No. 5. – Pp. 325–336.

13. Water Governance and Water Use Efficiency: The Five Principles of WUA Management and Performance in China / J. Wang, J. Huang, L. Zhang, Q. Huang, S. Rozelle // Journal of the American Water Resources Association. – 2010. – Vol. 46, No. 4. – Pp. 665–685.

14. Ramanathan, R. An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement / R. Ramanathan. – New Delhi : SAGE Publications, 2003. – 201 p.

УДК 693.546

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_135

Определение параметров фибробетона по алгоритму
многопараметрической оценки качества

Determination of Fiber Concrete Parameters by Multi-Parameter Quality Assessment Algorithm

Леонович Сергей Николаевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Беларусь, 220013, Минск, проспект Независимости, 65, leonovich@bntu.by

Leonovich Sergey Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Construction Technology, Belarusian National Technical University (BNTU), Belarus, 220013, Minsk, prospekt Nezavisimosti, 65, leonovich@bntu.by

Садовская Елена Александровна

Заведующая кафедрой «Инженерная графика строительного профиля», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), Беларусь, 220013, Минск, проспект Независимости, 65, elenasadovsskaya@bntu.by

Sadovskaya Elena Aleksandrovna

Head of the Department of Engineering Graphics of Construction Profile, Belarusian National Technical University (BNTU), Belarus, 220013, Minsk, prospekt Nezavisimosti, 65, elenasadovsskaya@bntu.by

Монахов Борис Евгеньевич

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

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, Director of the Institute of Distance Education, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, monahov@mgsu.ru

Аннотация. По внешним признакам сложно оценить качество конструкции из фибробетона. Наиболее прогрессивными и достаточно информативными являются методы неразрушающего контроля. Сохранение целостности структуры конструкции и возможность многократного контроля является приоритетным для проведения контроля качества в производственных условиях и в период эксплуатации объекта.

Предлагаемый алгоритм проведения контроля качества сталефибробетона отражает последовательность выполнения работ и позволяет оценить качество конструкции в построенных условиях (устраиваемой или находящейся в процессе эксплуатации) и включает четыре взаимно дополняющие друг друга этапа: комплексный метод, ультразвуковая томография, отрыв со скалыванием, изъятие образцов с последующим испытанием в лабораторных условиях.

Многопараметрическая методика позволяет получить кроме традиционных параметров – прочности на осевое сжатие (f_c),

Abstract. It is difficult to assess the quality of a fiber-reinforced concrete structure based on external signs. The most progressive and quite informative methods are non-destructive testing methods. Maintaining the integrity of the structural structure and the possibility of repeated control is a priority for quality control in production conditions and during the operation of the facility.

The proposed algorithm for quality control of steel-fiber-reinforced concrete reflects the sequence of work and allows one to assess the quality of the structure under construction conditions (under construction or in operation) and includes four mutually complementary stages: a comprehensive method, ultrasonic tomography, tearing off with chipping, removal of samples followed by testing in laboratory conditions.

The multiparameter technique makes it possible to obtain, in

прочности на осевое растяжение (f_{ax}), прочности на растяжение при изгибе (f_{fl}), прочности при раскалывании (f_{sp}) – многопараметрическую оценку вязкости разрушения фибробетона на всех этапах деформирования и трещинообразования на одном и том же образце. Это минимизирует погрешности показателей качества материала, связанные с разными условиями твердения, формования, неточностями в дублировании состава (образцы-близнецы), снижает неопределённость, повышает достоверность результатов испытаний.

В этой статье приведены данные по апробации методики при устройстве конструкции промышленного пола производственного цеха. Полученные комплексными исследованиями результаты позволяют установить качество оцениваемой фибробетонной конструкции в производственных условиях.

Ключевые слова: фибробетон, бетон, фибра, вязкость разрушения, прочность, контроль качества.

addition to the traditional parameters f_c , f_{ax} , f_{fl} , f_{sp} , a multiparametric assessment of the fracture toughness of fiber-reinforced concrete at all stages of deformation and cracking on the same sample. This minimizes errors in material quality indicators associated with different hardening and molding conditions, inaccuracies in duplicating the composition (twin samples), reduces uncertainty, and increases the reliability of test results.

This article provides data on testing the methodology for constructing an industrial floor structure in a production workshop. The results obtained through complex research make it possible to establish the quality of the evaluated fiber-reinforced concrete structure in production conditions.

Keywords: fiber-reinforced concrete, concrete, fiber, fracture toughness, strength, quality control.

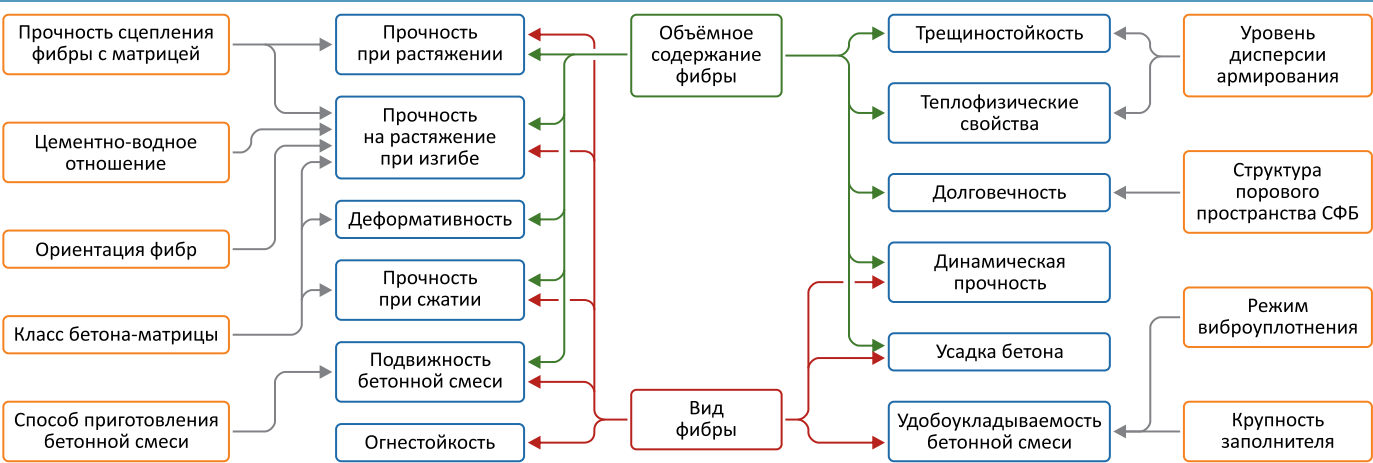


Рис. 1. Параметры, влияющие на физико-механические свойства фибробетона
Fig. 1. Parameters influencing the physical and mechanical properties of fiber reinforced concrete

Введение
Оценка качества приготовления фибробетонной смеси и, в особой мере, равномерности распределения фибры как фактора качества (однородности) свойств фибробетона в строительных конструкциях является сложной в решении научно-технической задачей. Это связано с разнообразием и степенью влияния на формирование структуры фибробетона технологических факторов: В/Ц (водоцементное отношение) бетона, вида фибры, её объёмного содержания, требуемой удобоукладываемо-

сти, разной крупности заполнителя, режимов укладки и уплотнения и др. – а в итоге – на физико-механические свойства фибробетона. В определённой мере степень этой взаимосвязи характеризуется схемой, представленной на рисунке 1.
По влиянию на требуемые физико-механические свойства различные факторы можно расположить по степени их значимости: тип фибры, концентрация фибры, класс бетона, дисперсность и др. [1–8]. Контроль однородности распределения фибры и её объёмное содержание в кон-

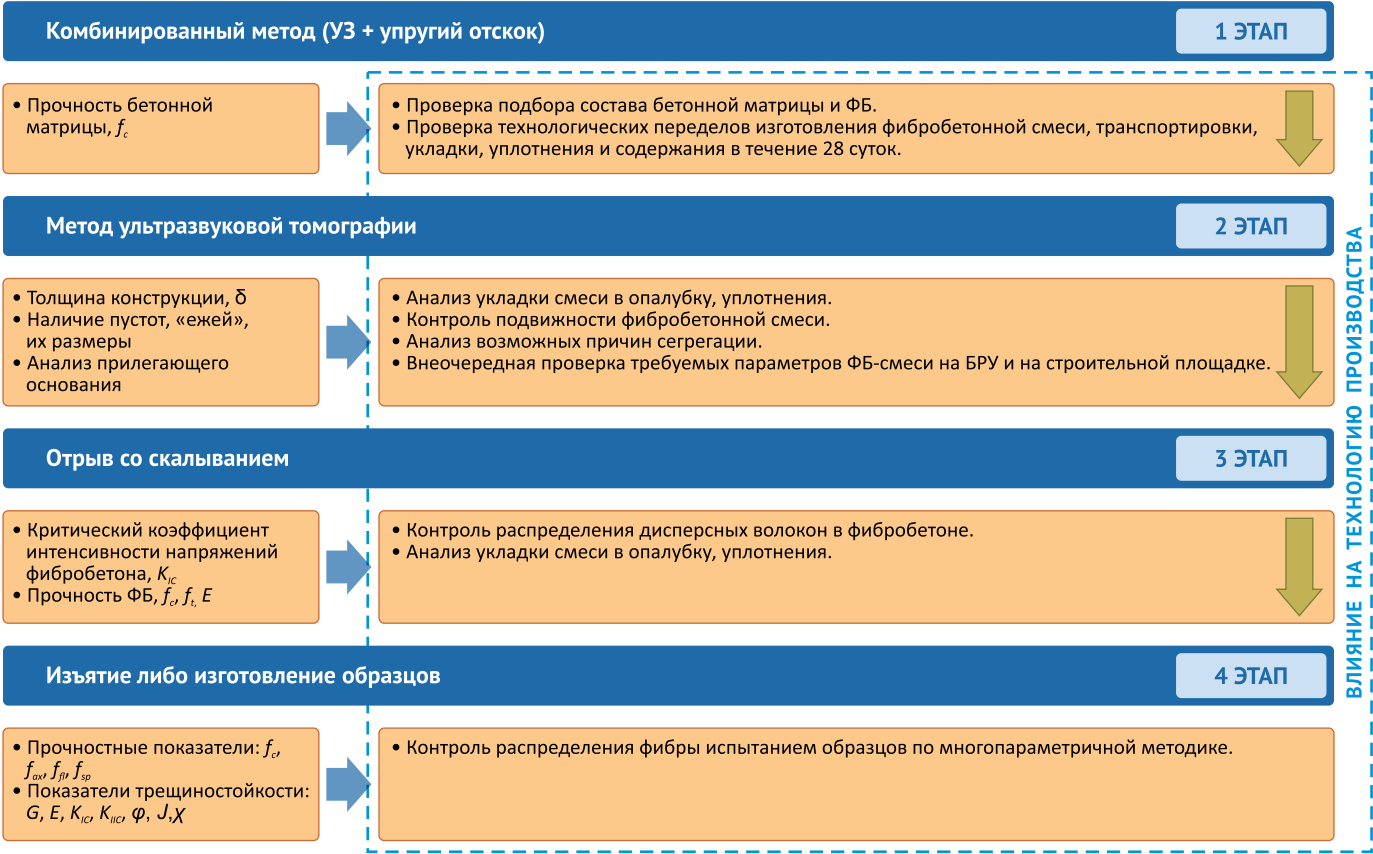


Рис. 2. Последовательность при контроле качества фибробетона в конструкции с последующим влиянием на технологию производства
Fig. 2. Consistency in quality control of fiber reinforced concrete in a structure with subsequent influence on production technology

