

ISSN 2658-5340 (Print)



СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2010 г.

**CONSTRUCTION
PRODUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**Nº2
2023**

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

Журнал включен в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ ОБЩЕГО ИМУЩЕСТВА В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Лapidус А. А., Фатуллаев Р. С., Бидов Т. Х., Николенко Д. М. 3

КРИТЕРИИ И КАТЕГОРИИ ПОТРЕБНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ
Экба С. И., Кормухин С. И. 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОЩИТОВОЙ ОПАЛУБКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ОПАЛУБОЧНОГО ПРОФИЛЯ
Бунт А. М. 24

ОЦЕНКА ПРЕПЯТСТВИЙ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ СОМАЛИ
Коротеев Д. Д., Ботан Х. А. 29

ЦИФРОВАЯ ВЕДОМОСТЬ ОБЪЕМОВ РАБОТ – ИНСТРУМЕНТ ПРОВЕРКИ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
Жаров Я. В., Шабалин М. С. 33

ВЫБОР МЕТОДА МОНТАЖА И КОМПЛЕКТА МАШИН ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЗАДАННЫЙ СРОК
Познахирко Т. Ю., Васильев И. В. 38

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЕМОНТА ЗДАНИЙ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Коротеев Д. Д., Ибрагим Р. 43

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОНОЛИТНО-КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ВОЙНОЙ В СИРИИ
Олейник П. П., Мааруф А. 47

ДИАГНОСТИКА УНИКАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ – РАДИОБАШНИ ВЫСОТОЙ 100 МЕТРОВ
Кунин Ю. С., Потапова Т. В., Музыченко С. Г. 54

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА КАК ЧАСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
Сафарян Г. Б. 62

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ
Казаков Ю. Н. 66

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
Лapidус А. А., Ермаков И. В., Боровкова А. Е., Семенов Д. В. 71

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПОЛНЕНИЯ ЗДАНИЯ НА ЭТАПАХ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
Мохов А. И., Абросимова И. А. 75

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ОТБОРА И ЭКСПЕРТНОЙ ПРОВЕРКИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
Адамцевич Л. А., Пиляй А. И. 80

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ И СТОХАСТИЧЕСКИЕ РИСКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
Сафарян Г. Б. 85

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
Воронков И. Е., Кожевников Д. Г., Островский Р. В., Гамов Б. А. 89

ОЦЕНКА УРОВНЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Морозенко А. А., Шепелев А. Л., Швеиц Н. С. 94



Лapidус
Азарий Абрамович
ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АБРАМОВ И. Л. – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
АШИХМИН О. В. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
АШРАПОВ А. Х. – канд. техн. наук, и. о. зав. кафедрой «Информационные системы и технологии в строительстве», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
ГУРЬЕВА В. А. – д-р техн. наук, доцент, ГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
ЗЕЛЕНЦОВ Л. Б. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
ИБРАГИМОВ Р. А. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
ИГНАТЬЕВ А. А. – канд. техн. наук, доцент, ФАУ «РОСДОРНИИ», начальник Управления развития отраслевого образования
КАЗАКОВ Д. А. – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
КОНДРАТЬЕВ В. А. – канд. техн. наук, доцент, Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт им. Мирзо Улугбека, Узбекистан
КОРОБКОВ С. В. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
КРЮКОВ К. М. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
КУЗИНА О. Н. – канд. техн. наук, доцент, «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
КУЗЬМИНА Т. К. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
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 «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»
ТАМРАЗЯН А. Г. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ТЕР-МАРТИРОСЯН А. З. – д-р техн. наук, профессор кафедры «Механика грунтов и геотехника», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ФЕДОСОВ С. В. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ХАВИН Д. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
ЦОПА Н. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Академия строительства и архитектуры
ЭКЛЕР Н. А. – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова»
ЮДИНА А. Ф. – д-р техн. наук, профессор ГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАКСИМАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ Рыбакова А. О.	99
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ Адамцевич Л. А., Кац В. А.	102
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Каган П. Б., Бабушкин Е. С..	106
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ Мищенко В. Я., Семенов А. Л., Титова Л. Н, Лобода Д. В..	111
АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Болотова А. С., Денисов И. А..	114
МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРОЕКТА ПРИ КРУПНОБЛОЧНОМ ВОЗВЕДЕНИИ АЭС Морозенко А. А., Кабанов А. В. Шашков А. А..	119
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ Жадановский Б. В., Базанов В. Е.	126
ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА Гневанов М. В..	133
ДЕФЕКТЫ ШТУКАТУРНОГО СЛОЯ ФАСАДА ЗДАНИЯ БОЛЬНИЦЫ СВ. ГЕОРГИЯ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ Юдина А. Ф.	137
ТОРКРЕТИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ, СОЗДАВАЕМОМ ПОСТОЯННЫМ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ Мищенко В. Я., Писаревский А. Ю., Перцев Ю. А., Лобода Д. В..	142
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРЯДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ Синенко С. А., Савин И. М.	146
ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА Олейник П. П., Бушуев Н. И.	150
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Болотова А. С., Бреева М. Д., Полякова П. Г.	156
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ОКНА И ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕКРЫТИЯ В ЗАДАЧЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА Кац В. А.	161
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ И СОГЛАСОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЕХОН) Воронков И. Е., Алабин А. В., Егорова Д. В., Васильева Д. А.	165

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_3

Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации

Analysis of the Cost of Completed Work on Capital Repairs of Common Property in Apartment Buildings in the Constituent Entities of the Russian Federation

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 Azarij Abramovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «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

Фатуллаев Рустам Сейфуллаевич
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, FatullaevRS@mgsu.ru

Fatullaev Rustam Seifullayevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, FatullaevRS@mgsu.ru

Бидов Тембот Хасанбиевич
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, BidovTH@mgsu.ru

Bidov Tembot Hasanbievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, BidovTH@mgsu.ru

Николенко Дмитрий Михайлович
Студент, кафедра «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, nikolenko_199@mail.ru

Nikolenko Dmitry Mikhailovich
Student, Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, nikolenko_199@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности системы ценообразования в рамках капитального ремонта многоквартирных жилых домов. На основании комплексного анализа данных, полученных из общедоступных источников, с целью достижения поставленных целей исследования была проведена оптимизация полученных данных. Для дальнейшей работы по исследованию разработана информационная система с заданным алгоритмом обработки полученных данных. В связи с неоднородностью полученных данных ввиду различной укрупненности работ, различных показателей единиц измерения, а также объема выполненных работ была выделена унифицированная единица измерения «рубли на м² общей площади многоквартирного жилого дома». Для отбора данных и их устойчи-

вых связей в ряду были выполнены расчеты абсолютных и относительных показателей вариации. Результаты проведенного исследования показали, что коэффициент вариации средних приведенных стоимостей работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов в рамках совокупности субъектов Российской Федерации в равной степени однороден и неоднороден для различных видов работ. Выявлено, что у определенных видов работ стоимостные показатели имеют устойчивый средний показатель, в то время как у других выделить данный показатель невозможно.

Ключевые слова: капитальный ремонт многоквартирных жилых домов, стоимость капитального ремонта, укрупненные сметные нормы.

Abstract. The article considers the specifics of the pricing system in the framework of capital repair of apartment buildings. Based on a comprehensive analysis of the data obtained from publicly available sources, in order to achieve the objectives of the study, the optimization of the data obtained was carried out. For further work on the study, an information system with a

given algorithm for processing the data obtained has been developed. Due to the heterogeneity of the received data in view of different aggregation of works, different indicators of units of measurement, as well as the volume of work performed, a unified unit of measurement «rubles per m² of the total area of an apartment building» was allocated. In order to select the data and

their stable relations in the series, calculations of absolute and relative indicators of variation were performed. The results of the study showed that the coefficient of variation of average reduced values of works on capital repair of apartment buildings within the population of subjects of the Russian Federation is equally homogeneous and heterogeneous for different types of works. It

was found that for certain types of works, the cost indicators have a stable average, while for others it is impossible to isolate this indicator.

Keywords: capital repairs of multi-apartment buildings, cost of capital repairs, and costing standards.

содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства.

В качестве исходных данных для проведения анализа были использованы данные из открытых источников, которые, в свою очередь, содержат следующую информацию о многоквартирных домах: адрес, общие сведения о домах, сведения о формировании фонда капитального ремонта, сведения о финансировании капитального ремонта, дату обновления информации, стоимость работ (услуг) в соответствии с заключенными договорами, объемы работ (услуг) по капитальному ремонту в соответствии с единицами измерения.

Открытые данные о проведенных и планируемых капитальных ремонтах содержат достаточно объективную информацию о видах работ, проводимых в рамках капитального ремонта, но в то же время, в зависимости от субъекта РФ, наблюдается неоднородность предоставляемой в данных источниках информации.

Для достижения целей, поставленных перед исследователями, была произведена оптимизация массива исходных данных. Оптимизация исходных данных производилась на основе принципа выборки необходимых и достаточных данных для достижения поставленной цели без потери качества [4]. В результате оптимизации в качестве исходных данных, подлежащих обработке с помощью предложенной информационной системы, были выбраны следующие данные:

1. Субъект РФ;
2. Адрес;
3. Вид работ;
4. Год проведения работ в соответствии с краткосрочным планом реализации региональной программы;
5. Стоимость работы (услуги), принятая по актам;
6. Единица измерения;
7. Объем работ;
8. Этажность;
9. Тип кровельного покрытия;
10. Материал конструкций стен;
11. Общая площадь многоквартирного жилого дома.

Стоит отметить, что неоднородность исходных данных по различным субъектам РФ обусловлена разной степенью укрупненности видов работ и единиц измерения. Так, для отдельных регионов в качестве видов работ были использованы работы, описанные в п. 166 Жилищного кодекса Российской Федерации, а для других укрупнение производилось в произвольной форме.

Учитывая тот факт, что исходные данные по различным субъектам РФ содержат информацию о видах работ с различной степенью укрупненности, используют различные единицы измерения для отображения объема выполненных работ по капитальному ремонту, перед исследователями стояла задача привести расчетные показатели стоимости работ по капитальному ремонту к унифицированным единицам измерения.

В качестве унифицированной единицы измерения для работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов было принято решение использовать «рубля на м² общей площади многоквартирного жилого дома», что, в свою очередь, позволит максимально использовать данные, полученные из открытых источников, а также сформировать укрупненные базовые стоимости работ по капитальному ремонту [5].

Для приведения стоимостных показателей, содержащихся в исходных данных, к унифицированной единице измерения необходимо для каждого многоквартирного дома произвести расчет по формуле:

$$C_o = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{S_{общ}}, \quad (1)$$

где C_o – стоимость капитального ремонта на м² общей площади многоквартирного жилого дома; c_i – стоимость i -го вида работ по капитальному ремонту в многоквартирном жилом доме; $S_{общ}$ – общая площадь многоквартирного жилого дома.

На этапе подготовки исходных данных были заложены показатели, распределяющие большой массив данных о многоквартирных жилых домах на несколько типов по конструктивным особенностям. К данным показателям относятся: этажность, тип кровельного покрытия, материал конструкций стен [6].

Разделение многоквартирных жилых домов на типы по конструктивным особенностям позволяет наиболее объективно оценить стоимость проводимых работ, так как учитывает необходимость принятия различных организационно-технологических решений при производстве однотипных видов работ для конструкций, относящихся к разным группам [7].

Для оценки устойчивых взаимосвязей между получившимися показателями стоимостей работ на м² общей площади многоквартирного жилого дома в различных субъектах РФ были произведены расчеты абсолютных и относительных показателей вариации [8]. Числовые характеристики вариационных рядов были получены в результате обработки разработанной в рамках исследования информационной системы. Для расчетов достаточно приведенных ранее сводных характеристик вариационных рядов – средних показателей стоимости по виду работ [9].

В рамках исследования были определены следующие параметры:

- Выборочное среднее (среднее арифметическое) характеризует центр тенденции распределения:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (2)$$

где x_i – значения изучаемого признака (варианты); n – объем статистической совокупности.