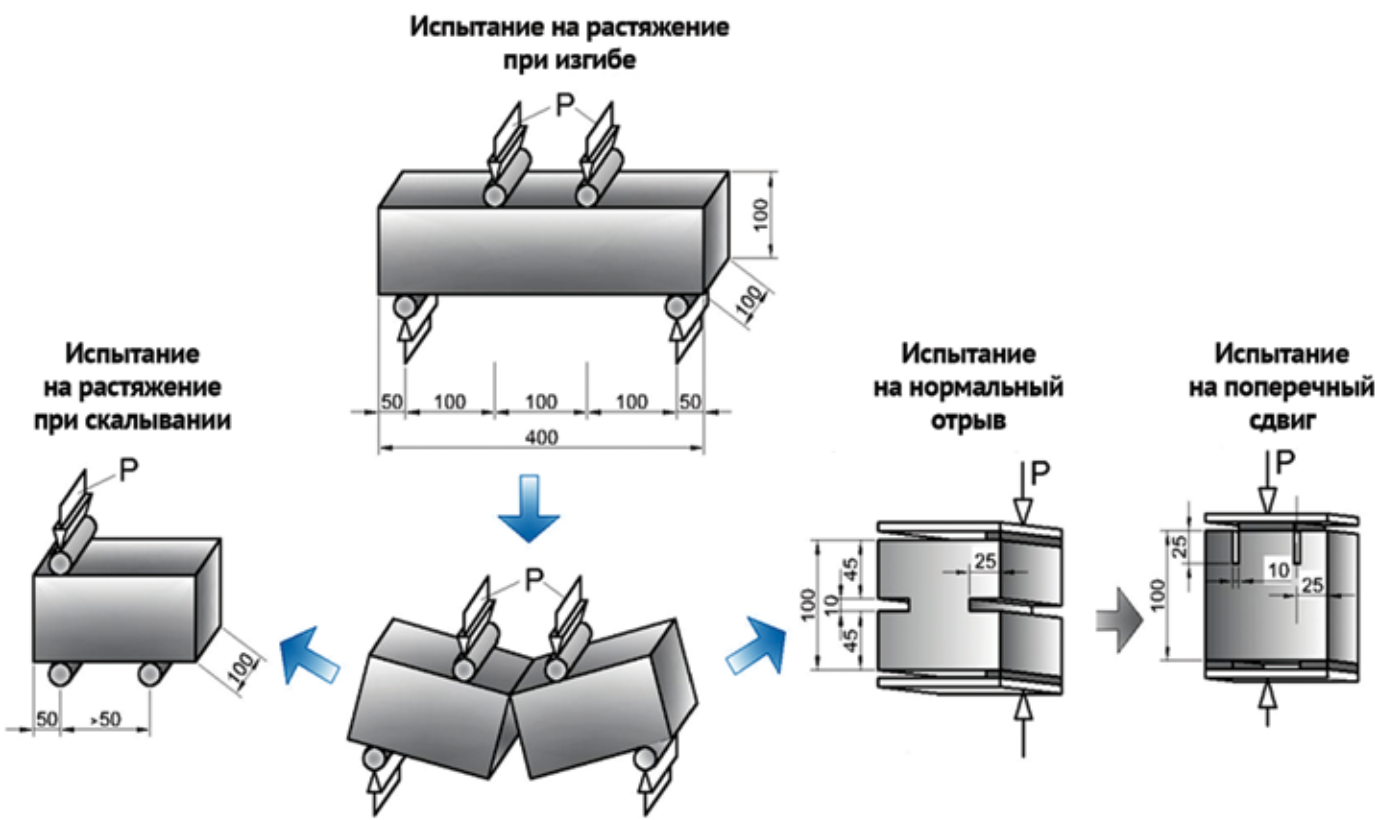


Рис. 3. Многопараметричная оценка параметров по образцам-призмам 100 × 100 × 400 мм
Fig. 3. Multiparameter evaluation of parameters using prism samples 100 × 100 × 400 mm

струкции на строительной площадке вызывает некоторые сложности. Приведённые далее приёмы, предлагаемые в литературных источниках, требуют совершенствования.
Метод контроля прочности и приближённая оценка распределения фибр путём испытаний образцов, изъятых из исследуемой конструкции, требует затрат времени и не даёт полного представления о распределении фибр во всей конструкции.
Не разрушающие методы контроля. Одним из первых апробированных к применению методов неразрушающего контроля фибробетона был ультразвуковой. Стало очевидным, что он ограниченно применим, так как сквозное прозвучивание возможно только для ограниченного типа конструкций. Установлено [9], что контроль качества сталефибробетона с применением ультразвука в большей мере целесообразен для оценки степени его уплотнения и прочности.
Трёхмерная компьютерная томография, основанная на «воссоздании» объекта при помощи рентгеновских снимков [10], что позволяет достаточно точно отобразить распределение и положение фибры, но является технически сложным и небезопасным для человека способом.
Магнитоскопия и радиоволновой методы апробируются исследователями [11] в варианте подготовки образцов-аналогов изготовлением из ориентировочных составов фибробетона либо изъятых из конструкции. По существу, эти методы находятся на стадии эксперимен-

тальной разработки. Их достоверность не подтверждена практикой применения в строительном производстве.
Обобщая изложенное, приходим к выводу о необходимости совершенствования методов контроля качественных характеристик фибробетона, включая методику оценки равномерности распределения стальной фибры в объёме бетонируемой конструкции (а фактически – в объёме затвердевшего бетона конструкции), уровня и однородности его физико-механических свойств.
С этой целью предложен и реализован комплексный подход, включающий метод разрушающего контроля для оценки физических, механических, энергетических параметров, характеризующих в совокупности прочностные и упругодеформативные свойства фибробетона, армированного стальной фиброй, данные которого дополняются методами неразрушающего контроля: ультразвуковым прозвучиванием, ультразвуковой томографией, упругого отскока.
Основные положения многопараметрической оценки качества фибробетона
На основании результатов исследований предлагается авторская методика многофакторной (многопараметрической) оценки качества фибробетона строительных конструкций, включающая совокупность лабораторных испытаний в сочетании с оценкой свойств фибробетона в конструкции [7; 8].
Для её реализации разработан алгоритм, который отражает последовательность выполнения работ и по-



Рис. 4. Внешний вид: а) производственного цеха после выполнения работ, б) фрагмента пола
Fig. 4. Appearance of: a) the production workshop after the work has been completed, b) a fragment of the floor

зволяет оценить качество фибробетонной конструкции в построечных условиях (устраиваемой или находящейся в процессе эксплуатации), он включает четыре взаимно дополняющие друг друга этапа (рисунок 2).

На первом этапе проводится сплошной контроль комплексным методом, основанным на коррекции значений, полученных методом упругого отскока, испытаниями ультразвуком [12]. В результате испытаний получают значение прочности бетонной матрицы на независимой физической основе. Дополнительным испытаниям подвергаются участки с отличающимися (низкими) показателями.

На втором этапе для контроля используется метод ультразвуковой томографии конструкции. В результате контролируется толщина исследуемой конструкции, наличие пустот и «ежей» из фибровых волокон. Контроль может осуществляться «точечный» и «сплошной».

На третьем этапе на участках конструкции, где на предыдущих этапах испытаний были выявлены дефекты

(снижение прочности и др.), используется метод прямого отрыва со скалыванием для определения критического коэффициента интенсивности напряжений (ККИН) и прочности фибробетона в конструкции (ГОСТ 29167-21).

Четвёртый этап испытаний проводится в варианте сравнения свойств изготовленных в лабораторных условиях образцов из фибробетона и образцов-аналогов, отобранных из конструкции, по схеме испытаний на рисунке 3.

При этом отбор образцов из конструкции производят в случае, если в результате выполнения испытаний по трём начальным этапам невозможно сделать вывод о соответствии качественных характеристик (параметров) фибробетона требуемым для данного конкретного случая (в частности по уровню требуемой прочности на сжатие).

Проведение испытаний на фрагментах одной и той же балки (от 6 до 9 контрольных сечений) позволяет контролировать однородность распределения фибры в бетонной матрице.



Рис. 5. Проведение испытаний: а) испытания методом упругого отскока; б) ультразвуком
Fig. 5. Carrying out tests: a) testing by the elastic rebound method; b) ultrasound



Рис. 6. Испытание ультразвуковым томографом A1040 MIRA
Fig. 6. Testing with ultrasonic tomograph A1040 MIRA

Материалы и методы

Для апробации многопараметрической методики в качестве объекта исследования выступал промышленный пол цеха многопрофильного производства мебели, включающий песчаную подготовку, выравнивающий бетонный слой, арматурный каркас (в наиболее нагруженных участках), сталефибробетонный слой (рисунок 4).

Укладка смеси осуществлялась прямой подачей из автобетоносмесителя с выравниванием и уплотнением виброрейкой. Работы велись по захваткам.

Для проведения испытаний были отобраны пробы фибробетонной смеси проектного состава, контрольного и с увеличенным количеством фибры. Фибра из листовой стали представляет собой стальную полосу, имеющую на концах анкера в виде сегментов окружности,

радиусно сопряжённых с прямыми участками полосы. Торцы полоски развёрнуты относительно друг друга на произвольный угол (ТУ ВУ 190345927.006-2018). Для приготовления 1 м³ поставляемой на объект строительства бетонной смеси использовался портландцемент ПЦ500 Д0 (ЦЕМ 42,5Н) ОАО «Белорусский цементный завод» – 425 кг, щебень (фр. 5–20 мм) – 1070 кг, песок природный ($M_k = 1,79-2,0$) – 750 кг; пластифицирующая добавка «Реламикс ПК» – 0,5 %.

Испытания фибробетонных образцов провели в научно-исследовательской лаборатории НИПИ БНТУ по многопараметрической методике оценки трещиностойкости (вязкости разрушения) и прочностных параметров фибробетона (рисунки 2, 3; таблица 1).

Для оценки параметров качества фибробетона в конструкции промышленного пола применяли комплексный метод и метод ультразвуковой томографии. Для реализации метода упругого отскока применялся прибор SilverSchmidt Proseq, ультразвукового импульсного метода – прибор «Пульсар 2.2» (рисунок 5). Испытания проводили на кубах 100 × 100 × 100 мм в лабораторных условиях. В производственных условиях данные получены непосредственно при оценке фибробетона конструкции пола.

Метод ультразвуковой томографии осуществлялся при помощи ультразвукового низкочастотного томографа A1040 MIRA (рисунок 6).