- Медиана (Me) и Мода (Mo) – меры центральной тенденции.
- Размах вариации. Применяется при сравнениях в выборке с большим количеством данных, что позволяет быстро оценить ее [10]:

$$R = x_{max} - x_{min}. \quad (3)$$

- Дисперсия – показывает отклонение от среднего значения:

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}. \quad (4)$$

- Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (5)$$

- Коэффициент вариации. При значениях коэффициента вариации более 30 % считается, что ряд не однороден:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (6)$$

- Среднее линейное отклонение:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{f}, \quad (7)$$

где f – выборка исследуемых параметров.

- Относительное линейное отклонение:

$$Kd = \frac{d}{\bar{x}}. \quad (8)$$

- Коэффициент осцилляции:

$$Kr = \frac{R}{\bar{x}}. \quad (9)$$

- Коэффициент асимметрии и эксцесс – характеристики формы:

$$A = M3/s3. \quad (10)$$

Асимметрия может быть:

- равная нулю – распределение симметрично;
- правосторонняя: $xB > Me > Mo$ – преимущество более высоких значений;
- левосторонняя: $xB < Me < Mo$ – преимущество более низких значений.

При значениях асимметрии:

- до 0,25 – асимметрия незначительная;
- от 0,25 до 0,5 – умеренная;
- свыше 0,5 – существенная [11].

Чаще всего эксцесс оценивается с помощью показателя:

$$Ex = \frac{M_4}{S^4} - 3. \quad (11)$$

При положительном эксцессе вариационный ряд имеет более крутой уклон, что характеризует скопление в центральной части, т. е. значения близки к среднему значению [12]. При отрицательном эксцессе нет ярко выраженной концентрации значений в одном месте [13].

Для определения значимости эксцесса вычислим Ex/s_{Ex} , где s_{Ex} – средняя квадратическая ошибка коэффициента эксцесса:

$$S_{Ex} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}. \quad (12)$$

При $Ex/s_{Ex} > 3$ отклонение существенное от нормального распределения.

В результате расчета представленных выше параметров в уровнях цен на 2021 год для средних приведенных стоимостей работ по капитальному ремонту в рамках отдельных субъектов РФ, полученных в результате обработки сформированной в рамках исследования информационной системы, были получены результаты на трех качественных уровнях:

- высокая (+1);
- средняя (0);

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²			
	Все типы	Рулонная плоская	Асбестоцементные листы, скатная	Металлические листы, скатная
1–2	5337,83 (0)	3797,41 (+1)	5341,60 (0)	4857,91 (0)
3–4	3265,17 (+1)	3133,67 (0)	3244,96 (0)	3579,609 (0)
5	1486,12 (0)	1685,46 (0)	1778,13 (–1)	2469,30 (–1)
6–8	1353,07 (0)	1353,07 (0)	Недостаточно данных	Недостаточно данных
9	1370,09	1370,09	Недостаточно данных	Недостаточно данных
10 и более	1077,64	1077,64	Недостаточно данных	Недостаточно данных

Табл. 1. Ремонт крыши
Tab. 1. Roof repairs

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²			
	Все типы	Деревянные	Бетонные	Кирпичные
1–2	4672,93 (0)	4131,51 (0)	3246,41 (+1)	3935,17 (0)
3–4	3648,25 (–1)	Недостаточно данных	3114,88 (+1)	3020,87 (–1)
5	2530,78 (0)	Недостаточно данных	2862,14 (0)	1707,13 (0)
6–8	1899,14 (–1)	Недостаточно данных	2005,02 (–1)	1669,92 (+1)
9	2179,88 (0)	Недостаточно данных	2532,96 (0)	1636,38 (0)
10 и более	2496,91 (+1)	Недостаточно данных	2496,91 (+1)	Недостаточно данных

Табл. 2. Ремонт фасада
Tab. 2. Facade repairs

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²				
	Водоснабжение	Водоотведение	Теплоснабжение	Электроснабжение	Газоснабжение
1–2	720,81 (0)	590,72 (0)	1527,32 (0)	781,80 (0)	1546,73 (–1)
3–4	619,73 (–1)	383,70 (0)	1487,31 (0)	703,29 (0)	1060,72 (–1)
5	415,08 (0)	275,94 (0)	1350,25 (0)	597,17 (0)	720,08 (–1)
6–8	703,54 (0)	602,21 (–1)	1547,49 (0)	805,76 (0)	3917,31 (–1)
9	351,84 (0)	315,32 (–1)	1305,48 (–1)	643,89 (0)	887,08 (–1)
10 и более	527,79 (–1)	248,63 (–1)	736,78 (+1)	364,87 (0)	215,50 (0)

Табл. 3. Ремонт внутридомовых инженерных систем электро-, тепло-, газо-, водоснабжения, водоотведения
Tab. 3. Repair of internal engineering systems for electricity, heat, gas, water and wastewater

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²
	Все типы
1–2	1811,63 (–1)
3–4	1199,93 (–1)
5	899,48 (–1)
6–8	442,34 (–1)
9	834,50 (–1)
10 и более	240,42 (–1)

Табл. 4. Ремонт подвальных помещений
Tab. 4. Basement repairs

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²
	Все тиипы
1–2	4888,96 (–1)
3–4	1671,39 (0)
5	2981,65 (–1)
6–8	1557,45 (0)
9	3560,09 (–1)
10 и более	7935,59 (–1)

Табл. 5. Ремонт фундамента многоквартирного дома
Tab. 5. Renovating the foundations of an apartment building

- отсутствует (–1).

Результаты

Полученные в результате анализа устойчивые взаимосвязи между показателями средней приведенной стоимости работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов представлены в Таблицах 1–6.

Этажность \ Тип	Приведенная стоимость работ на единицу общей площади МКД, руб./м²
	Все тиипы
6–8	1264,67 (0)
9	769,24 (–1)
10 и более	766,63 (–1)

Табл. 6. Ремонт, замена, модернизация лифтов, ремонт лифтовых шахт, машинных и блочных помещений
Tab. 6. Repair, replacement and modernisation of lifts, repair of lift shafts, machinery rooms and blocks

Заключение

В результате проведенного исследования был получен ряд математических характеристик, с помощью которых мы можем сделать выводы о том, что коэффициент вариации средних приведенных стоимостей работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов в рамках совокупности субъектов Российской Федерации в равной степени однороден и неоднороден для различных видов работ, что говорит о том, что между некоторыми стоимостями идентичных видов работ по капитальному ремонту, проводимых в рамках рассмотренных субъектов Российской Федерации, наблюдаются устойчивые значения средней стоимости, в то время как для другой части значения средней стоимости определить невозможно. При этом степень однородности средних приведенных стоимостей работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов в рамках отдельных субъектов РФ значительно выше.

Для той части работ, где коэффициент вариации средних приведенных стоимостей работ по капитальному ремонту > 70 %, необходимо произвести дальнейшие ис-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Классификация и определение типов многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту / А. А. Лapidус, С. И. Экба, С. А. Кормухин, Е. Т. Билонда. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_58 // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 58–64.
- Фатуллаев, Р. С. Организационно-технологические решения, обосновывающие проведение внеплановых работ по капитальному ремонту многоквартирных домов / Р. С. Фатуллаев, А. А. Лapidус. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.3.304–307 // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 3(102). – С. 304–307.
- Кузьмина, Т. К. Выявление усредненных временных параметров прохождения процедур на этапе предпроектной и проектной подготовки объекта к строительству / Т. К. Кузьмина, П. В. Большакова, Д. Д. Зуева // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 4 (76). – С. 456–465.
- Фатуллаев, Р. С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев, Т. Э. Хаев // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 224–228.
- Шестерикова, Я. В. Практическое применение комплексного показателя качества многоэтажных жилых зданий / Я. В. Шестерикова. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_17 // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 17–21.
- Лapidус, А. А. Анализ недостатков нормативно-технической и законодательной базы проектирования капитального ремонта жилых зданий / А. А. Лapidус, Е. Билонда Трегубова, В. А. Комаров. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-7-218–225 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 7. – С. 218–224.

REFERENCES

- Klassifikatsiya i opredelenie tipov mnogokvartirnykh domov, podlezhashchikh 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. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_58 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 58–64.
- Fatullaev, R. S. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya, obosnovyuyushchie 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. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.3.304–307 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2017. – Vol. 12, № 3 (102). – P. 304–307.
- Kuzmina, T. K. Vyyavlenie usrednennykh vremennykh parametrov prokhozheniya protsedur na etape predproektnoy i proektnoy podgotovki ob'ekta k stroitel'stvu [Identification of averaged time parameters of procedures at the stage of pre-design and project preparation of the object for construction] / T. K. Kuzmina, P. V. Bol'shakova, D. D. Zueva // Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2021. – № 4 (76). – P. 456–465.
- Fatullaev, R. S. Ispol'zovanie sovremennykh stroitel'nykh materialov kak faktor, vliyayushchij na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta [The use of modern building materials as a factor affecting the effectiveness of organizational and technological solutions during major repairs] / R. S. Fatullaev, T. E. Haev // Perspektivy nauki [Prospects of science]. – 2019. – № 5 (116). –

следования, включающие оценку взаимосвязей с учетом большей детализации видов работ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов.

- Лapidус, А. А. Оценка потенциала проведения внеплановых ремонтных работ многоквартирных жилых домов / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев // Научное обозрение. – 2017. – № 19. – С. 10–13.
- Фатуллаев, Р. С. Потребительское качество многоквартирного жилого дома как параметр, влияющий на состав организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 2 (92). – С. 149–155.
- Шестерикова, Я. В. Оценка экономической эффективности повышения качества многоэтажных жилых зданий / Я. В. Шестерикова. – DOI 10.54950/26585340_2020_4_34 // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 34–37.
- Фатуллаев, Р. С. Оценка факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта в домах с разной формой собственности / Р. С. Фатуллаев, С. Р. Айдаров // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12 (102). – С. 119–122.
- Лapidус, А. А. Формирование организационно-технологических платформ в строительстве / А. А. Лapidус. – DOI 10.54950/26585340_2022_1_2 // Строительное производство. – 2022. – № 1. – С. 2–6.
- Анализ трудоемкости ремонтных работ в разных странах / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, А. О. Хубаев, Т. К. Кузьмина. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_86 // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 86–90.
- Кузьмина, Т. К. Методический подход к техническому обследованию строительных объектов / Т. К. Кузьмина, А. Ю. Карагезев, А. Е. Боровкова. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_14 // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 14–18.

P. 224–228.

- Shesterikova, Ya. V. Prakticheskoe primeneniye kompleksnogo pokazatelya kachestva mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Practical application of a complex indicator of the quality of multi-storey residential buildings] / Ya. V. Shesterikova. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_17 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 1. – P. 17–21.
- Lapidus, A. A. Analiz nedostatkov normativno-tekhnicheskoy i zakonodatel'noy bazy proektirovaniya kapital'nogo remonta zhilykh zdaniy [Analysis of the shortcomings of the regulatory, technical and legislative framework for the design of capital repairs of residential buildings] / A. A. Lapidus, E. Bilonda Tregubova, V. A. Komarov. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-7-218–225 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2022. – № 7. – P. 218–224.
- Lapidus, A. A. Otsenka potentsiala provedeniya vneplanovykh remontnykh работ mnogokvartirnykh zhilykh domov [Assessment of the potential for unscheduled repair work of apartment buildings] / A. A. Lapidus, R. S. Fatullaev // Nauchnoe obozrenie [Scientific review]. – 2017. – № 19. – P. 10–13.
- Fatullaev, R. S. Potrebitel'skoe kachestvo mnogokvartirnogo zhilogo doma kak parametr, vliyayushchij na sostav organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta [Consumer quality of an apartment building as a parameter affecting the composition of organizational and technological solutions during major repairs] / R. S. Fatullaev // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 2. – P. 149–155.
- Shesterikova, Ya. V. Otsenka ehkonomicheskoy ehffektivnosti

povysheniya kachestva mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Assessment of the economic efficiency of improving the quality of multi-storey residential buildings] / Ya. V. Shesterikova. – DOI 10.54950/26585340_2020_4_34 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 4. – P. 34–37.