Результаты. Обсуждение

Из результатов испытаний образцов на осевое сжатие видно, что введение фибры в оцениваемом количестве не оказало существенного влияния на этот показатель и что в целом соответствует общепризнанным тенденциям

Параметры		Б-0 0 кг*	ФБ-20 20 кг*	ФБ-40 40 кг*	ФБ-60 60 кг*
Прочность на сжатие, МПа	f_c	35,6	35,0	37,4	35,1
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	f_{β}	4,32	5,06	5,13	6,45
Прочность на растяжение при скалывании, МПа	f_{sp}	2,57	2,59	2,63	2,81
Прогиб образца при максимальной нагрузке, мм	V_f	0,03	0,05	0,07	0,65
Энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины, Дж	$W_m + W_e$	0,21	0,42	0,51	8,47
Энергозатраты на упругое деформирование до начала движения магистральной трещины статического разрушения, Дж	W_e	0,08	0,11	0,09	0,19
Энергозатраты на процессы развития и слияния микротрещин до формирования магистральной трещины статического разрушения, Дж	W_m	0,14	0,31	0,42	8,28
Энергозатраты на локальное статическое деформирование в зоне магистральной трещины, Дж	W_L	0,00	14,51	16,29	29,12
Расчётные энергозатраты на упругое деформирование сплошного образца, Дж	W_{el}^c	0,06	0,08	0,07	0,15
Удельные энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины, МДж/м²	G_i	27,20	53,05	65,55	1056,72
Удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение, МДж/м²	G_F	9,62	1840,12	2094,91	3671,26
Статический джей-интеграл, МДж/м²	J_i	19,67	42,41	56,60	1038,43
Статический КИН напряжений, МПа·м ^{0,5}	K_i	0,90	1,24	1,40	5,45
Критерий хрупкости, м	X_F^c	0,02	2,2	2,8	3,2
ККИН при нормальном отрыве, МПа·м ^{0,5}	K_{IC}	0,53	0,56	0,69	0,7
ККИН при поперечном сдвиге, МПа·м ^{0,5}	K_{IIC}	3,56	3,66	3,74	3,73
Водопоглощение по массе, %	W_m	2,8	4,1	3,5	3,4

* Количество фибры (кг) на 1 м³ готовой бетонной смеси

Табл. 1. Результаты испытаний фибробетона с разным содержанием стальной фибры
Tab. 1. Results of testing fiber reinforced concrete with different steel fiber contents

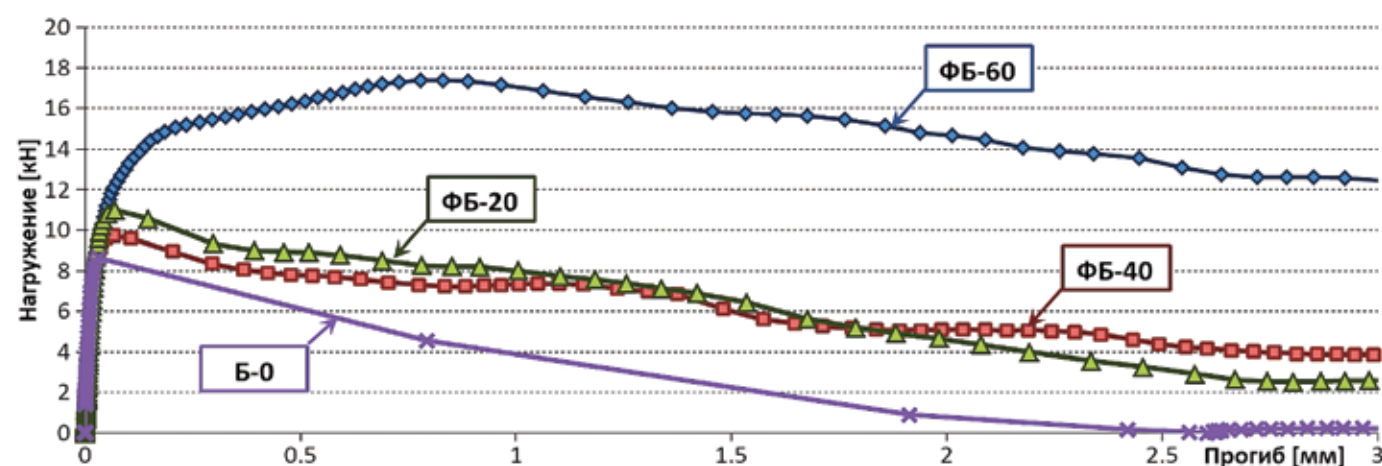


Рис. 7. Полная диаграмма деформирования, полученная при испытании образцов-призм с надрезом на растяжение при изгибе
Fig. 7. Complete stress-strain diagram obtained by testing notched prism specimens for tensile bending

её влияние на физико-механические характеристики конструкционного бетона. При этом существенно возрастают как прочностные характеристики бетона, относящиеся к разным видам его сопротивления растягивающим усилиям, так и деформативные характеристики, отражающие поведение структуры бетона в процессе его деформирования и трещинообразования под действием механических нагрузок.

Прочность на растяжение при изгибе образцов состава «ФБ-20» оказалась выше на 18 %, чем состава без фибры, и на 48 % для состава «ФБ-60» в сравнении с контрольным составом без фибры «Б-0», на 27 % больше, чем в образцах из состава «ФБ-20».

Прочность на осевое растяжение при раскалывании образцов отражает тенденцию к росту с введением фибры, но в меньшей степени: прирост достигает $\approx 10\%$ относительно образцов бетона без фибры.

Резко возрастает показатель прогиба образцов бетона с фиброй. Так, состав «ФБ-20» обеспечил увеличение прогиба (V_f) на 66 % относительно состава без фибры «Б-0». Но наибольший прогиб наблюдался в составе с макси-

мальным количеством фибры «ФБ-60» – 0,65 мм, что в 21 раз превышает прогиб балки без фибры и в 13 раз исследуемый состав. Эти данные свидетельствуют о способности фибробетона к значительному деформированию в процессе загрузки рабочими (или испытательными) нагрузками до начала его разрушения.

По полученным графикам зависимости «прогиба от нагружения» (рисунок 7) можно наблюдать влияние фибры на деформирование образца. Кривая на графике контролируемого состава «ФБ-20» находится рядом с кривой графика «ФБ-40». Для базового состава «Б-0» полученная кривая характеризует хрупкое разрушение испытываемого образца. График, полученный при испытании образца «ФБ-60», находится заметно выше остальных графиков и имеет пологую нисходящую ветвь, что свидетельствует о заметно отличающихся характеристиках для этого состава.

Анализ данных таблицы 1, относящихся к энергетическим параметрам оценки качества испытываемого на трещиностойкость фибробетона, показывает безусловный (многократный) рост этих показателей. Учитывая, что

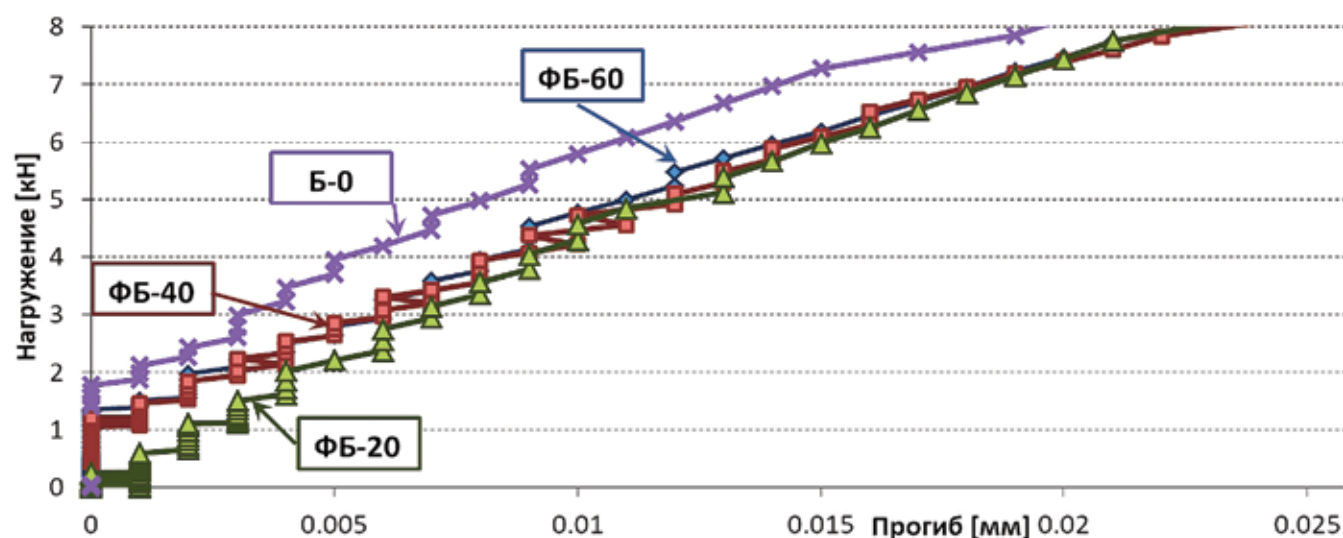
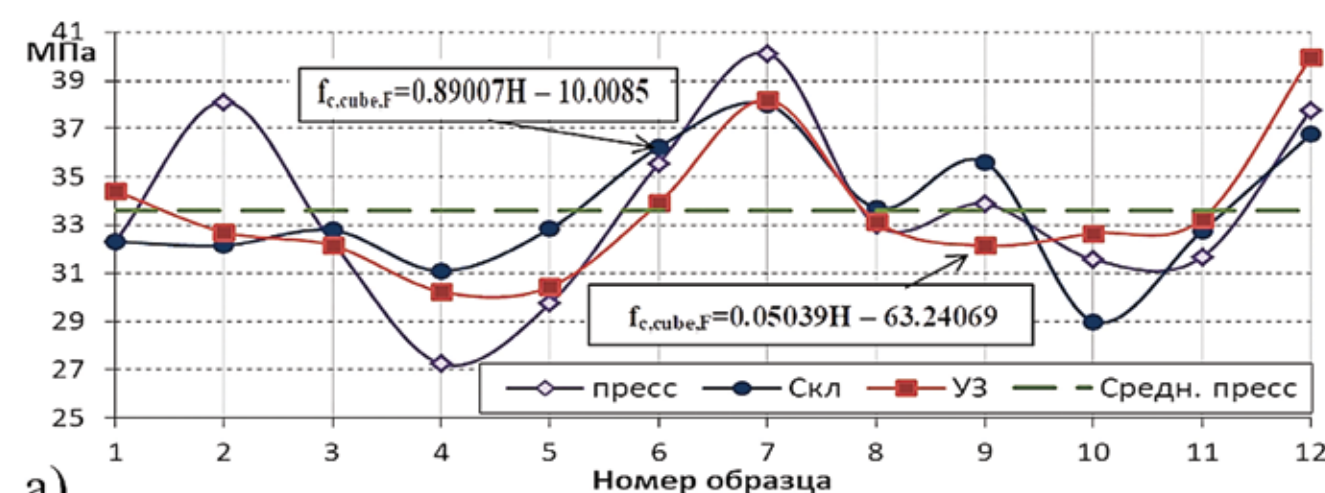


Рис. 8. Фрагмент диаграммы деформирования образцов-призм
Fig. 8. Fragment of the diagram of the deformation of prism samples



а)



б)

Рис. 9. а) Результаты испытаний неразрушающими методами (Скл – склерометр, УЗ – ультразвук); б) значения прочности в сечениях фибробетонного пола
Fig. 9. а) Test results using non-destructive methods (Skl – sclerometer, US – ultrasound); б) strength values in sections of fiber reinforced concrete floors

тенденция их устойчивого роста при наличии фибрового армирования исходного бетона согласуется с тенденцией роста его прочностных свойств на все виды растяжения, данные показатели обеспечивают возможность достоверной оценки трещиностойкости фибробетона в совокупности с другими механическими и физическими методами контроля, составляющими предлагаемую многопараметрическую методику оценки его качества.

Обобщение полученных параметров фибробетона в конструкции промышленного пола (рисунок 9) показало, что его прочность на сжатие составляет $\approx 34,5$ МПа. При этом установлено практическое равенство величины прочности фибробетона на сжатие при испытаниях механическими методами контроля и полученных по результатам комплексных испытаний неразрушающими методами (погрешность измерений составила 10–17 %). Это свидетельствует как о достоверности результатов испытаний, так и о рациональности предлагаемой авторской методики оценки качества фибробетона, включая построчные условия контроля его качества.

Испытания ультразвуковой томографией проводились в два этапа: точечное сканирование с получением В-сканов и полное сканирование участка пола в режиме КАРТА. Полученные развёртки сканов и 3D-модель участ-

ка конструкции представлены на рисунках 10–11. Разными цветами закодирована отражающая способность каждой точки визуализируемого объёма.

Метод ультразвуковой томографии позволил определить толщину фибробетонного слоя конструкции – 160–162 мм (на рисунке 10 указано под номером 1), местонахождение дефектов – в нижней части фибробетонного слоя (на рисунке 10 обозначено номером 2). Скопления фибровых волокон и заземлённый воздух вызывают отражение сигнала (красный цвет) в объёме фибробетонного слоя. В целом же конструкция представляет сплошной монолитный объём.

Заключение

Предложенная методика многопараметрической оценки качества фибробетона и устроенных с его использованием строительных конструкций, включающая ультразвуковую томографию, комплексный метод (ультразвук + упругий отскок), отрыв со скалыванием, испытание изготовленных либо изъятых образцов из массива конструкции, обеспечивает высокую степень достоверности получаемых результатов. Методика обеспечивает не только возможность оценки физикомеханических (прочностных, упругодеформативных) характеристик фибробетона, но и позволяет оценить степень равномерности рас-

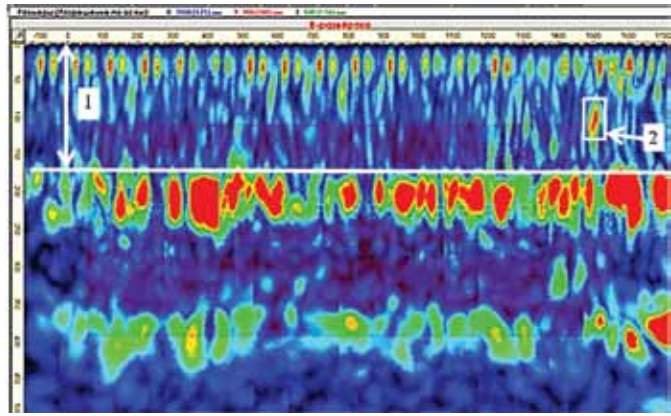


Рис. 10. В-развёртка (оси XZ) полученной карты участка пола
Fig. 10. B-scan (XZ axis) of the resulting map of the floor area

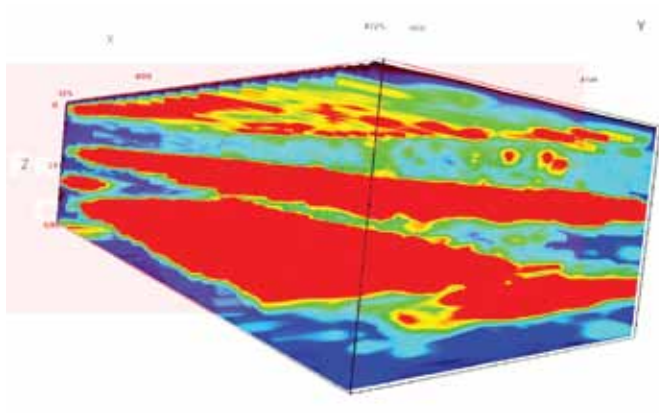


Рис. 11. 3D-модель полученной карты участка пола
Fig. 11. 3D model of the resulting map of the floor area

пределения стальной фибры в объёме бетона, а на этом основании – однородность его свойств как по сечению, так и в плане устроенной конструкции.

При оценке качественных характеристик полов промышленного здания по предлагаемой методике установлен рост прочности фибробетона многоуровневого армирования на изгиб до 48 %, на растяжение при скалывании до 10 %, обеспечен многократный рост прогиба без разрушения образцов под действием механических нагрузок, а также многократное увеличение энергетических

параметров, характеризующих и отражающих процесс трещинообразования в фибробетоне под их действием. Комплексные исследования неразрушающими методами позволяют проводить неограниченное количество испытаний, что в результате способствует объективной оценке состояния и качества исследуемого объекта.

По результатам выполненных исследований заказчику рекомендовано в дальнейшем в конструкциях пола применять фибробетон при объёмной концентрации стальной фибры 0,7–1,2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прочность и трещиностойкость цементных композитов при многоуровневом армировании / С. А. Жданок, С. Н. Леонович, Е. А. Садовская, Е. А. Полонина // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2023. – Т. 67, № 4. – С. 340–344.
2. Tensile strength of nanofibrous concrete / E. A. Sadovskaya, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol. 93, No. 4. – Pp. 1015–1019.
3. Fracture toughness of nanofiber-reinforced concrete on normal separation and in-plane shear / E. A. Sadovskaya, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok, V. V. Potapov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2022. – Vol. 95, No. 4. – Pp. 945–952.
4. Leonovich, S. N. Nanofiber Concrete: Multi-Level Reinforcement / S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya // Science and Technique. – 2022. – No. 5. – Pp. 392–396.
5. Experimental studies of fiber-reinforced concrete under axial tension / Z. Holovata, D. Kirichenko, I. Korneeva, S. Neutov, M. Vyhnanets // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1038. – Pp. 323–329.
6. Физико-механические характеристики бетона, модифицированного пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода / С. А. Жданок, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович, Б. М. Хрусталева, Е. А. Коледа (Е. А. Садовская) // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92, № 1. – С. 14–20.

REFERENCES

1. Zhdanok, S. A. Prochnost' i treschinostojkost' tsementnykh kompozitov pri mnogourovnevnom armirovanii [Strength and crack resistance of cement composites in multilevel reinforcement] / S. A. Zhdanok, S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya, E. A. Polonina // Doklady Natsional'noj akademii nauk Belarusi [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus]. – 2023. – Vol. 67, No. 4. – Pp. 340–344.
2. Tensile strength of nanofibrous concrete / E. A. Sadovskaya, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol. 93, No. 4. – Pp. 1015–1019.
3. Fracture toughness of nanofiber-reinforced concrete on normal separation and in-plane shear / E. A. Sadovskaya, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok, V. V. Potapov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2022. – Vol. 95, No. 4. – Pp. 945–952.
4. Leonovich, S. N. Nanofiber Concrete: Multi-Level Reinforce-

№ 1. – С. 14–20.

7. Leonovich, S. N. Multi-Parameter Methodology for Assessing Quality Indicators of Nanomodified Fiber-Reinforced Concrete for Construction Site / S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya, A. A. Koleda // Наука и техника. – 2023. – Т. 22, № 5. – С. 397–404.
8. Petrunin, S. Cement Composites Reinforced with Functionalized Carbon Nanotubes / S. Petrunin, V. Vaganov, K. Sobolev // Materials Research Society Symposium Proceedings. – 2014. – Vol. 1611. – Pp. 133–138.
9. Дорф, В. А. Скорость распространения ультразвука в сталефибробетонах с цементно-песчаной матрицей / В. А. Дорф, Р. О. Красновский // Бетон и железобетон. – 2014. – № 3. – С. 5–8.
10. Возможности применения компьютерной томографии в исследовании сталефибробетона / Ю. Шнелль, Ф. Шулер, В. Брайт, Р. Рёш // Технологии бетонов. – 2013. – № 4. – С. 40–47.
11. Матус, Е. П. Взаимодействие сталефибробетона с радиоволнами / Е. П. Матус // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 11–12. – С. 97–100.
12. Снежков, Д. Ю. Анализ методик неразрушающих испытаний бетона конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, А. В. Вознищук // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 33–40.

- N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol. 93, No. 4. – Pp. 1015–1019.
3. Fracture toughness of nanofiber-reinforced concrete on normal separation and in-plane shear / E. A. Sadovskaya, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, S. A. Zhdanok, V. V. Potapov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2022. – Vol. 95, No. 4. – Pp. 945–952.
4. Leonovich, S. N. Nanofiber Concrete: Multi-Level Reinforce-

ment / S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya // Science and Technique. – 2022. – No. 5. – Pp. 392–396.

5. Experimental studies of fiber-reinforced concrete under axial tension / Z. Holovata, D. Kirichenko, I. Korneeva, S. Neutov, M. Vyhnanets // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1038. – Pp. 323–329.
6. Zhdanok, S. A. Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki betona, modifitsirovannogo plastiftsiruyushej dobavkoj na osnove nanostrukturirovannogo ugleroda [Physico-mechanical characteristics of concrete modified with a plasticizing additive based on nanostructured carbon] / S. A. Zhdanok, E. N. Polonina, S. N. Leonovich, B. M. Hrustalev, E. A. Koleda // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal [Engineering Physics Journal]. – 2019. – Vol. 92, No. 1. – Pp. 14–20.
7. Leonovich, S. N. Multi-Parameter Methodology for Assessing Quality Indicators of Nanomodified Fiber-Reinforced Concrete for Construction Site / S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya, A. A. Koleda // Наука и техника. – 2023. – Т. 22, № 5. – С. 397–404.
8. Petrunin, S. Cement Composites Reinforced with Functionalized Carbon Nanotubes / S. Petrunin, V. Vaganov, K. Sobolev // Materials Research Society Symposium Proceedings. – 2014. – Vol. 1611. – Pp. 133–138.