10. Fatullaev, R. S. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta v domakh s raznoj formoj sobstvennosti [Assessment of factors affecting the effectiveness of organizational and technological solutions during major repairs in houses with different forms of ownership] / R. S. Fatullaev, S. R. Ajdarov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 12 (102). – P. 119–122.

11. Lapidus, A. A. Formirovanie organizatsionno-tekhnologich-

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

12. Analiz trudoemkosti remontnykh rabot v raznykh stranakh [Analysis of the complexity of repair work in different countries] / R. S. Fatullaev, T. H. Bidov, A. O. Hubaev, T. K. Kuz'mina. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_86 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 86–90.

13. Kuzmina, T. K. Metodicheskij podkhod k tekhnicheskomu obsledovaniyu stroitel'nykh ob'ektov [Methodical approach to technical inspection of construction objects] / T. K. Kuzmina, A. Yu. Kagazezhev, A. E. Borovkova. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_14 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 14–18.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2023_2_8

Критерии и категории потребности проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов

Criteria and Categories of the Need for Major Repairs of Residential Buildings

Экба Сергей Игоревич

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

Ekba Sergey Igorevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, ekba.s.ig@gmail.com

Кормухин Серафим Андреевич

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

Kormukhin Serafim Andreevich

Postgraduate student of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, s.kormukhin@yandex.ru

Аннотация. В статье изложен подход к определению критериев оценки и категорий потребности проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов в рамках реализации региональных программ капитального ремонта. Систематизированы и описаны критерии оценки, разработаны и описаны категории потребности проведения капитального ремонта на основе технического состояния дома.

В исследовании поставленные задачи решаются с использованием средств качественного метода, метода экспертных оценок, методов математической статистики.

В рамках данной статьи проведен анализ, предложены и систематизированы критерии оценки потребности проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов. Разработаны и описаны четыре категории потребности проведения капитального ремонта для различных типов домов. Предложе-

на процедура определения категорий потребности проведения капитального ремонта многоквартирных домов (МКД) в отношении конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов, представлен алгоритм действий специалиста.

В результате проделанной работы решены задачи по снижению продолжительности этапа планирования и определения потребности в капитальном ремонте МКД за счет предложенного системного подхода к оценке технического состояния строительных конструкций, их элементов, внутридомовых инженерных систем и их элементов.

Ключевые слова: капитальный ремонт, многоквартирный жилой дом, физический износ, техническое состояние, конструктивный элемент, инженерные системы.

mathematical statistics.

Within the framework of this article, the analysis is carried out, the criteria for assessing the need for major repairs of apartment buildings are proposed and systematized. Four categories of the need for major repairs for various types of houses have been developed and described. The procedure for determining the categories of the need for major repairs of apartment buildings in relation to structural elements of the house, individual building structures or their elements, intra-house engineering systems or

their elements is proposed, the algorithm of actions of a specialist is presented.

As a result of the work done, the tasks of reducing the duration of the planning stage and determining the need for capital repairs of residential buildings were solved due to the proposed

Введение

По данным мониторинга Фонда развития территории, на октябрь 2022 года в региональных программах капитального ремонта многоквартирных жилых домов (МКД) находится более 700 000 домов с общей площадью 2 717,82 млн м². Выполнение плановых показателей программ капитального ремонта напрямую зависит от алгоритмов и подходов, используемых при планировании, проектировании и выполнении строительно-монтажных работ при капитальном ремонте МКД.

Анализ региональных нормативно-правовых и нормативно-технических документов, регламентирующих определение очередности, потребности (необходимости) проведения капитального ремонта, порядок обследования технического состояния МКД, проектирования, производства работ и приемки, показал отсутствие единого системного подхода [1–8]. При этом федеральным законодательством реализация региональной программы капитального ремонта предусмотрена в рамках долгосрочных и краткосрочных (до трех лет) планов, однако с целью приведения долгосрочных планов в соответствие с действительностью, например, отразить фактическое техническое состояние МКД, допускается актуализация краткосрочных планов. В свою очередь, критерии, используемые для оценки потребности проведения капитального ремонта, не учитывают ряда значительных влияющих факторов:

- конструктивные особенности МКД, его отдельных конструкций и инженерных систем;
- фактическое техническое состояние МКД, его отдельных конструкций и инженерных систем.

Гипотеза настоящего исследования предполагает, что продолжительность и издержки этапов проведения капитального ремонта МКД, в частности определение потребности в капитальном ремонте, зависят от применяемых организационно-технологических решений, выражающихся в использовании критериев оценки, отражающих техническое состояние МКД.

Таким образом, исследование и определение критериев оценки и категорий потребности в капитальном ремонте МКД является важной и актуальной задачей, решение

systematic approach to assessing the technical condition of construction structures, their elements, in-house engineering systems and their elements.

Keywords: major repairs, apartment building, physical wear, technical condition, structural element, engineering systems.

которой позволит предоставить потребителям (органам местного самоуправления, ТСЖ, УК, собственникам) единый подход к определению потребности проведения капитального ремонта с учетом типов МКД [9].

Материалы и методы

В настоящем исследовании решаются следующие задачи:

- Анализ существующих подходов к определению потребности проведения капитального ремонта МКД.
- Систематизация критериев оценки при определении потребности проведения капитального ремонта МКД.
- Разработка и описание категорий потребности проведения капитального ремонта МКД.

В рамках решения поставленных задач использованы средства качественного метода, метод экспертных оценок, методы математической статистики.

Анализ нормативно-технических, правовых и методических документов, используемых в практической деятельности при определении потребности проведения капитального ремонта МКД, показал, что в большинстве случаев при оценке технического состояния конструктивных элементов, инженерных систем и в целом МКД ключевыми документами являются ВСН 58-88, ВСН 53-86, ГОСТ 31937-2011 и Региональный порядок (рисунок 1). Однако анализ региональных правовых и методических документов показывает, что чаще всего на практике применяются ВСН 58-88 и ВСН 53-86, причем для оценки степени физического износа используется ВСН 53-86.

Фактически действующая нормативно-правовая и нормативно-техническая база требует значительного пересмотра и актуализации в связи с рядом причин, к ключевым причинам относятся следующие:

- изменение системы финансирования строительно-го комплекса;
- изменение структуры народно-хозяйственного комплекса;
- появление и активное внедрение цифровизации на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, в том числе на этапе капитального ремонта.

1. Какие документы вы используете при оценке технического состояния МКД с целью проведения капитального ремонта?

24 ответа

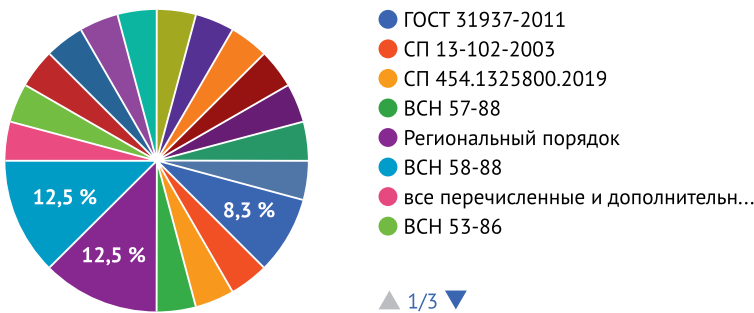


Рис. 1. Результаты опросного листа для этапа обследования технического состояния МКД
Fig. 1. The results of the questionnaire for the stage of inspection of the technical condition of residential buildings

Анализ региональных порядков установления потребности (необходимости) проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме показал, что при принятии решения о потребности (необходимости) или отсутствии потребности (необходимости) проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме комиссии учитывают следующие критерии (на основе 24 субъектов РФ).

- Тульская область:
- Степень износа основных конструктивных элементов (фундамент, стены, перекрытия) общего имущества многоквартирного дома.
 - Нормативный срок службы конструктивных элементов и инженерных систем до проведения очередного капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме (нормативных межремонтных сроков) (ведомственные строительные нормы ВСН 58-88).
 - Сведения о проведенных ранее ремонтах соответствующих элементов строительных конструкций и инженерных систем общего имущества в многоквартирном доме.

- Калининградская область:
- Физический износ конструктивного элемента и (или) внутридомовой инженерной системы, относящихся к общему имуществу многоквартирного дома, достиг уровня предельно допустимых характеристик надежности и безопасности и не обеспечивает безопасность жизни и здоровья граждан, сохранность имущества физических или юридических лиц, в том числе высокой степени износа более 70 %.
 - Нормативные межремонтные сроки.
 - Ненадлежащее техническое состояние общего имущества в многоквартирном доме.

- Нижегородская область:
- Физический износ общего имущества не обеспечивает безопасность жизни и здоровья граждан, сохранность имущества физических или юридических лиц.
 - Техническое состояние общего имущества многоквартирного дома.
- г. Севастополь:
- Нормативный срок эффективной эксплуатации элементов конструкций и внутридомовых инженерных систем многоквартирного дома до проведения очередного капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме (нормативных межремонтных сроков).
 - Проектный срок эксплуатации многоквартирного дома.
 - Фактическое техническое состояние элементов конструкций и внутридомовых инженерных систем многоквартирного дома.
 - Год постройки многоквартирного дома.
 - Уровень физического износа конструктивных элементов и (или) внутридомовых инженерных систем, входящих в состав общего имущества многоквартирного дома, в том числе имеющих физический износ более 70 % [1].

Хабаровский край:

- Нормативный срок службы элементов общего имущества в многоквартирном доме до проведения очередного капитального ремонта (нормативных межремонтных сроков) общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме на основании ведомственных строительных норм ВСН 58-88 и ВСН 53-86.
- Сведения о ранее выполненных работах по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме.
- Степень износа и технического состояния элементов общего имущества в многоквартирном доме.
- Заключение экспертиз о состоянии общего имущества в многоквартирном доме или акта осмотра общего имущества в многоквартирном доме.

В результате проведенного исследования определены критерии оценки и описаны категории потребности проведения капитального ремонта МКД.

Критериям присвоены количественные значения для оценки и отнесения к той или иной категории потребности проведения капитального ремонта многоквартирных домов.

Основным параметром выбора категории потребности капитального ремонта МКД является техническое состояние, выражающееся в степени физического износа конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов.

Под физическим износом конструктивных элементов, отдельных строительных конструкций, внутридомовых инженерных систем и их отдельных элементов и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека.

Категория потребности проведения капитального ремонта присваивается в соответствии с физическим износом конструкции, элемента или системы. Определение и фиксация дефектов, их общая площадь и количество элементов (объем работ), которые требуют проведения капитального ремонта, определяются по результатам технического обследования МКД.

В рамках проведения технического обследования МКД специалист использует чек-листы для соответствующих конструктивных элементов, отдельных строительных конструкций, внутридомовых инженерных систем и их отдельных элементов, в которых фиксирует выявленные фактически критерии оценки потребности проведения капитального ремонта.

Процедура определения возможных категорий потребности проведения капитального ремонта многоквартирных домов в отношении конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов представлена следующим алгоритмом действий специалиста:

- Сбор и анализ имеющихся данных об обследуемом МКД.
- Определение типа МКД согласно методике, представленной в работе [9].