9. Dorf, V. A. Skorost' rasprostraneniya ul'trazvuka v stalefibrobetonakh s tsementno-peschanoj matritsej [The velocity of ultrasound propagation in steel fiber reinforced concrete with a cement-sand matrix] / V. A. Dorf, R. O. Krasnovsky // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. – 2014. – No. 3. – Pp. 5–8.
10. Vozmozhnosti primeneniya komp'yuternoj tomografii v issledovanii stalefibrobetona [Possibilities of using computed tomography in the study of steel fiber concrete] / Yu. Shnel, F. Shuler, V. Bright, R. Resh // Tekhnologii betonov [Technologies of concrete]. – 2013. – No. 4. – Pp. 40–47.
11. Matus, E. P. Vzaimodejstvie stalefibrobetona s radiovolnami [Interaction of steel fiber concrete with radio waves] / E. P. Matus // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of universities. Construction.]. – 2009. – No. 1112. – Pp. 97–100.
12. Snezhkov, D. Yu. Analiz metodik nerazrushayushhikh ispytaniy betona konstruktсий po deystvuyushhim gosudarstvennym standartam i normam Evrosoyuza [Analysis of methods of non-destructive testing of concrete structures according to current state standards and norms of the European Union] / D. Yu. Snezhkov, S. N. Leonovich, A. V. Voznishchik // Nauka i tekhnika [Science and Technology]. – 2013. – No. 2. – Pp. 33–40.

УДК 693.5, УДК 624.012.4

DOI: 10.54950/26585340_2024_1_143

Возведение высотных зданий в г. Грозный с использованием самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье

Construction of High-Rise Buildings in Grozny Using Self-Compacting Concrete Based on Technogenic Raw Materials

Муртазаев Саид-Альви Юсупович

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

Murtazaev Said-Alvi Yusupovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production Technology, Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M. D. Millionshchikov (GGNTU named after academician M. D. Millionshchikov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, prospekt imeni Kh. A. Isaeva, 100, s.murtazaev@mail.ru

Алиев Саламбек Алимбекович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология строительного производства», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова» (ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова), Россия, 364051, Чеченская Республика, Грозный, проспект имени Х. А. Исаева, 100, asa-fenix@mail.ru

Aliev Salambek Alimbekovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology, Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M. D. Millionshchikov (GGNTU named after academician M. D. Millionshchikov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, prospekt imeni Kh. A. Isaeva, 100, asa-fenix@mail.ru

Сайдумов Магомед Саламувич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология строительного производства», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова» (ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова), Россия, 364051, Чеченская Республика, Грозный, проспект имени Х. А. Исаева, 100, saidumov_m@mail.ru

Saidumov Magomed Salamovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology, Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M. D. Millionshchikov (GGNTU named after academician M. D. Millionshchikov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, prospekt imeni Kh. A. Isaeva, 100, saidumov_m@mail.ru

Муртазаев Имран Сайд-Альвиевич

Аспирант ФГБУН «Комплексный научно-исследовательский институт им. Х. И. Ибрагимова Российской академии наук» (КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова), Россия, 364051, Чеченская Республика, Грозный, улица В. Алиева, 21а, pirlo.21.milan@mail.ru

Murtazaev Imran Said-Alvievich

Postgraduate student of the Comprehensive Scientific Research Institute named after Kh. I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences (CSRI RAS named after Kh. I. Ibragimov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, ulitsa V. Alieva, 21a, pirlo.21.milan@mail.ru

Аннотация. Введение. В России, как и во всём мире, объёмы строительства ежегодно растут, и как следствие, растут объёмы производства монолитного бетона. При возведении современных зданий и сооружений используются лёгкие и тяжёлые бетоны классов от В7,5 до В40. Однако наряду с ними широкое применение получили другие, более эффективные их виды, одними из которых являются самоуплотняющиеся бетоны (далее – СУБ).

Материалы и методы. Самоуплотняющиеся бетоны отличаются от традиционных бетонов не только рецептурой, но и технологией получения. Такие бетоны способны самостоятельно занимать минимальный объём и плотно заполнять пространство между арматурным каркасом и опалубкой без вибрирующего воздействия. Переход на самоуплотняющиеся бетоны упрощает технологию строительства и снижает затраты труда, что в целом будет способствовать снижению себестоимости возведения зданий несмотря на более высокую стоимость предлагаемых бетонных композитов.

Результаты. Для определения составов СУБ-бетонов с различными физико-механическими и эксплуатационными свойствами с использованием местного техногенного и природного сырья Чеченской Республики были изучены возможные техно-

логии их получения, а также свойства и рецептуры. Проведённые исследования показали возможность использования при производстве самоуплотняющихся бетонов различных классов местного сырья, а именно: цемента с Чеченского цементного завода, щебня фракции до 20 мм Белгатоевского карьера, мелкого заполнителя с Червленского карьера, а также золы-уноса Грозненских ТЭЦ в качестве микрозаполнителя.

Выводы. Предложены составы самоуплотняющихся бетонов с применением различной (природной и техногенной) сырьевой базы Чеченской Республики с гарантированным обеспечением классов по прочности на сжатие: 1 – В40 и ниже, 2 – В100, на привозных из соседних регионов высококачественных заполнителях и качественных цементах. Проведёнными исследованиями доказана целесообразность применения разработанных композитов для возведения монолитных конструкций высотных зданий в сейсмоопасных районах, в частности в г. Грозный.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-69-00043, <https://rscf.ru/project/24-69-00043/>.

Ключевые слова: монолитное строительство, бетонные композиты, самоуплотняющиеся бетоны, технология строительного производства, техногенное сырьё.

gies, properties, and formulations were studied. The conducted research demonstrated the feasibility of using various local raw materials, namely cement from the Chechen Cement Plant, crushed stone with a fraction size up to 20 mm from the Belgatoyevsky quarry, fine filler from the Chervlensky quarry, and fly ash from the Grozny thermal power plants as a microfiller, in the production of self-compacting concretes of different classes.

Conclusions. Compositions of self-compacting concretes with the use of various (natural and man-made) raw material bases of the Chechen Republic with guaranteed provision of compressive strength classes are proposed: 1 – В40 and below; 2 – В100, on high-quality aggregates and high-quality cements imported from neighboring regions. The conducted research has proved the expediency of using the developed composites for the construction of monolithic structures of high-rise buildings in earthquake-prone areas, in particular, in Grozny.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-69-00043, <https://rscf.ru/project/24-69-00043/>.

Keywords: monolithic construction, concrete composites, self-compacting concretes, construction technology, technogenic raw materials.

Мировые объёмы производства монолитного бетона ежегодно неуклонно растут [1–5]. Из различных аналитических источников известно, что в мире ежегодно производится до 1,5 миллиардов тонн цемента, и здесь на долю Китая приходится более 40 % продукции, и с использованием этого цемента производится до 10 миллиардов кубических метров бетона.

Монолитный бетон практически во всех индустриально развитых странах занимает лидирующее положение как по темпам расширения его применения, так и по фактическим объёмам приготовления. Об этом свиде-

№	Наименование объекта (в соответствии с ПСД)	Адрес (местоположение) объекта	Технико-экономические показатели			
			Общая площадь, м ²	Объём здания, м ³	Кол-во этажей	Кол-во зданий
1	26-этажный монолитный жилой дом со встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Шерипова, 68б	76728,32	359173	26 (–1)	2
2	25-этажный монолитный жилой дом со встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Шерипова, ул. Кан-Калика, ул. Сафонова, б/н	66400,00	311356	25	5
3	26-этажный монолитный жилой дом со встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Санкт-Петербургская / ул. Кавказская, б/н	44550,64	163891	26	3
4	Комплекс многоэтажных жилых зданий со встроенными нежилыми помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Ш. А. Митаева, б/н	84768,00	288063	31	3
5	Высотный жилой комплекс со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и 2-уровневым подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Ш. А. Митаева, 2а		365206	33	3
6	Многоквартирный жилой комплекс (блок 1 – «Ислам»), (блок 2 – «Иман»), (блок 3 – «Исхан»)	Шейх-Мансуровский район, пр. Исаева / ул. Орзаниева / ул. Идрисова, 96	82231,00	316468	32 (–2)	3
7	Многоквартирный жилой дом (свечка)	Ахматовский район, ул. Лорсанова, 8а	23107,37	80665,1	24 (–1)	1
8	Многоквартирный жилой комплекс	Ахматовский район, ул. Шерипова, 64 (МинТранс)	135729,00	495000	33 (–2)	6
9	Многоквартирный жилой дом	Шейх-Мансуровский район, ул. Идрисова, б/н	72669,62	250379	33 (–2)	1

Табл. 1. Строящиеся монолитные дома в г. Грозный в 2023 году

Tab. 1. Monolithic houses under construction in Grozny in 2023

тельствуется так называемый душевой показатель его применения (м³), который для разных стран имеет разные значения: Япония – 1,2; США – 0,75; Германия – 0,8; Израиль – 2,0; Франция – 0,5; Италия – 1,1; а в Турции и России соответственно – 0,35 и 0,15–0,2 [6].

По данным BusinesStat, производство общего объёма бетона в Российской Федерации за период с 2018 по 2022 гг. увеличилось на 46,9 % – с тридцати четырёх до пятидесяти миллионов кубических метров. Как известно, потребность в бетоне определяется количеством строящихся объектов промышленного и гражданского назначения, с учётом, что большинство реализуемых проектов ориентированы на применение бетонных композитов.

По статистическим данным, производство и реализация бетона каждый год идёт нарастающими темпами, без учёта пандемийного 2020 г. Конечно, кризис из-за последствий пандемии сказался на российском сегменте производства жилья, что спровоцировало рынок на уменьшение покупки бетона более 5 %. Наибольшее увеличение продаж бетона приходится на 2021 год: на 44,6 % больше, чем в 2020 году. Здесь основные причины – рост объёмов строительства из-за отмены ограничений, вызванных коронавирусом, и продолжение реализации льготной ипотеки. В 2022 году выдача кредитных обязательств по льготной ипотеке уменьшилась на 15,5 %, но продолжалось строительство ранее начатых объектов, вследствие чего спрос на бетон не только не снизился, но и увеличился на 0,7 % в сравнении с 2021 годом.

Самые свежие статистические данные о темпах производства бетона в России за период с апреля 2022-го по апрель 2023 года свидетельствуют об увеличении их объёмов на 18,6 % (суммарно 4,8 миллионов м³). Аналогичная

ситуация и в отрезке январь–апрель 2022 и 2023 годов: продолжается рост объёмов производства и количественно выражается в 19,4 % (суммарно рост до 14,5 миллионов м³).

Проведённый анализ по Чеченской Республике показывает, что здесь также, на фоне такой общемировой и российской статистики, наблюдается настоящий бум строительства зданий и сооружений с использованием монолитного бетона (таблица 1, рисунок 1). Показатель его применения органы статистической отчётности республики не приводят, но с полным основанием можно предположить, что для жилищного строительства он не уступает аналогичному показателю США, приведённому выше.

Чеченская Республика сегодня – это сотни строящихся объектов на всей территории республики.



Рис. 1. Многоэтажные монолитные дома по ул. А. Митаева в г. Грозный

Fig. 1. Multi-storey monolithic houses on the street A. Mitaeva in Grozny

Активное развитие многоэтажное монолитное домостроение в г. Грозный получило в результате влияния возросших требований к формированию современной городской среды, усиления тенденции повышения этажности городской застройки и полного отсутствия в республике предприятий полносборного крупнопанельного домостроения. Развитие многоэтажного монолитного домостроения нарастающими темпами идёт даже несмотря на повышенную сейсмическую опасность (площадки строительства, по данным микросейсморайонирования, 8–10 баллов).