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
1.1	Фундамент ленточный (бетонные, железобетонные, бутовые, кирпичные)	Мелкие трещины, в т. ч. сетка трещин, волосяные трещины, в т. ч. температурно-усадочные вследствие быстрого испарения влаги в бетоне	Ширина трещин до 2 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя цоколя, локальные выбоины, местные повреждения отдельных камней		
		Локальные разрушения защитного слоя бетона без глубокой коррозии арматуры		
		Локальные замачивания, местные образования мха и других биопоражений		
		Трещины, выбоины, сколы отдельных камней	Ширина трещин до 3 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Намокание вертикальных поверхностей, следы замачивания до 30 % поверхности		
		Смещение отдельных камней по вертикали		
		Неравномерные осадки фундамента		
		Деформация вертикальных конструкций подвала	Прогиб стены до 1/50 ее длины	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Сквозные трещины цоколя на всю высоту здания	Ширина трещин более 5 мм, глубина более 10 мм	
		Глубокие трещины, выбоины, сколы	Ширина трещин до 5 мм	
		Выщелачивание и выветривание раствора более 1/3 глубины, расслоение отдельных камней		
		Намокание вертикальных поверхностей на площади более 50 % от общей, следы сырости		
		Разрушение защитного слоя бетона с коррозией арматуры		
		Разрушение и/или отсутствие гидроизоляции вертикальной и/или горизонтальной		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Массовое распространение сквозных трещин		
		Выпирание основания под фундаментом, просадки, осадки основания, трещины в цоколе и стенах здания в местах просадок, осадок		
		Деформация вертикальных конструкций подвала сверхнормативных значений		
		Повсеместное разрушение защитного слоя бетона с глубокой коррозией арматуры более 1/3 сечения		
1.2	Фундамент столбчатый (бетонные, железобетонные, кирпичные)	Трещины до 0,3 мм, сколы, повреждения в отдельных кирпичах, не пересекающие швы	Повреждения на площади до 5 %	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Локальное нарушение целостности гидроизоляции, отслоение гидроизоляции без разрушения		
		Вздутие гидроизоляции без ее разрушения, локальные отслоения		
		Трещины до 0,3 мм, сколы, повреждения бетонных поверхностей		
		Трещины до 0,5 мм, сколы, повреждения	Повреждения на площади до 25 %	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Отсутствие камней, разрушение кладки	Повреждения на площади до 25 %	
		Выгибы, кривизна вертикальных конструкций	До 1/3 толщины	
		Отсутствие камней, разрушение раствора и кладки, глубокие трещины	Ширина трещин до 5 мм	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Осадка, просадка фундамента, превышающая нормативные значения		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
1.2	Фундамент столбчатый (бетонные, железобетонные, кирпичные)	Выгибы, кривизна вертикальных конструкций, превышающие нормативные значения		капитального ремонта, 71...100 %
		Полное разрушение кладки фундамента с выпадением камней, выветриванием раствора		
		Повсеместное разрушение защитного слоя бетона, оголение арматуры с глубокой коррозией		
1.3	Фундамент свайный	Мелкие и волосяные трещины	Ширина раскрытия трещин до 1,5 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Трещины в ростверках не превышают 0,1 мм		
		Деформации горизонтальных конструкций, проемов, перемычек	Неравномерная осадка с прогибом до 1/100 ее длины	Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Сквозные трещины на всю высоту здания	Ширина раскрытия трещин до 10 мм	Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Деформации вертикальных конструкций		
		Неравномерные осадки фундамента. Отсутствует развитие осадок	Неравномерная осадка с прогибом стен более 0,01 ее длины	
		Сквозные трещины. Наблюдается развитие трещин		Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Неравномерные осадки фундамента. Наблюдается развитие осадок		
2.1	Подвальные помещения	Мелкие и волосяные трещины	Ширина трещин до 2 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Локальные разрушения в штукатурном покрытии. Нарушение целостности отделки		
		Деформации вертикальных конструкций подвала		Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Глубокие трещины в стенах подвала	Ширина трещин до 5 мм	
		Намокание вертикальных поверхностей, следы сырости		
		Деформация горизонтальных конструкций. Не наблюдается развитие осадок	Неравномерная осадка с прогибом стен до 0,01 от длины стены	
		Глубокие трещины	Глубина трещин более 10 мм. Ширина раскрытия до 2 мм	Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Деформация вертикальных конструкций подвала	Неравномерная осадка с общим прогибом стены до 1/50 ее длины	
		Повреждение и разрушение стен подвала	Повреждение на всей площади	Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Сквозные трещины по всей высоте стены, в том числе на перекрытиях		
		Визуально различимая деформация вертикальных конструкций подвала, выпирание основания	Прогиб стены более 1/50 ее длины	
3.1	Фасад / несущие стены деревянные (рубленные, каркасные, щитовые)	Разрушение внешнего покрытия вертикальных конструкций	До 10 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Разрушение швов из конопатки	До 10 % общей площади	
		Биопоражение древесины	До 1/4 всех элементов	Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Щели, следы намокания и промерзания вертикальных конструкций	До 10 % общей площади	
		Локальные разрушения в штукатурном покрытии. Нарушение целостности отделки	До 10 % общей площади	
		Деформация вертикальных конструкций. Развитие осадок не наблюдается	Повреждение на площади до 25 %	Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
3.1	Фасад / несущие стены деревянные (рубленные, каркасные, щитовые)	Биопоражение древесины	Более 1/3 всех элементов	дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Щели, следы намокания и промерзания вертикальных конструкций	Повреждение на площади до 25 %	
		Разрушение штукатурного покрытия. Нарушение целостности отделки	Повреждение на площади до 25 %	
		Визуально различимая деформация вертикальных конструкций. Перекос оконных и дверных проемов	Повреждения на площади более 30 %. Выход из плоскости до 1/2 толщины стены	Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Повышенная влажность внутри помещений	Повреждения на площади более 30 %	
		Биопоражение древесины	Более 2/3 всех элементов	
		Установлены конструкции переопирания		
		Разрушение штукатурного покрытия. Нарушение целостности отделки	Повреждения на площади более 50 %	
3.2	Фасад / несущие стены, выполненные из каменных, из мелкоразмерных элементов (кирпич, стеновые камни и блоки)	Мелкие и волосяные трещины, сколы в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы	Ширина трещины до 1 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20%
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя, локальные выбоины, местные повреждения отдельных камней		
		Локальные следы намокания	Не более 10 % общей площади	
		Глубокие трещины, пересекающие не более 2 рядов кладки. Локальные разрушения штукатурного покрытия	Ширина трещины до 2 мм, глубина до 1/3 толщины стены	Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Выщелачивание и выветривание цементного раствора из швов и стыков	Разрушение швов на глубину до 1 см на площади до 10 %	
		Повреждение облицовочных блоков, выпадение и разрушение кирпичей	Повреждения на площади до 10 %	
		Разрушение штукатурного покрытия. Нарушение целостности отделки	До 30 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Выщелачивание и выветривание цементного раствора из швов и стыков	До 30 % общей площади. Глубина разрушения швов до 2 см	
		Выпадение отдельных кирпичей	До 30 % общей площади	
		Намокание вертикальной поверхности	До 30 % общей площади	
		Глубокие трещины, пересекающие не более 4 рядов кладки	Ширина трещины более 2 мм	
		Локальное местное смятие кладки на опорах балок, плит, перемычек		Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Сквозные вертикальные и косые трещины, пересекающие более 4 рядов кладки		
		Разрушение штукатурного покрытия. Нарушение целостности отделки	Повреждения на площади более 30 %	
		Выпадение отдельных кирпичей, разрыв стальных связей и анкеров	Повреждения на площади более 30 %	
		Визуально различимая деформация вертикальных конструкций. Перекос оконных и дверных проемов	Отклонение стены от вертикали в пределах помещения более 1/200 длины деформируемого участка	
3.3	Фасад / несущие стены, выполненные из бетона или железобетона (сборные, монолитные, сборно-монолитные)	Локальные разрушения в штукатурном покрытии. Нарушение целостности отделки	Повреждения на площади до 10 %	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Мелкие и волосяные трещины, сколы	Повреждения на площади до 10 %. Ширина трещин до 0,3 мм	
		Разрушение штукатурного покрытия. Нарушение	До 20 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
3.3	Фасад / несущие стены, выполненные из бетона или железобетона (сборные, монолитные, сборно-монолитные)	целостности отделки		МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Наличие коррозионных повреждений		
		Трещины, сколы, повреждение или отсутствие защитного слоя бетона	До 20 % общей площади. Ширина трещин до 1 мм	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Следы намоканий и промерзание внутри помещений	Протечки на площади до 10 %	
		Глубокие трещины	Ширина трещин более 3 мм	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Следы намоканий и промерзание внутри помещений	Протечки на площади более 10 %	
		Визуально различимая деформация вертикальных конструкций	Выпучивание до 1/200 расстояния между опорными участками панелей	
		Повреждение, наличие коррозии в узлах конструкций		
3.4	Межпанельные швы	Выветривание раствора	Повреждения на площади до 10 %	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Следы протечек через стыки внутри здания	Повреждения на площади до 10 %	
		Отслоение раствора	До 20 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Протечки внутри здания, следы намоканий	До 20 % общей площади	
		Промерзание вертикальных конструкций	Промерзание в 5 % помещений	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Протечки внутри здания, следы намоканий, высолы	До 30 % общей площади	
		Массовое выветривание растора в швах	Массовое выветривание растора в швах	
3.5	Балконы	Мелкие повреждения металлических обделок		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Мелкие повреждения металлических ограждений		
		Следы увлажнения на нижней плоскости плиты и на участках вертикальных конструкций, примыкающих к балкону	До 30 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Цементный пол и гидроизоляция местами повреждены	До 30 % общей площади	
		На нижней поверхности ржавые пятна, следы протечек	До 30 % общей площади. Уклон плиты менее 1 %	
		Наличие трещин, сколов, выбоин	Ширина трещин до 1 мм	
		Наличие протечек, следов намокания	До 50 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Разрушение защитного слоя бетона, обнажение арматуры	До 50 % общей площади	
		Коррозия металлических несущих конструкций	До 50 % общей площади	
		Трещины, сколы, выбоины в плите	Ширина трещин до 2 мм	
		Прогиб и деформации плиты	Прогиб плиты более 1/100	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Наличие больших трещин, сколов	Трещины шириной более 2 мм	
		Разрушение ограждений		
3.6	Теплоизоляционный слой	Локальные следы смятия, сдавливания		Не требуется капитальный ремонт

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
3.6	(в части фасада многоквартирного дома)	теплоизоляции		МКД, 0...20 %
		Незначительные отклонения по влажности теплоизоляции		
		Локальное выпадение теплоизоляционного слоя		
		Локальные разрушения теплоизоляционного слоя	До 10 % общей площади	
		Следы смятия, сдавливания теплоизоляции	До 20 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Влажные участки теплоизоляции	До 20 % общей площади	
		Наличие участков с недостаточной толщиной теплоизоляционного слоя	До 20 % общей площади	
		Наличие зон с образованием конденсата	До 10 % общей площади	
		Разрушение отделочного (штукатурного) слоя	До 20 % общей площади	
		Промерзания внутри помещений	До 20 % от общего количества помещений	Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Наличие зон с образованием конденсата	До 20 % общей площади	
		Влажность теплоизоляции значительно превышает нормативные значения	До 30 % общей площади	
		Наличие участков с недостаточной толщиной теплоизоляционного слоя	До 30 % общей площади	
		Разрушение отделочного (штукатурного) слоя	До 30 % общей площади	
		Деструкция утеплителя		
		Наличие зон с образованием конденсата	Более 50 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Влажность теплоизоляции значительно превышает нормативные значения	Более 50 % общей площади	
Наличие участков с недостаточной толщиной теплоизоляционного слоя	Более 50 % общей площади			
Разрушение отделочного (штукатурного) слоя	Более 50 % общей площади			
4.1	Крыша, выполненная скатной из асбестоцементных листов (шифера)	Повреждение узлов крепления кровельного покрытия		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Локальные деформации водосточных желобов		
		Биопоражение кровельного покрытия	До 5 % общей площади	
		Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов		Не требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	До 20 % общей площади	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 10 % общей площади	
		Трещины и сколы листов		Требуется капитальный ремонт МКД; устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	До 40 % общей площади	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 30 % общей площади	
		Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов		Требуется капитальный ремонт МКД; рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Повреждение и разрушение кровельного покрытия	Повреждение на всей площади	
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	Повреждение на площади более 40 %	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 40 % общей площади	
Наличие большого количества заплат из рулонных материалов				
4.2	Крыша, выполненная скатной из стальных листов (профнастил, металлочерепица, фальцевая кровля)	Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов	До 10 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	До 10 % общей площади	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 5 % общей площади	
		Повреждение защитного покрытия кровли	До 10 % общей площади	

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
4.2	Крыша, выполненная скатной из стальных листов (профнастил, металлочерепица, фальцевая кровля)	Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	Повреждение на площади до 20 %	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Биопоражение кровельного покрытия	До 10 % общей площади	
		Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов	Повреждение на площади до 20 %	
		Повреждение защитного покрытия кровли	До 20 % общей площади	
		Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов	До 30 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	До 30 % общей площади	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 30 % общей площади	
		Повреждение защитного покрытия кровли	До 40 % общей площади	
		Ржавчина на поверхности кровли		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Ржавчина на внутренней поверхности кровли		
		Щели и следы протечек на внутренних поверхностях	До 40 % общей площади	
		Повреждение узлов крепления кровельного покрытия. Отрыв листов	До 40 % общей площади	
		Биопоражение кровельного покрытия	До 40 % общей площади	
		Повреждение защитного покрытия кровли	Повреждение на площади более 40 %	
4.3	Крыша, выполненная плоской из рулонных материалов (битумные; полимерные, в т. ч. мембраны ПВХ, ТПО; битумно-полимерные)	Отсутствие водоизоляционного ковра	До 10 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Отсутствие защитного слоя	До 10 % общей площади	
		Механическое повреждение водоизоляционного ковра	До 10 % общей площади	
		Нарушение уклонов (зоны застоя воды)	До 10 % общей площади	
		Расслоение полотнищ материала водоизоляционного ковра	До 10 % общей площади	
		Биологическое разрушение водоизоляционного ковра	До 10 % общей площади	
		Вздутие кровельного ковра с образованием воздушных или (и) водяных мешков	До 10 % общей площади	
		Растрескивание водоизоляционного ковра	До 10 % общей площади	
		Разрушение верхнего покровного слоя материала до основы	До 10 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Отсутствие водоизоляционного ковра	До 40 % общей площади	
		Отсутствие защитного слоя	До 40 % общей площади	
		Механическое повреждение водоизоляционного ковра	До 40 % общей площади	
		Нарушение уклонов (зоны застоя воды)	До 40 % общей площади	
		Расслоение полотнищ материала водоизоляционного ковра	До 40 % общей площади	
		Биологическое разрушение водоизоляционного ковра	До 40 % общей площади	
		Вздутие кровельного ковра с образованием воздушных или (и) водяных мешков	До 40 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Растрескивание водоизоляционного ковра	До 40 % общей площади	
		Разрушение верхнего покровного слоя материала до основы	До 40 % общей площади	
		Отсутствие водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Отсутствие защитного слоя	До 70 % общей площади	
		Механическое повреждение водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Нарушение уклонов (зоны застоя воды)	До 70 % общей площади	
		Расслоение полотнищ материала водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Отсутствие водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Отсутствие защитного слоя	До 70 % общей площади	
		Механическое повреждение водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
4.3	Крыша, выполненная плоской из рулонных материалов (битумные; полимерные, в т. ч. мембраны ПВХ, ТПО; битумно-полимерные)	Биологическое разрушение водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Вздутие кровельного ковра с образованием воздушных или (и) водяных мешков	До 70 % общей площади	
		Растрескивание водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Разрушение верхнего покровного слоя материала до основы	До 70 % общей площади	
		Отсутствие водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Отсутствие защитного слоя	До 70 % общей площади	
		Механическое повреждение водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Нарушение уклонов (зоны застоя воды)	До 70 % общей площади	
		Расслоение полотнищ материала водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Биологическое разрушение водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Вздутие кровельного ковра с образованием воздушных или (и) водяных мешков	До 70 % общей площади	
		Растрескивание водоизоляционного ковра	До 70 % общей площади	
		Разрушение верхнего покровного слоя материала до основы	До 70 % общей площади	
4.4	Стропильная система	Ослабление креплений: болтов, хомутов, скоб		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Повреждение деталей слуховых окон		
		Биопоражение мауэрлата и стропильных ног	До 20 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Ослабление врубок и соединений	До 20 % общей площади	
		Биопоражение древесины мауэрлата, стропил, обрешетки	До 50 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Наличие вспомогательных конструкций стропильных ног	До 50 % общей площади	
		Повышенное намокание древесины	До 50 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Прогибы стропильных ног		
4.5	Теплоизоляционный слой (в части крыши многоквартирного дома)	Нет участков конденсации		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Отсутствует информация о промерзании		
		Незначительные отклонения по влажности теплоизоляции		Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Нет участков конденсации		
		Отсутствует информация о промерзании		
		Теплоизоляция влажная		
		Промерзания внутри помещений		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Наличие зон с образованием конденсата		
		Влажность теплоизоляции значительно превышает нормативные значения		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Деструкция утеплителя		

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
5.1	Конструкции перекрытий и покрытий	Мелкие трещины, в т. ч. сетка трещин, волосяные трещины	Ширина трещин до 1 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя, локальные выбоины	До 10 % общей площади	
		Локальные разрушения защитного слоя бетона без глубокой коррозии арматуры	До 10 % общей площади	
		Местные образования мха и других биопоражений	До 10 % общей площади	
		Незначительные вертикальные прогибы плит перекрытия и покрытия	Прогибы до 1/150 пролета	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Трещины, выбоины, сколы	Ширина трещин до 2 мм	
		Следы влаги, местные образования мха и других биопоражений	До 20 % общей площади	
		Вертикальные прогибы балок и плит перекрытия	Прогибы до 1/120 пролета	
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя, локальные выбоины	До 20 % общей площади	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Локальные разрушения защитного слоя бетона без глубокой коррозии арматуры	До 20 % общей площади	
		Трещины, выбоины, сколы	Ширина трещин до 3 мм	
		Следы влаги, местные образования мха и других биопоражений	До 50 % общей площади	
		Вертикальные прогибы плит перекрытия и покрытия	Прогибы до 1/80 пролета	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя, локальные выбоины	До 50 % общей площади	
		Разрушения защитного слоя бетона, коррозия арматуры	Коррозия арматуры до 10 % сечения	
		Сквозные трещины. Наблюдается развитие трещин	Ширина трещин более 3 мм	
		Следы влаги, местные образования мха и других биопоражений	Более 50 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Вертикальные прогибы плит перекрытия и покрытия	Прогибы более 1/80 пролета	
		Локальные разрушения отделочного (штукатурного) слоя, локальные выбоины	До 50 % общей площади	
		Разрушения защитного слоя бетона, коррозия арматуры	Коррозия арматуры более 10 % сечения	
5.2	Лифтовое оборудование, лифтовые шахты, машинные и блочные помещения	Величина моментов затяжки болтовых соединений меньше допустимого		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Погнутость верхней части рамы и балок под блоки	Отклонение от плоскостности верхней части рамы не более 2 мм	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Механические повреждения купе кабины	Погнутость щитов не более 5 мм	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Коррозия металлоконструкций	Уменьшение толщины элементов не более 5 %	
		Наличие трещин в деталях лифтового оборудования	Трещины не допускаются	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Повышенный износ, коррозия тяговых канатов. Обрыв пряди сердечника		
		Коррозия металлоконструкций	Уменьшение толщины элементов 5 % и более	

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
5.2	Лифтовое оборудование, лифтовые шахты, машинные и блочные помещения	Поломка пружин противовеса		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Наличие течей масла	Течи не допускаются	
6.1	Система электроснабжения	Неисправность, ослабление закреплений и отсутствие части приборов		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Коррозионное повреждение металлических шкафов		
		Локальные повреждения изоляции магистральных и внутриквартирных сетей		Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Потеря эластичности изоляции проводов		
		Загрязнение проводки краской и иными веществами		
		Отсутствие части приборов и крышек к ним		
		Следы ремонта вводно-распределительных устройств		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Полная потеря эластичности изоляции проводов		
		Значительные повреждения магистральных и внутриквартирных сетей и приборов		
		Следы ремонтных работ по восстановлению или замене системы в отдельных местах		
		Наличие временных прокладок		
		Неисправность ВРУ		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Неисправность системы: проводки, щитков, приборов, ВРУ		
		Отсутствие части приборов		
		Наличие оголенных проводов		
		Следы больших ремонтных работ		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Ослабление прокладок и набивки запорной арматуры		
		Окраска отопительных приборов и стояков повреждена		
		Повреждение теплоизоляционного слоя магистралей в отдельных местах		
		Протечки в узлах соединений трубопроводов и врезки запорной арматуры		Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Наличие хомутов на стояках и магистралах		
		Значительные повреждения теплоизоляционного слоя магистралей		
		Следы ремонта калориферов		
6.2	Система теплоснабжения	Протечки в узлах соединений трубопроводов и врезки запорной арматуры		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Следы протечек в отопительных приборах		
		Наличие большого количества хомутов на стояках и магистралах		
		Коррозионное повреждение трубопроводов магистралей		
		Неудовлетворительная работа калориферов		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Массовое повреждение трубопроводов		
		Сильное поражение ржавчиной		
		Следы больших ремонтных работ по восстановлению или замене системы		
		Неудовлетворительная работа отопительных приборов и запорной арматуры, их заклипание		
		Значительное нарушение теплоизоляции трубопроводов		

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
6.3	Система газоснабжения	Повреждения защитного покрытия	До 10 % общей площади	Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Наличие коррозионных повреждений	До 10 % общей площади	
		Наличие овальностей, вмятин	До 10 % общей площади	
		Повреждения защитного покрытия	На площади до 30 % их поверхности	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Механические и коррозионные повреждения корпуса, духового шкафа, камеры сгорания, внутренних газопроводов и теплообменника, электрода зажигания, повреждения теплоизоляции, загрязнений форсунок и крышек горелок, дымохода и воздуховода		
		Наличие коррозионных повреждений	На площади до 30 % их поверхности	
		Наличие воды, грязи, препятствующих работе газового оборудования		
		Давление газа (воды) на входе имеет отклонение от предельных значений		
		Режим работ, шум, вибрация приборов имеют отклонения от предельных значений		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Заклинивание и повреждения червяка, приводного устройства и других деталей		
		Утечки в сварных, резьбовых, фланцевых соединениях и сальниковых уплотнениях		
		Нарушение герметичности затворов		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Несоответствие выходного давления значениям, указанным в режимной карте		
		Точность срабатывания не соответствует нормативным требованиям		
		Несоответствие пределов срабатывания значениям, указанным в режимной карте		
		Колебание выходного давления свыше нормы		
6.4	Система холодного водоснабжения	Ослабление сальниковых набивок и прокладок кранов и запорной арматуры		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Наличие протечек в некоторых смывных бачках		
		Окраска трубопроводов повреждена		
		Протечки в узлах соединений трубопроводов и врезки запорной арматуры		Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Трубопроводы имеют локальные повреждения		
		Коррозионное повреждение трубопроводов в отдельных местах		
		Наличие протечек в некоторых смывных бачках	В 20 % приборов	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Расстройство арматуры и смывных бачков	До 40 % от общего количества	
		Следы ремонта трубопроводов		
		Значительное коррозионное повреждение трубопроводов		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Наличие дефектов, сколов и иных повреждений смывных бачков	До 10 % от общего количества	
		Дефекты носят повсеместный характер		
		Запорная арматура выведена из строя		
		Наличие большого количества хомутов		
		Следы ремонтных работ по замене трубопроводов отдельными местами		
		Большое коррозионное повреждение элементов системы		
		Наличие дефектов, сколов и иных повреждений смывных бачков	До 30 % от общего количества	

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

№	Материал и технология конструктивных элементов и инженерных систем	Критерии оценки конструктивных элементов и инженерных систем	Количественная оценка	Категория потребности, физический износ участка/конструкции, %
1	2	3	4	5
6.5	Система горячего водоснабжения	Ослабление сальниковых набивок, прокладок смесителей и запорной арматуры		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Повреждение теплоизоляции магистралей и стояков		
		Протечки в узлах соединений трубопроводов и врезки запорной арматуры		
		Неисправности в работе полотенцесушителей		Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Повреждение теплоизоляции магистралей и стояков		
		Коррозионное повреждение магистралей		
		Неисправности в работе смесителей и запорной арматуры		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Следы ремонта трубопроводов и магистралей		
		Неудовлетворительная работа полотенцесушителей		
		Значительное коррозионное повреждение трубопроводов		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Выход из строя запорной арматуры, смесителей, полотенцесушителей		
		Следы ремонтных работ по восстановлению или замене системы (хомуты, частичные замены, заварки)		
		Массовое коррозионное повреждение элементов		
6.6	Система водоотведения (канализации)	Ослабление мест соединения приборов		Не требуется капитальный ремонт МКД, 0...20 %
		Повреждение покрытия сантехнического оборудования	До 10 % общей площади оборудования	
		Трещины в трубопроводах из полимерных материалов		
		Протечки в местах присоединения приборов	До 10 % всего количества	Не требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений, 21...40 %
		Повреждение покрытия сантехнического оборудования	До 20 % общей площади поверхности	
		Повреждение керамических умывальников и унитазов	До 10 % от общего количества	
		Повреждения отдельных чугунных трубопроводов		Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта, 41...70 %
		Значительное повреждение трубопроводов из полимерных материалов		
		Массовые протечки в местах присоединения приборов		
		Повреждение покрытия сантехнического оборудования	До 30 % общей площади поверхности	
		Повреждение керамических умывальников и унитазов	До 20 % от общего количества	
		Повреждение чугунных трубопроводов		Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта, 71...100 %
		Массовые повреждения трубопроводов из полимерных материалов		
		Неисправность и массовые нарушения работы системы		
		Повсеместные повреждения приборов		
		Следы проведенных ремонтных работ		

Табл. 1. Критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 1. Criteria for assessing the need for major repairs of residential buildings

3. Техническое обследование МКД с выявлением и фиксацией (фотодокументированием) по чек-листу дефектов и повреждений конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов.