Возведение всех домов (таблица 1) осуществляется с обеспечением требуемых архитектурно-планировочных параметров, с учётом условий эксплуатации зданий и наиболее рациональным подбором конструктивных и технологических решений. Выбор того или иного типа опалубки для возведения зданий осуществлён в зависимости от вышеуказанных их параметров, а подбор типа принимаемой опалубки производится в зависимости от конструктивных решений сопряжения стен и перекрытий, что определённо влияет на принимаемую методику расчёта здания и свидетельствует о том, что при проектировании этих домов в первую очередь учитывалась технологичность предлагаемых концептуальных решений.

Для возведения домов в основном применяется крупнощитовая опалубка (рисунок 2), с учётом того, что по своему технологическому назначению она весьма универсальна и может быть эффективно использована для зданий различной этажности и разнообразных объёмно-планировочных структур. Как известно, одним из преимуществ крупнощитовой опалубки является отсутствие сверхнормативного динамического влияния на свежешелую бетонную смесь в процессе последующего её твердения, с обеспечением тем самым блокирования деструктивных процессов разрыва бетонной смеси, наблюдаемых для других типов опалубки. Существенно улучшаются условия выдерживания бетона и приобретения требуемой прочности бетона для распалубки, включая варианты возведения конструкций в условиях неблаго-

приятных низких температур с использованием методов прогрева бетона через опалубку. В силу таких особенностей использование крупнощитовой опалубки позволяет проще обеспечить получение бездефектных лицевых поверхностей.

Одной из разновидностей переставной крупнощитовой опалубки является крупноблочная система, извлекаемая вверх.

Как известно, для устройства конструктивных элементов зданий и сооружений в настоящее время применяют лёгкие и тяжёлые бетоны классов от В7,5 до В40. Однако наряду с ними широкое применение получили другие, более эффективные их виды, начиная от высокопрочных самоуплотняющихся композитов и заканчивая бетонами специального назначения на современных композиционных вяжущих с улучшенными реологическими свойствами и физико-механическими показателями [6–9].

Самоуплотняющиеся бетоны (СУБ-бетоны), несмотря на сравнительно короткий период своего широкого использования, являются наиболее популярными и перспективными, так как обладают высокой подвижностью и удобоукладываемостью при сравнительно низких значениях водоудерживающего отношения (В/В). Они отличаются от традиционных бетонов не только рецептурой, но и технологией получения [10–12].

СУБ-бетоны отличаются тем, что, как правило, не требуют для своего уплотнения внешнего воздействия, так как способны самостоятельно, за счёт гравитационных сил, занимать наименьший объём, при этом обеспечивая освобождение от нежелательного в бетонной смеси вовлечённого воздуха и надёжное соблюдение требуемой толщины защитного слоя бетона в зонах возможного контакта арматуры и опалубки, причём, как уже доказано многочисленными исследованиями [13–16], СУБ-бетоны содержат не больше объёма остаточных пор в сравнении с виброуплотнённым бетоном.

Проектирование рецептуры СУБ-бетонов заметно отличается от технологии подбора состава обычного бетона (таблица 2). Во-первых, принципиально меняется подход к выбору соотношения и размеров применяемых заполнителей (приблизительно одинаковые объёмы содержания песка и щебня, достигаемые за счёт выравнивания их расходов путём обогащения гранулометрического состава как крупного, так и мелкого заполнителя). Второе – обязательно наличие в рецептуре наполнителей природного или техногенного происхождения (микрокремнезём, известняковый порошок, зола ТЭЦ и т. д.) и заметно увеличенный расход вяжущего.

И, наконец, третье отличие – вид и расход пластификатора (супер- и гиперпластификатор, расход которого в разы больше в сравнении с обычным тяжёлым бетоном) [17–22].

Повышенная стоимость СУБ-бетонов обоснована тем, что они используются при проектировании современных бетонов с высокими и сверхвысокими прочностными свойствами, хотя при этом она вынуждает проектировщиков и строителей к разработке новых способов и приёмов

№	Компоненты СУБ	Составы СУБ			
		Япония	ЕС	США	Индия
1	Вода, л	175	190	180	163
2	Цемент, кг	530	280	357	330
3	Наполнитель, кг	70 (зола)	245 (известняк)	119 (шлак гранулированный)	150 (зола высококальцевая)
4	Песок, кг	751	865	865	917
5	Щебень, кг	789	750	750	764
6	Расход суперпластификатора, кг	9	4,2	4,2	2,4

Табл. 2. Составы бетонных смесей для СУБ, применяемых в различных странах мира [9]
Tab. 2. Compositions of concrete mixtures for SCC used in different countries of the world [9]

снижения себестоимости получаемого продукта, которая позволит расширить область его применения.

Переход на СУБ-бетоны при возведении конструктивных элементов зданий в технологическом плане упрощается, на площадке бетонирования уменьшается шум, заметно снижаются затраты труда, повышаются темпы возведения здания. Таким образом, в целом себестоимость возведения здания не только не увеличивается, но и заметно уменьшается, несмотря на относительно высокую стоимость СУБ-бетонов.

Материалы и методы

Для определения составов СУБ-бетонов с различными физико-механическими и эксплуатационными свойствами с использованием местного техногенного и природного сырья были изучены возможные технологии их получения, а также свойства и рецептуры.

Химическими модификаторами были выбраны добавки поликарбоксилатной группы, производимые известным во всём мире производителем химических реагентов для получения бетонов с регулируемыми свойствами – предприятием Sika. Причём применялись только две их разновидности: Sika® VISCOCRETE® 5 NEW (подвижность до 90 минут и водоредуцирование до 40 %) и Sika® VISCOCRETE® 5-600 SK, отличающаяся от первой только показателем сохраняемости (не менее 240 минут). Обе добавки относятся к категории ускорителей твердения бетона.

Исследования проводились в два этапа. На первом проектировались составы СУБ-бетонов от В25 до В40 вклю-

чительно. Применялся алитовый цемент (С3S – 59 %) ЦЕМ I 42,5 Н с Чеченского цементного завода (НГ – 25 %, начало схватывания 2 ч 15 минут, окончание – 3 ч 40 минут). Применялся щебень фракции до 20 мм Белгатовского карьера. Мелким заполнителем служил кварцевый песок с модулем крупности равным 1,8 с Червленского карьера.

Микронаполнителями в рецептурах служили зола работы Грозненских ТЭЦ, а также известняковая мука Шатоевского (Ярыш-Мардынского) карьера с показателем помола 700–800 кв. м/кг. Для изучения физико-механических показателей проектируемого бетона были изготовлены серии образцов, которые испытывали в определённые промежутки времени согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»; ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

Результаты

На основании проведённых исследований разработаны наиболее рациональные составы самоуплотняющихся бетонов (таблица 3).

Результаты анализов показали, что с увеличением дозировки добавки Sika® VISCOCRETE® 5-600 SK в диапазоне 0,5–0,7 % от массы цемента предел прочности при сжатии СУБ-образцов возрастает примерно на 67 %, что подтверждает эффективность данного модификатора (рисунок 3).

Проектирование составов СУБ с комплексной модификацией бетонной системы позволяет пронаблюдать



Рис. 2. Строительство жилого дома в центре г. Грозный с использованием крупнощитовой опалубки

Fig. 2. Construction of a residential building in the center of Grozny using large panel formwork

№№ составов	Количество добавки SikaViscoCrete	В/Ц	Расход компонентов, кг/м³					$\rho_{\text{б}}$ кг/м³	Прочность ($R_{\text{сж}}$), сут., МПа			Расплав конуса (РК), см
			Ц	В	Щ	П	Н		7	14	28	
Класс бетона В25												
1	5-600 SK – 0,5 %	0,54	381	211	929	824	71	2328	25,0	31,0	34,1	64
2	5NEW – 2,0 %	0,55	379	204	929	839	69	2358	24,0	30,0	34,1	69
Класс бетона В35												
3	5-600 SK – 0,5 %	0,42	482	196	859	864	79	2439	43,5	46,0	49,3	68
4	5-600 SK – 0,6 %	0,45	439	196	919	849	79	2430	42,5	47,0	48,7	71
Класс бетона В40												
5	5NEW – 2,0 %	0,37	479	177	684	1040	79	2449	52,0	52,9	55,6	71
6	5-600 SK – 0,7 %	0,42	519	197	859	819	79	2469	49,8	55,1	57,2	64

Примечание: В/Ц, Ц, Щ, П, Н – соответственно: водоцементное соотношение, цемент, вода, щебень, песок, наполнитель.

Табл. 3. Составы и свойства СУБ (на местном сырье)
Tab. 3. Compositions and properties of SCC (based on local raw materials)

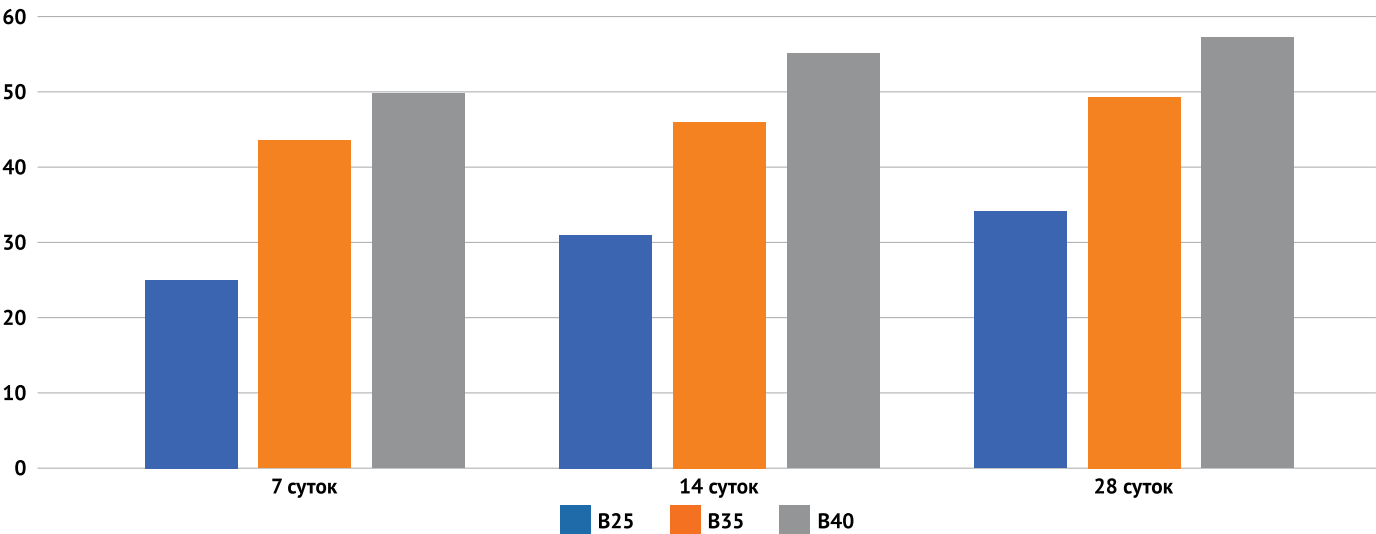


Рис. 3. Кинетика прироста прочности на сжатие СУБ с модификатором Sika® VISCOCRETE® 5-600 SK (0,5–0,7 % от массы цемента)
Fig. 3. Kinetics of increase in strength of SCC with modifier Sika® VISCOCRETE® 5-600 SK (0,5–0,7 % by weight of cement)

изменение физико-механических характеристик. Химический модификатор Sika® VISCOCRETE® 5NEW (2 % от массы цемента) и минеральный порошок известняковой муки с удельной поверхностью 780 м²/кг в комбинации с основным вяжущим и заполнителями способствуют повышению прочности СУБ в зависимости от рецептуры и продолжительности твердения бетона (рисунок 4).