3.1. Оценка объемов работ (площадь и размеры дефектов и повреждений) с занесением в чек-лист.

3.2. Определение величины физического износа на основании критериев, представленных в таблице 1.

Если конструкция, элемент, система или их участок имеет все признаки износа, соответствующие определенному интервалу его значений, то физический износ следует принимать равным верхней границе интервала.

Категория потребности в капитальном ремонте МКД	Потребность проведения капитального ремонта МКД / конструктивного элемента / внутридомовых инженерных систем	Физический износ МКД / конструктивного элемента / внутридомовых инженерных систем, Ф, %
1.1	Не требуется капитальный ремонт МКД	0–20
1.2	Не требуется капитальный ремонт МКД, рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений	21–40
2	Требуется капитальный ремонт МКД: устранить выявленные дефекты и повреждения в рамках капитального ремонта	41–70
3	Требуется капитальный ремонт МКД: рекомендуется рассматривать целесообразность проведения капитального ремонта	71–100

Табл. 2. Категории потребности проведения капитального ремонта МКД
Tab. 2. Categories of the need for major repairs of residential buildings

Если в конструкции, элементе, системе или их участие выявлен только один из нескольких признаков износа, то физический износ следует принимать равным нижней границе интервала.

4. Определение категории потребности проведения капитального ремонта МКД присваивается по наихудшему критерию, представленному в таблице 1.

Результаты

На сегодняшний день одним из ключевых критериев при определении потребности (необходимости) в проведении капитального ремонта является степень физического износа конструктивных элементов и здания в целом. Согласно ВСН 53-86 «Правила оценки физического износа жилых зданий», под физическим износом конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека.

Таким образом, можно сделать вывод, что ключевым критерием определения потребности (необходимости) проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме являются степень физического износа и техническое состояние конструктивных элементов и инженерных систем в многоквартирном доме.

При этом используемые критерии, в частности степень физического износа, не всегда отражают характерные особенности того или иного типа МКД [9], кроме того, представленные в ВСН 53-86 дефекты и повреждения не учитывают конструктивные и технические особенности домов, построенных в период после разработки ВСН. На основании этого авторы предлагают в качестве критериев оценки потребности проведения капитального ремонта МКД применять характерные дефекты и повреждения конструктивных элементов и инженерных систем, взаимозавязанные с категориями потребности проведения капитального ремонта МКД. Предлагаемые критерии оценки представлены для наиболее распространенных конструктивных элементов и конструкций в таблице 1.

Критерии оценки (дефекты и повреждения) и категории разработаны и описаны авторами с учетом материалов и технологий возведения конструктивных элементов МКД и взаимосвязаны с требованиями ст. 166 Жилищного кодекса РФ. Кроме того, критерии оценки потребности проведения капитального ремонта МКД учитывают особенности каждого типа дома [9], что, в свою очередь, позволяет быстро определить потребность и стоимость проведения работ на основании укрупненных сметных норм, такой подход позволяет участникам капитального ремон-

та оперативно проводить актуализации и формирование бюджета в рамках планирования капитального ремонта.

В качестве категорий потребности проведения капитального ремонта многоквартирных домов в отношении конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов определены 4 категории, представленные в таблице 2.

Категория 1.1 – физический износ конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов **находится в диапазоне 0–20 %**, что свидетельствует об отсутствии или наличии незначительных дефектов, которые не оказывают влияния на несущую способность и эксплуатационные качества конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов и МКД в целом. В таких случаях капитальный ремонт конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов и МКД в целом **не требуется**, проводятся плановые осмотры технического состояния МКД.

Категория 1.2 – физический износ конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов **находится в диапазоне 21–40 %**, что свидетельствует о наличии незначительных дефектов, которые не оказывают влияния на несущую способность и эксплуатационные качества конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов и МКД в целом, однако существуют причины, вследствие которых возможно интенсивное развитие выявленных дефектов, например, повреждение/отсутствие участка водосточной системы, что приводит к систематическому замачиванию наружных стен, элементов фасада. В таких случаях капитальный ремонт конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов и МКД **не требуется**, однако рекомендуется вести мониторинг динамики развития выявленных дефектов и повреждений.

Категория 2 – физический износ конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов **находится в диапазоне 41–70 %**, что свидетельствует о наличии значительных дефектов (отсутствуют критические дефекты), которые оказывают влияние на несущую способность и эксплуатационные качества конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов и МКД в целом.

В таких случаях капитальный ремонт конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов и МКД **требуется проводить**.

Категория 3 – физический износ конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов **находится в диапазоне 71–100 %**, что свидетельствует о наличии критических дефектов, которые приводят к снижению и/или исчерпанию несущей способности и эксплуатационных качеств конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов и МКД в целом. В таких случаях рекомендуется принимать **комиссионное решение о целесообразности проведения капитального ремонта** конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, внутридомовых инженерных систем или их элементов и МКД в целом. Кроме этого, рекомендуется обеспечить мониторинг технического состояния и проведение мероприятий по усилению конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций или их элементов, замене или восстановлению внутридомовых инженерных систем или их элементов, в отдельных случаях проведение противоаварийных мероприятий.

Выводы

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Проведен анализ существующих подходов к определению потребности проведения капитального ремонта МКД.
- Проведена систематизация критериев оценки при

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старостина, В. В. Анализ жилищных условий г. Севастополя / В. В. Старостина, Е. П. Гармашова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2021. – Т. 29, № 1. – С. 7–20. – URL: <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-1-7-20>.

2. Шахворостов, Г. И. О проблеме соотношения понятий «ветхое» и «аварийное» жилье в нормативно-правовых актах и статистике в государственном и муниципальном управлении / Г. И. Шахворостов, О. В. Злобина. – DOI 10.22394/1997-4469-2020-49-2-156-164 // РСЭУ. – 2020. – № 2 (49). – С. 157–164.

3. Хорошева, Л. Н. Методика расчета изменения рыночной стоимости жилья в многоквартирных домах в процессе их эксплуатации / Л. Н. Хорошева, В. С. Гладких // Инновации и Инвестиции. – 2020. – № 4. – С. 199–204.

4. Маличенко, И. П. Сравнительный анализ реализации региональных программ капитального ремонта многоквартирных домов в российских областях / И. П. Маличенко. – DOI 10.18334/err.12.11.116632 // Экономика, предпринимательство и право. – 2022. – Т. 12, № 11. – С. 3137–3154.

5. Рудковский, Д. И. Определение технического состояния конструкций для проектирования комплексного капитального ремонта здания / Д. И. Рудковский, Е. А. Шабанов // Пробле-

REFERENCES

1. Starostina, V. V. Analiz zhilishchnykh uslovij g. Sevastopolya [Analysis of the living conditions of the city of Sevastopol] / V. V. Starostina, E. P. Garmashova // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekonomika [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Economics]. – 2021. – Vol. 29, № 1. – P. 7–20. – URL: <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-1-7-20>.

определении потребности проведения капитального ремонта МКД. Предложен системный подход к оценке технического состояния МКД, конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций, внутридомовых инженерных систем.

- Разработаны и описаны категории потребности проведения капитального ремонта МКД, конструктивных элементов дома, отдельных строительных конструкций, внутридомовых инженерных систем.

Заключение

В данной статье рассмотрен ряд вопросов, решение которых позволяет снизить издержки и продолжительность на разных этапах капитального ремонта МКД, в частности при планировании, проектировании (в части получения исходных данных по результатам обследования технического состояния), актуализации краткосрочных планов капитального ремонта.

Предложенный системный подход, базирующийся на использовании критериев оценки и категорий потребности проведения капитального ремонта МКД, позволит получить ряд положительных эффектов:

- Упрощает взаимодействие участников капитального ремонта МКД, что, в свою очередь, снижает продолжительность цикла капитального ремонта в целом.
- Снижает затраты на этапах планирования капитального ремонта МКД за счет систематического поступления данных о МКД в базы данных регионально-го оператора.
- Позволяет прогнозировать бюджет на проведение капитального ремонта как в рамках краткосрочных планов, так и долгосрочных.

мы строительного производства и управления недвижимостью : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 24–25 ноября 2020 года. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2020. – С. 91–95.

6. Грушина, О. В. Особенности проведения реновации крупнопанельных домов в нестоличном регионе / О. В. Грушина, Е. В. Кислов. – DOI 10.17150/2411-6262.2021.12(3).18 // Baikal Research Journal. – 2021. – Т. 12, Вып. 3. – № 18.

7. Срибная, Е. А. Повышение эффективности реализации государственной программы расселения аварийного жилья в Республике Крым // Е. А. Срибная, М. С. Федоркина, А. С. Федоркина // Экономика строительства и природопользования. – 2021. – № 4. – С. 102–106.

8. Римшин, В. И. Инженерные методы обследования жилого дома в городе Москва в ходе работ по программе капитального ремонта / В. И. Римшин, Е. С. Кузина, Н. В. Филькова. – DOI 10.12737/article_5940f01852f414.43320363 // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2017. – № 7. – С. 36–40.

9. Классификация и определение типов многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту / А. А. Лапидус, С. И. Экба, С. А. Кормухин, Т. Е. Билонда. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_58 // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 58–65.

2. Shahvorostov, G. I. O probleme sootnosheniya ponyatij «vethoe» i «avarijnoe» zhile v normativno-pravovykh aktakh i statistike v gosudarstvennom i munitsipal'nom upravlenii [On the problem of relationship between the concepts of «old» and «emergency» housing in regulatory and legal acts and statistics in state and municipal management] / G. I. Shahvorostov, O. V. Zlobina. – DOI 10.22394/1997-4469-2020-49-2-156-164 // RSEU [REGION: systems, economics, and manage-

ment]. – 2020. – № 2 (49). – P. 157–164.

3. Khorosheva, L. N. Metodika rascheta izmeneniya rynochnoy stoimosti zhil'ya v mnogokvartirnykh domakh v processe ikh ekspluatatsii [Methodology for calculating changes in the market value of housing in apartment buildings during their operation] / L. N. Khorosheva, V. S. Gladkikh // Innovatsii i Investitsii [Innovations and Investments]. – 2020. – № 4. – P. 199–204.

4. Malichenko, I. P. Sravnitel'nyy analiz realizatsii regional'nykh programm kapital'nogo remonta mnogokvartirnykh domov v rossijskikh oblastyakh [Comparative analysis of the implementation of regional programs of capital repairs of apartment buildings in the Russian regions] / I. P. Malichenko. – DOI 10.18334/epp.12.11.116632 // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo [Economics, entrepreneurship and law]. – 2022. – Vol. 12, № 11. – P. 3137–3154.

5. Rudkovskij, D. I. Opredelenie tekhnicheskogo sostoyaniya konstruktivnykh dlya proektirovaniya kompleksnogo kapital'nogo remonta zdaniya [Determination of the technical condition of structures for the design of a comprehensive overhaul of the building] / D. I. Rudkovskij, E. A. Shabanov // Problemy stroitel'nogo proizvodstva i upravleniya nedvizhimost'yu : Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, 24–25 noyabrya goda [Problems of construction production and real estate management : Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 24–25, 2020]. – Kemerovo : Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva [Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev], 2020. – P. 91–95.

6. Grushina, O. V. Osobennosti provedeniya renovatsii krupnopanel'nykh domov v nestolichnom regione [Renovation of Large-Panel Buildings: Peculiar Features in a Non-Capital Region] / O. V. Grushina, E. V. Kislov. – DOI 10.17150/2411-6262.2021.12(3).18 // Baikal Research Journal. – 2021. – T. 12, Iss. 3. – № 18.

7. Sribnaya, E. A. Povyshenie effektivnosti realizatsii gosudarstvennoj programmy rasseleniya avariynogo zhil'ya v Respublike Krym [Improving the effectiveness of the implementation of the state program for the resettlement of emergency housing in the Republic of Crimea] / E. A. Sribnaya, M. S. Fedorkina, A. S. Fedorkina // Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya [Economics of construction and environmental management]. – 2021. – № 4. – P. 102–106.

8. Rimshin, V. I. Inzhenernye metody obsledovaniya zhilogo doma v gorode Moskva v khode rabot po programme kapital'nogo remonta [Engineering methods of survey residential brick house in Moscow during the work of the capital repair program] / V. I. Rimshin, E. S. Kuzina, N. V. Fil'kova. – DOI 10.12737/article_5940f01852f414.43320363 // Vestnik BG TU imeni V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov]. – 2017. – № 7. – P. 36–40.

9. Klassifikatsiya i opredelenie tipov mnogokvartirnykh domov, podlezhashchikh kapital'nomu remontu [Classification and Definition of Types of Multi-Apartment Residential Houses Subject to Overhaul] / A. A. Lapidus, S. I. Ekba, S. A. Kor-muhin, T. E. Bilonda. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_58// Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 58–65.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_24

Определение жесткости линейных элементов крупнощитовой опалубки в зависимости от толщины опалубочного профиля

Determination of the Rigidity of Linear Elements of Large-Panel Formwork Depending on the Thickness of the Formwork Profile

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 Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production»,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU),
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, Bynt177@yandex.ru

Аннотация. Цель. Применение опалубочных систем различных типов на сегодняшний день является ключевым фактором, определяющим качество выполняемых монолитных работ, при этом вопрос надежности основных элементов систем крупнощитовых опалубок в определенной степени является не изученным. Статья посвящена определению жесткости линейных элементов крупнощитовой опалубки.

Материалы и методы. В эксперименте, который проводит автор, моделируются нагрузки на линейные элементы крупнощитовой опалубки с разной толщиной обвязочного профиля, возникающие при бетонировании монолитных зданий и сооружений на систему в целом. С элементами проводятся циклические испытания, заключающиеся в максимальном нагружении и

Abstract. Object. The use of shuttering systems of various types today is a key factor determining the quality of monolithic work performed, while the issue of reliability of the main ele-

ments of large-panel shuttering systems to a certain extent is not studied. The article is devoted to determining the rigidity of linear elements of large-panel formwork.

определении прогибов.

Результаты. В итоге эксперимента получены результаты зависимости толщины стальных элементов опалубки от толщины используемого опалубочного профиля, под циклической нагрузкой определены прогибы и соответствие испытываемых элементов классам опалубки. Результаты данного эксперимента и планируемых экспериментов могут быть учтены при разработке стандартов и технических условий на конкретные типы опалубочных систем.

Ключевые слова: опалубка, нагрузки на опалубку, класс опалубки, щит опалубки, давление бетонной смеси, монолитное строительство, надежность.

Material and methods. In the experiment conducted by the author, the load on linear elements of large-panel formwork with different thicknesses of the strapping profile arising during concreting of monolithic buildings and structures on the system as a whole is modeled. Cyclic tests are carried out with the elements, consisting in maximum loading and determining deflections.

Results. As a result of the experiment, the results of the dependence of the thickness of the steel formwork elements on the thickness of the formwork profile used were obtained, deflections

Введение

На сегодняшний день при возведении монолитных многоэтажных зданий и сооружений чаще используется крупнощитовая опалубка (щиты) [1], которая обеспечивает наиболее эффективные показатели с точки зрения качества и сроков строительства. Крупнощитовая опалубка включает в себя щиты площадью 3...20 м² повышенной несущей способности и применяется для конструкций с большими опалубливаемыми поверхностями [2]. Производители опалубочных систем используют разные конструктивные особенности элементов, которые могут отличаться сечением, толщиной опалубочного профиля (чаще всего крупнощитовую опалубку изготавливают с применением опалубочных профилей с толщинами 2,5, 3 или 3,5 мм).

Основные нагрузки на крупнощитовые элементы опалубки возникают при бетонировании монолитных конструкций: нагрузка от свежесуспенного бетона, при установке щитов в проектное положение или при распалубливании (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. В данных эксплуатационных условиях несущий элемент – находящееся в статическом или динамическом равновесии твердое тело, воспринимающее воздействие и реакции связей с другими телами [3].

Исходя из опыта эксплуатации элементов крупнейших строительных компаний, использование опалубок с вышеперечисленными дефектами приводит к отклонению от геометрических размеров готовых конструкций, на устранение дефектов тратятся дополнительные материальные и временные ресурсы, что, в свою очередь, не

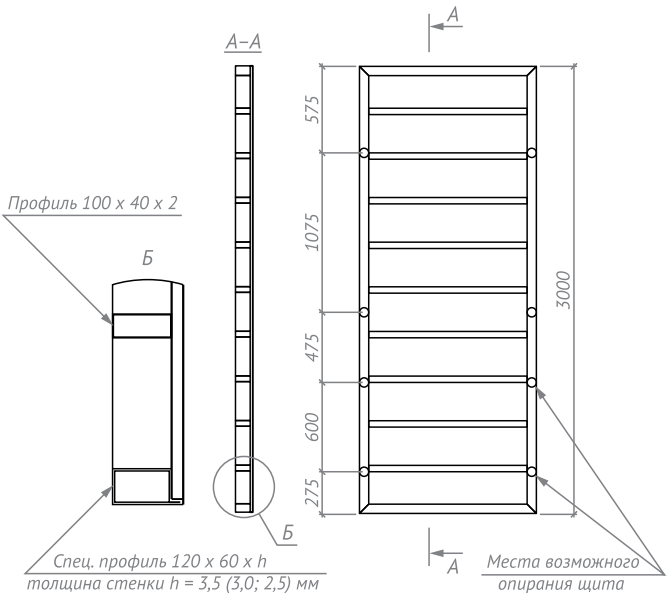


Рис. 1. Конструкция щита опалубки
Fig. 1. Construction of the formwork

and compliance of the tested elements with the formwork classes were determined under cyclic load. The results of this experiment and the planned experiments can be taken into account when developing standards and specifications for specific types of formwork systems.

Keywords: formwork, formwork loads, formwork class, formwork panel, concrete mixture pressure, monolithic construction, reliability.

позволяет рационально использовать комплект опалубки и обеспечить непрерывность работ [4].

В ГОСТ 34329-2017 «Опалубка, общие технические условия» приводятся наименования показателей, которые в зависимости от значения относят опалубку к классу опалубки, при этом в нормативной и научной документации отсутствуют данные о качественных характеристиках щитов опалубки в зависимости от толщины применяемого опалубочного профиля.

Таким образом, представляется актуальным проведение исследований, направленных на определение прочностных характеристик крупнощитовых элементов опалубки в зависимости от толщины применяемого опалубочного профиля.

Материалы и методы

Объектом исследования выбраны два типа образцов щитов опалубки (рисунок 1) размерами 1,2 x 3,0 м (наиболее часто встречаемый типоразмер элемента в условиях строительного производства), состоящие из стального каркаса по периметру, выполненного из прокатного опалубочного профиля 120 x 60 x 2,5 мм у первого образца, у второго образца толщина профиля 3,0 мм, у всех образцов внутренние ребра состоят из трубы 100 x 40 x 2 мм. Давление бетонной смеси на опалубку принимается равным гидростатическому с треугольной эпюрой, нижняя ордината которой – 90 кН/м² или 80 кН/м². Хотя при эксплуатации на строительной площадке щиты расположены вертикально и соединены между собой с применением универсальных клиновых замков [5], было принято

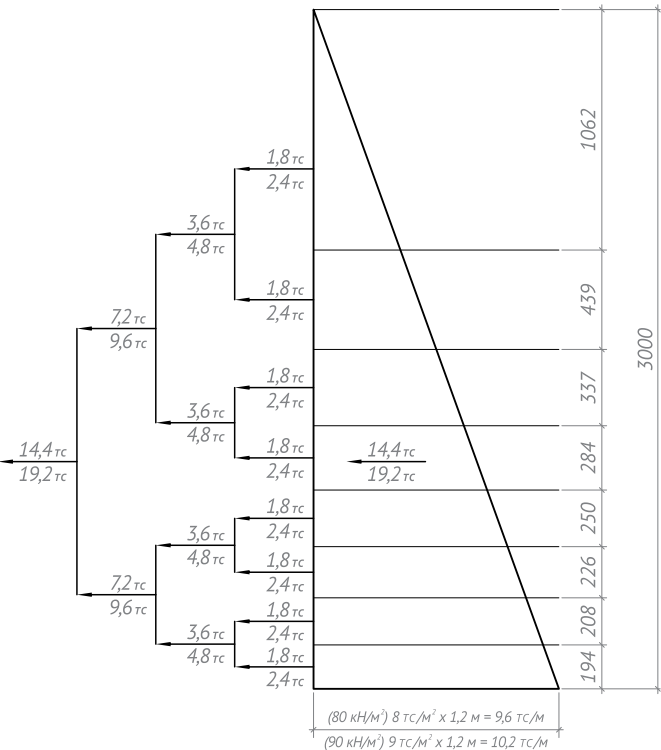


Рис. 2. Распределение испытательных нагрузок
Fig. 2. Distribution of test loads



Рис. 3. Общий вид испытательной установки
Fig. 3. General view of the test facility

решение провести испытания в горизонтальном положении. Это не внесло существенных изменений в работу конструкции, но значительно упростило осуществление граничных экспериментов: опирание щитов и приложение нагрузок [6; 7]. Распределенная по закону треугольника нагрузка на щиты была заменена набором сосредоточенных сил, которые с большой точностью создавало треугольное распределение (рисунок 2).

В соответствии с этой силовой схемой была изготовлена система распределительных балок (рисунок 3), которая обеспечивала распределение нагрузок по гидростатической схеме.