Обсуждение
Таким образом, анализ полученных результатов проектирования СУБ-бетонов с применением сырьевых компонентов Чеченской Республики показал:

- все исследованные самоуплотняющиеся бетоны в начальный период твердения отличаются заметным ростом прочности: в отличие от обычных бетонов, его семисуточный показатель может достигать до 90 % от марочного значения, а показатель распыла конуса может составить 64–71 см;
- крупный заполнитель в виде щебня Белгатовского месторождения обеспечивает получение бетонов

невысоких классов и марок (не более В40 (М500)), при их использовании в бетонах выше В40 наблюдается разрушение по щебню, так как он обладает низкой собственной прочностью вследствие наличия в нём в большом объёме известняка и вследствие этого невысокого показателя дробимости (М600–М800);

- мелкий заполнитель – Червленский песок – также позволяет получать бетоны невысоких классов и марок (не более В40 (М500)). Применять для получения бетонов и СУБ-бетонов классов В45 (М600) – В50 (М700) и т. д. можно, если добиться показателя модуля крупности песка на уровне $M_k = 2,6–2,8$ с обеспечением приблизительного соотношения – 4:1 (4 – доля крупного песка и 1 – доля мелкого). Применение мелких песков без увеличения показателя M_k при проектировании рецептур для высокопрочных бетонов приводит к повышению расхода цемента для получения качественной бетонной

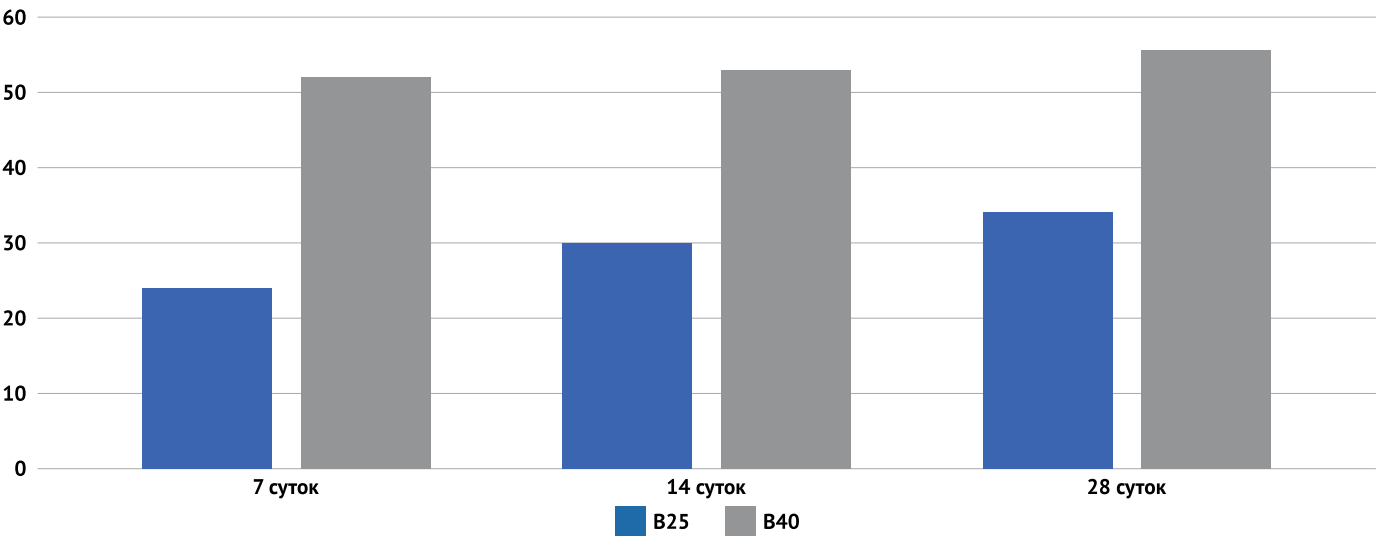


Рис. 4. Кинетика прироста прочности на сжатие СУБ с модификатором Sika® VISCOCRETE® 5NEW (2 % от массы цемента)
Fig. 4. Kinetics of increase in strength of SCC with modifier Sika® VISCOCRETE® 5NEW (2% by weight of cement)

№№ составов	Расход SikaVisco Crete	В/Ц	Расход бетона, кг/ м³							Плотность бетона – $\rho_{\text{б}}$, кг/м³		Прочность на сжатие – $R_{\text{сж}}$ в возрасте, сут., МПа	Распływ конуса – РК, см
			Ц	В	Щ	Щ	П	МКН	З		7		
Бетон класса В60													
1*	5NEW – 1,9 %	0,35	445	149	619	270	799	84	–	2366	62,6	85,0	70
Бетон класса В80													
2	5NEW – 1,9 %	0,33	495	160	619	239	766	84	–	2488	88,8	101,0	76
3*	5NEW – 1,9 %	0,32	495	152	619	239	766	84	–	2399	71,0	94,9	73
Бетон класса В100													
4	5NEW – 2,2 %	0,289	895	258	–	–	869	179	179	2239	94,7	113,0	84
5*	5NEW – 2,2 %	0,27	895	239	–	–	870	179	179	2239	92,0	110,0	79

Примечание: со звездочками указаны составы, приготовленные с использованием ЦЕМ I 42,5 Н Чир-Юртовского цементного завода.

Табл. 4. Данные по подбору составов и определению основных свойств СУБ-бетонов с использованием привозных заполнителей и наполнителей

Tab. 4. Data on the selection of compositions and determination of the main properties of SUB-concretes using imported aggregates and fillers

смеси. При этом ухудшаются подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси, что объясняется изменением в поведении кривой рассеивания вследствие нарушения требуемой непрерывности зернового состава песка;

- использование в составах вяжущего с Чир-Юртовского цемзавода позволяет получать самоуплотняющиеся бетоны классов В60 включительно, но их реологические свойства при этом также не соответствуют предъявляемым требованиям;
- отходы золы работы Грозненских ТЭЦ в качестве минеральных наполнителей целесообразно применять для бетонов класса В40 и меньше, для получения бетонов более высокой прочности её применение ограничено в связи с уменьшением водоудерживающей способности и возможными рисками её расслоения;
- применение наполнителя из известняковой муки также связано с ограниченной эффективностью (для СУБ-бетонов классов до В50), имеет те же недостатки, что применение золы, но здесь ощутимым становится ещё и невысокая относительная прочность.

Следующий этап проводимых исследований был нацелен на разработку СУБ-бетонов высоких классов (В80 и выше) с существенно улучшенными показателями по реологии и прочности, в связи с чем использовались высококачественные привозные материалы:

- СЕМ I 42,5 Н тульского производства с НГ= 27 %, 2 ч 20 мин и 3 ч 30 мин – начало и окончание схватывания соответственно, имеющий минералогический состав: алит (C_3S – 62 %); белит (C_2S – 18 %); алюминат кальция (C_3A – 5 %); алюмоферрит кальция (C_4AF – 15 %);
- крупный заполнитель в виде гранитного щебня с карьера «ПавловскГранит» фракций 5–20 мм и с карьера ООО «Прогресс» фракций 2,5–10 мм;
- мелкий заполнитель в виде песка с модулем круп-

ности $M_k = 2,8$ с Алагирских карьеров Республики Северная Осетия – Алания (таблица 4);

- наполнитель – микрокремнезём с $S_{\text{уд}} = 1280 \text{ м}^2/\text{кг}$ с Новокузнецкого комбината;
- в качестве минерального порошка использовались неактивированный порошок Калужского производства МП-1 и зола-уноса с $S_{\text{уд}} = 980 \text{ м}^2/\text{кг}$ Невинномысской ГРЭС.

В качестве химической добавки использовалась, как и в предыдущих исследованиях, Sika® VISCOCRETE® 5 NEW.

Проведёнными исследованиями доказано, что применение привозных материалов обеспечивает получение СУБ-бетонов с повышенными прочностными показателями. Составы 4 и 5 (таблица 4) – без щебня, но с применением в рецептуре сверхтонких наполнителей – обеспечивают класс В100, т. е. относятся к так называемым порошковым бетонам. Необходимо отметить, что использование цемента СЕМ I 42,5 Н с заводов различных регионов (г. Тула и г. Грозный) на конечные результаты приобретаемой прочности влияет незначительно. Для понижения расхода цемента и закрепления полученных результатов по реологии и прочности необходимо в дальнейшем провести ещё ряд дополнительных исследований.

Заключение

Таким образом, проведён анализ современного состояния возведения монолитных жилых домов в г. Грозный с указанием основного вида применяемой опалубки.

Предложена линейка самоуплотняющихся бетонов на местном природном и техногенном сырье республики (бетоны класса В40 и меньше) и СУБ-бетоны на привозных высококачественных заполнителях и цементах класса по прочности на сжатие, включая и В100.

Проведены исследования по изучению реологии и прочности СУБ-бетонов, которые предложены для возведения конструкций высотных монолитных зданий в сейсмоопасных районах, на примере г. Грозный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамян, С. Г. Современные опалубочные системы [электронное издание] : учебное пособие / С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. – URL: https://vgasu.ru/attachments/oi_abramyan-03.pdf (дата обращения: 07.11.2023).
2. Теоретические основы совместимости многокомпонентных наполненных вяжущих систем / М. Ш. Саламанова, С.-А. Ю. Муртазаев, Д. К.-С. Батаев, А. Х. Аласханов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47, № 1. – С. 165–173.
3. Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов / С.-А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, А. Х. Аслаханов, Т. С.-А. Муртазаев // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С. 55–62. – URL: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-55-62>.
4. Salamanova, M. Sh. High-Strength Modified Concrete for Monolithic Construction / M. Sh. Salamanova, D. A. Medjidov, A. S. Uspanova // Lecture Notes in Civil Engineering / Proceedings of FORM 2022. – 2022. – Vol. 282. – Pp. 45–53. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-2_5.
5. Муртазаев, С.-А. Ю. Способы модифицирования бетона для развития монолитного строительства / С.-А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, З. Х. Исмаилова // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Строительство и архитектура: теория и практика сейсмической безопасности» / Сборник научных статей по итогам деятельности международной научно-практической конференции, посвящённой памяти д.т.н., профессора А. Д. Абакарова. – Махачкала, 2023. – С. 217–224.
6. Баженов, Ю. М. Бетон: технологии будущего / Ю. М. Баженов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2009. – № 8. – С. 29–32.
7. DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton : SVB-Richtlinie : MBL Nr. 28 vom 16.07.2007.
8. Spezialbetone / B. Hillemeier, G. Buchenau, R. Herr, R. Huttli, St. Klubendorf, K. Schubert // Betonkalender. – 2006. – Nr. 1. – С. 534–549.
9. Каприелов, С. С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях / С. С. Каприелов // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 9–13.
10. Монолитное строительство на территории России: история внедрения и перспективы развития / НПО «АНТАРЕС трейд» : [сайт]. – Санкт-Петербург, 2015. – URL: http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/.

REFERENCES

1. Abramyan, S. G. Sovremennyye opalubochnye sistemy : uchebnoye posobie [Modern shuttering systems : textbook] [electronic edition] / S. G. Abrahamyan, A. M. Akhmedov ; M-vo obrazovaniya i nauki Ros.Federatsii, Volgogr. gos. arkhitekt.-stroit. un-t [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. – Volgograd : VolgGASU, 2015. – URL: https://vgasu.ru/attachments/oi_abramyan-03.pdf (date of application: 07.11.2023).
2. Teoreticheskie osnovy sovmestimosti mnogokomponentnykh napolnennykh vyazhushchikh sistem [Theoretical foundations of compatibility of multicomponent filled binder systems] / M. S. Salamanova, S. A. Y. Murtazaev, D. K. Bataev, A. H. Alaskhanov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. [Bulletin of

territorii_rossii/.

11. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
12. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Ю. М. Баженов, Д. К.-С. Батаев, С.-А. Ю. Муртазаев [и др.]. – Грозный : МУП Типография, 2011. – 342 с.
13. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья / С.-А. Ю. Муртазаев, Д. К.-С. Батаев, З. Х. Исмаилова [и др.]. – Москва : Комтех-принт, 2009. – 142 с.
14. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Воронин [и др.]. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 350 с.
15. Муртазаев, С.-А. Ю. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии / С.-А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, М. Р. Нахаев. – DOI <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77> // Строительные материалы. – 2020. – № 1-2. – С. 73–77.
16. Лесовик, В. С. Строительные композиты на основе отсевов дробления бетонного лома и горных пород / В. С. Лесовик, С.-А. Ю. Муртазаев, М. С. Сайдумов. – Грозный : МУП Типография, 2012. – 192 с.
17. Федосов, Н. Н. Новые строительные материалы / Н. Н. Федосов, Е. С. Клиничук, Т. Л. Вербицкая // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 67–68.
18. Кудрявцев, А. П. Разработка в РААСН новых высокопрочных и долговечных строительных композиционных материалов А. П. Кудрявцев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 5. – С. 14–15.
19. Батраков, В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – Москва, 2001. – С. 184–197.
20. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete / S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Mintsae, M. S. Saydumov, S. A. Aliiev // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, No. 4. – Pp. 32–44.
21. Professor M. D. Kargopolov's matrix formula-an effective tool to find the cost of construction products / T. V. Kuladzh, S. I. Murtazaev, K. E. Taimaskhanov, S. A. Aliiev, M. S. Mintsae // Indian Journal of Science and Technology. – 2015 – Vol. 8, Iss. 29. – Pp. 13–18.
22. Комохов, П. Г. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства / П. Г. Комохов, Н. Н. Шангина // Цемент. – 2002. – № 1-2. – С. 43–46.

the Dagestan State Technical University. Technical science]. – 2020. – Vol. 47, No. 1. – Pp. 165–173.

3. Perspektivy ispol'zovaniya othodov tsementnoj promyshlennosti dlya polucheniya sovremennykh betonnykh kompozitov [Prospects for using waste from the cement industry to produce modern concrete composites] / S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Salamanova, A. H. Aslakhonov, T. S. A. Murtazaev // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2021. – No. 5. – Pp. 55–62. – URL: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-55-62>.
4. Salamanova, M. Sh. High-Strength Modified Concrete for Monolithic Construction / M. Sh. Salamanova, D. A. Medjidov, A. S. Uspanova // Lecture Notes in Civil Engineering / Proceedings of FORM 2022. – 2022. – Vol. 282. – Pp. 45–53. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-2_5.
5. Murtazaev, S.-A. Yu. Sposoby modifitsirovaniya betona dlya razvitiya monolitnogo stroitel'stva [Methods for modifying

concrete for the development of monolithic construction] / S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Salamanova, Z. H. Ismailova // Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem «Stroitel'stvo i arkhitektura: teoriya i praktika seismicheskoy bezopasnosti» [All-Russian scientific and practical conference with international participation «Construction and architecture: theory and practice of seismic safety»] / Sbornik nauchnykh statej po itogam deyatelnosti mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashhyonnoy pamyati d.t.n., professora A. D. Abakarova [Collection of scientific articles on the results of the international scientific and practical conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor A. D. Abakarov]. – Makhachkala, 2023. – Pp. 217–224.

6. Bazhenov, Yu. M. Beton: tekhnologii buduschego [Concrete: technologies of the future] / Yu. M. Bazhenov // Stroitel'stvo: novye tekhnologii – novoe oborudovanie [Construction: new technologies – new equipment]. – 2009. – No. 8. – Pp. 29–32.
7. DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton : SVB-Richtlinie : MBL Nr. 28 vom 16.07.2007.
8. Spezialbetone / B. Hillemeier, G. Buchenau, R. Herr, R. Huttli, St. Klubendorf, K. Schubert // Betonkalender. – 2006. – Nr. 1. – С. 534–549.
9. Kapriellov, S. S. Modifitsirovannyye vysokopochnyye betony klassov V80 i V90 v monolitnykh konstruktivnykh [Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures] / S. S. Kapriellov // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2008. – No. 3. – Pp. 9–13.
10. Monolitnoe stroitel'stvo na territorii Rossii: istoriya vnedreniya i perspektivy razvitiya [Monolithic construction in Russia: history of implementation and development prospects] / NGO «ANTARES trade» : [website]. – St. Petersburg, 2015. – URL: http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/.
11. Bazhenov, Yu. M. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony [Modified high-quality concretes] / Yu. M. Bazhenov, B. C. Demyanova, V. I. Kalashnikov. – Moscow : Izdatel'stvo Asotsiatsii stroitel'nykh vuzov [Publishing House of the Association of Construction Universities]. – 2006. – 368 p.
12. Bazhenov, Yu. M. Melkozernistyye betony iz vtorichnogo syr'ya dlya remonta i vosstanovleniya povrezhdennykh zdaniy i sooruzhenij [Fine-grained concrete from recycled materials for repair and restoration of damaged buildings and structures.] / Yu. M. Bazhenov, D. K.-S. Bataev, S.-A. Y. Murtazaev [et al.]. – Groznyj, MUP Tipografiya, 2011. – 342 p.
13. Melkozernistyye betony na osnove napolnitelej iz vtorichnogo syr'ya [Fine-grained concrete based on fillers from recycled

materials] / S.-A. Y. Murtazaev, D. K.-S. Bataev, Z. H. Ismailova [et al.]. – Moscow, Komtekhn-print, 2009. – 142 p.

14. Tekhnologiya betona, stroitel'nykh izdelij i konstruktсий [Technology of concrete, building products and structures] / Yu. M. Bazhenov, L. A. Alimov, V. V. Voronin [et al.]. – Moscow : Izdatel'stvo Associatsii stroitel'nykh vuzov [Publishing House Association of Construction Universities], 2008. – 350 p.
15. Murtazaev, S.-A. Yu. Vozmozhnyye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoj industrii [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry] / S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Salamanova, M. R. Nakhaev. – DOI <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77> // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2020. – No. 1-2. – Pp. 73–77.
16. Lesovik, B. C. Stroitel'nye kompozity na osnove otsefov drobleniya betonnogo loma i gornykh porod [Construction composites based on screenings from crushing concrete scrap and rocks] / B. C. Lesovik, S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Saidumov. – Groznyj, MUP Tipografiya, 2012. – 192 p.
17. Fedosov, N. N. Novyye stroitel'nye materialy [New construction materials] / N. N. Fedosov, E. S. Klinchuk, T. L. Verbitskaya // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2010. – No. 3. – Pp. 67–68.
18. Kudryavtsev, A. P. Razrabotka v RAASN novykh vysokopochnykh i dolgovechnykh stroitel'nykh kompozitsionnykh materialov [Development at RAASN of new high-strength and durable building composite materials] / A. P. Kudryavtsev // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka [Building materials, equipment, technologies of the XXI century]. – 2006. – No. 5. – Pp. 14–15.
19. Batrakov, V. G. Modifikatory betona novyye vozmozhnosti [Concrete modifiers new opportunities] / V. G. Batrakov // Materialy I Vserossijskoj konferentsii po betonu i zhelezobetonu [Materials of the I All-Russian Conference on concrete and reinforced concrete]. – Moscow, 2001. – Pp. 184–197.
20. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete / S.-A. Y. Murtazaev, M. S. Mintsae, M. S. Saydumov, S. A. Aliiev // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, No. 4. – Pp. 32–44.
21. Professor M. D. Kargopolov's matrix formula-an effective tool to find the cost of construction products / T. V. Kuladzh, S. I. Murtazaev, K. E. Taimaskhanov, S. A. Aliiev, M. S. Mintsae // Indian Journal of Science and Technology. – 2015 – Vol. 8, Iss. 29. – Pp. 13–18.
22. Komohov, P. G. Modifitsirovannyj tsementnyj beton, ego struktura i svoystva [Modified cement concrete, its structure and properties] / P. G. Komokhov, N. N. Shangina // TSement [Cement]. – 2002. – No. 1-2. – Pp. 43–46.



**Научно-исследовательский институт
проектирования, технологии и
экспертизы строительства**



- ✓ **Технический заказчик**
- ✓ **Строительный контроль**
- ✓ **Проектирование**
- ✓ **Лабораторное сопровождение**
- ✓ **Обследование зданий и сооружений**
- ✓ **Геодезическое сопровождение и мониторинг**
- ✓ **Судебно-техническая экспертиза**

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 подрисуночными подписями, номерами рисунков и необходимыми пояснениями к ним; шрифт – Times New Roman, 12 пт., межстрочный интервал – полуторный.
9. Рисунки с подрисуночными 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.



8 (495) 162-64-42

✉ **mail@niexp.com** 🌐 **www.niexp.com**

**Научно-технический журнал
«Строительное производство» издаётся с 2010 года
под следующими наименованиями:**

с 2010 года – «Техническое регулирование. Строительство.
Проектирование. Изыскания»

с 2012 года – «Технология и организация строительного производства»

с 2019 года – «Строительное производство»

Издатель: ООО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР»

Учредитель Ефимов В. В.

Главный редактор Лapidус 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 1 (49) 2024
Дата публикации: 19 апреля 2024 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, Суцёвский Вал,
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405
сайт издательства: www.mosnec.com

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2024