Нагрузку на щиты прикладывали поэтапно по схеме 0–5–8–10–12–14: 4 тс для щитов с толщиной профиля 2,5 мм и далее – 16,2 тс для щитов с толщинами 3,0 мм. После каждого этапа давалась выдержка 10 минут. После этого производились отчеты по измерительным приборам. В качестве измерительных приборов применяли: прогибомер ПАО-6 (9 штук), мессуры ИЧ-10 (5 штук). Точность всех приборов – 0,01 мм. Расположение прибо-

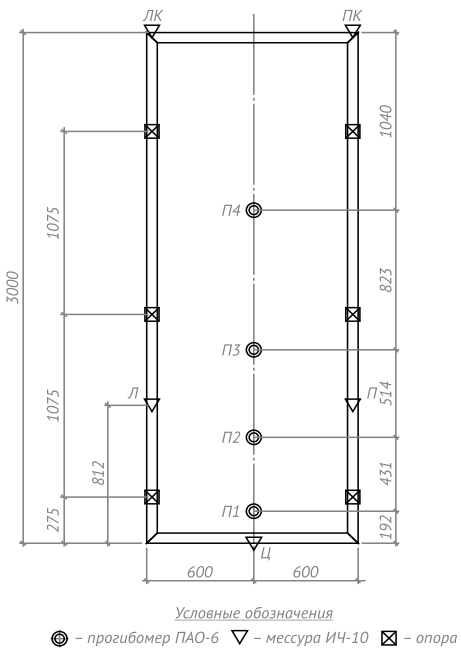


Рис. 4. Схема положения измерительных приборов при испытаниях первых образцов щитов, установленных на 6 опор
Fig. 4. Diagram of the position of measuring instruments when testing the first samples of shields mounted on 6 supports

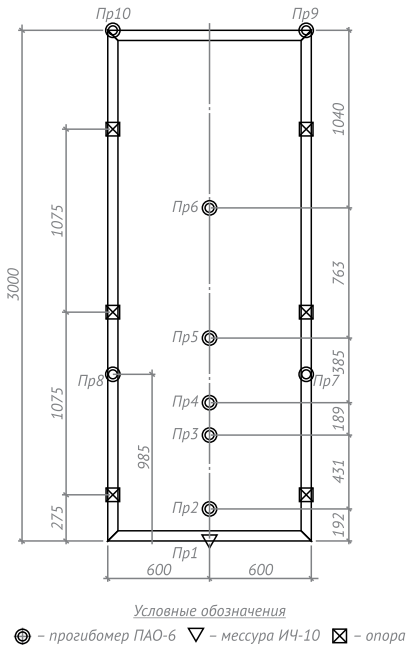


Рис. 5. Схема положения измерительных приборов при испытаниях вторых образцов щитов, установленных на 6 опор
Fig. 5. Diagram of the position of measuring instruments when testing the second samples of shields mounted on 6 supports

ров представлено на рисунках 4 и 5. Все щиты опирали на 6 опор.

После выполнения описанного эксперимента для щитов проводили циклические испытания, которые заключались в том, что каждый щит загружался максимальной нагрузкой в статических испытаниях, т. е. силой 14,4 тс

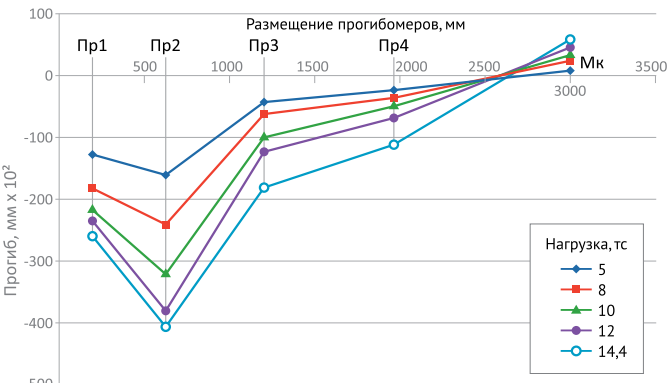


Рис. 6. Эпюры прогибов щитов с толщиной профиля 2,5 мм, установленных на 6 опор
Fig. 6. Diagrams of deflections of shields with a profile thickness of 2,5 mm mounted on 6 supports

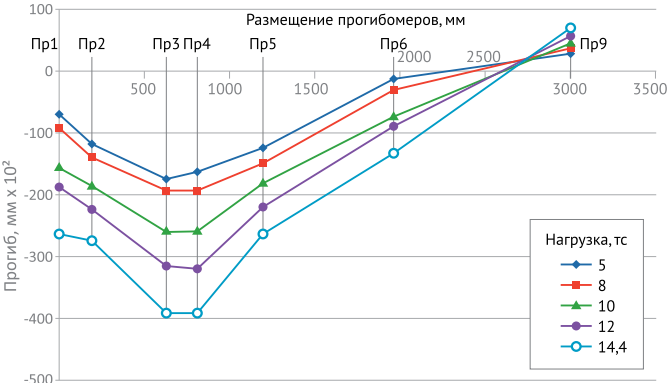


Рис. 7. Эпюры прогибов щитов с толщиной профиля 2,5 мм (второй образец), установленных на 6 опор
Fig. 7. Diagrams of deflections of shields with a profile thickness of 2,5 mm (second sample) mounted on 6 supports

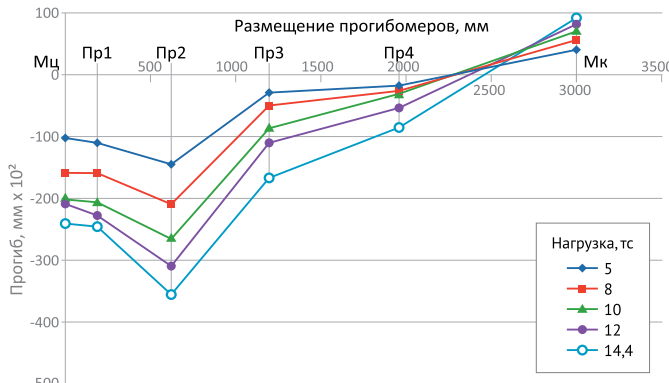


Рис. 8. Эпюры прогибов щитов с толщиной профиля 3,0 мм, установленных на 6 опор
Fig. 8. Diagrams of deflections of shields with a profile thickness of 3,0 mm mounted on 6 supports

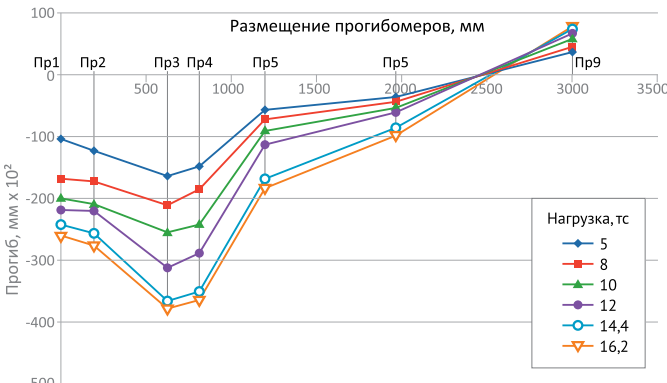


Рис. 9. Эпюры прогибов щитов с толщиной профиля 3,0 мм (второй образец), установленных на 6 опор
Fig. 9. Diagrams of deflections of shields with a profile thickness of 3,0 mm (second sample) mounted on 6 supports

№ п. п.	Толщина профиля, мм	Р, тс	Прогибомеры ПАО-6					Мессуры ИЧ-10				
			П1	П2	П3	П4	П	Л	ПК	ЛК	Ц	
1	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2		5	128	160	44	25	75	84	4	10		
3		8	183	241	63	38	118	121	18	28		
4		10	217	321	100	51	139	132	34	30		
5		12	235	381	125	70	162	154	44	44		
6		14,4	259	406	182	113	174	169	57	59		
7	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8		5	112	145	31	20	64	67	12	10	103	
9		8	161	210	52	27	83	85	24	20	160	
10		10	206	265	87	32	98	107	32	28	201	
11		12	229	310	111	55	112	123	40	37	210	
12		14,4	245	356	167	87	141	135	42	52	241	

Таб. 1. Прогибы (мм x 10) элементов щитов опалубок, установленных на 6 опор
Tab. 1. Deflections (mm x 10) of the elements of the formwork panels mounted on 6 supports

№ п. п.	Толщина профиля, мм	Р, тс	Номера измерительных приборов									
			Пр1	Пр2	Пр3	Пр4	Пр5	Пр6	Пр7	Пр8	Пр9	Пр10
1	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		5	-72	-120	-176	-164	-126	-15	-13	-17	26	36
3		8	-95	-142	-195	-193	-151	-33	-14	-20	34	37
4		10	-155	-186	-260	-259	-181	-75	-22	-36	44	39
5		12	-189	-225	-316	-321	-221	-91	-45	-53	54	59
6		14,4	-264	-274	-391	-392	-264	-134	-69	-62	67	68
7	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		5	-106	-124	-165	-149	-58	-37	-93	-80	38	41
9		8	-170	-175	-212	-187	-74	-44	-128	-105	44	49
10		10	-201	-209	-255	-243	-90	-55	-162	-155	59	60
11		12	-221	-221	-313	-290	-114	-63	-176	-166	66	71
12		14,4	-244	-257	-367	-351	-168	-87	-199	-188	74	73
13		16,2	-259	-277	-378	-364	-183	-99	-218	-206	79	84

Таб. 2. Прогибы (мм x 10) элементов щитов опалубок, установленных на 6 опор
Tab. 2. Deflections (mm x 10) of the elements of the formwork panels mounted on 6 supports

№ п. п.	Толщина опалубочного профиля щита	Ординаты эпюр (мм x 10 ⁻³)		Момент инерции Jy	
		Величина	Отношение 1 к данной	Жесткость	Отношение 1 к данной
1	2,5	406/391	1,0/1,0	141,89	1,0
2	3,0	356/367	0,877/0,939	167,67	0,846

Таб. 3. Соотношение прогибов и жесткостей элементов (для двух образцов)
Tab. 3. The ratio of deflections and stiffness of elements (for two samples)

№ п. п.	Толщина опалубочного профиля щита	Момент инерции (см ⁴)				Площадь (см ²)	
		Jy	Отношение 1 к данной	Jx	Отношение 1 к данной	F	Отношение 1 к данной
1	2,5	141,89	1,0	47,91	1,0	9,07	1,0
2	3,0	167,67	0,846	56,26	0,852	10,81	0,839

Таб. 4. Сравнительные геометрические характеристики
Tab. 4. Comparative geometric characteristics

или 16,2 тс, а затем сразу разгружался до нуля. Затем опять давалась максимальная нагрузка и снова нагрузка убиралась. Всего таких циклов было выполнено по 6 для каждого щита. И каждый раз при нулевой и максимальной нагрузках измерялись прогибы щитов.

Результаты испытаний

Результатами испытаний явились прогибы щитов опалубки от вертикальных нагрузок. После обработки они представлены в таблицах 1, 2, в виде эпюр на рисунках 6, 7, 8, 9. Для анализа полученных результатов предварительно была составлена таблица соотношения геометрических характеристик стальных рам щитов (таблицы 3 и 4).

Эпюры прогибов щитов опалубки построены на основе показаний прогибомеров и мессур. Сам вид эпюр соответствует треугольному распределению нагрузки на конструкции. Резкое падение значений четырех ординат эпюр объясняется тем, что вблизи от этих мест находится одна из тех опор, на которые опирается стальная рама щита. Вид эпюр для всех модификаций щитов опалубки, установленных на 6 опор, одинаков. Разница только в значении ординат. Это результат различной жесткости стальных элементов рам щитов.

Обсуждение

Нормативы для проектирования вертикальных элементов опалубки (СП 371.1325800.2017, п. 5.4.2) требуют, чтобы она обладала необходимой жесткостью: ее прогиб не должен превышать величины 1/400 от соответствующего пролета при классе опалубки 1 и 1/300 – при классе опалубки 2.

Результаты испытаний показывают неравномерную жесткость щитов по ширине. Прогибы при нагрузке 80 кН/м² в середине щита между опорами для щитов с толщиной профиля в 2,5 мм на 51–58 % (с толщиной профиля 3,0 мм – 56–64 %) больше, чем вблизи опор.

В рассматриваемых конструкциях наиболее гибким оказался щит с толщиной стенки профиля 2,5 мм. Его максимальный прогиб 4,06 мм. Сечение с максимальным прогибом находится в середине поля, ограниченного четырьмя опорами, расположенными в углах прямоугольника 1075 x 1200 мм. Следовательно, наибольший прогиб надо соотносить с диагональю данного прямоугольника – 1611 мм. Таким образом, прогиб формирующей поверхности соответствует соотношению 4,06/1611 = 1/397, а опалубка – 2-му классу качества.

Расчетная жесткость профиля толщиной 2,5 мм на 15 % меньше жесткости профиля толщиной 3,0 мм. То же на основе данных по прогибам, полученным при испытании: у щита с толщиной 2,5 мм жесткость на 9,2 %

меньше жесткости щита с толщиной 3,0 мм.

При нагрузке 80 кН/м² максимальный прогиб в середине ширины щитов с толщиной профиля 3,0 мм составляет 3,67 мм и соответствует отношению 1/439 пролета между опорами, что меньше отношения 1/400 на 9 %.

Щиты из профиля 3,0 мм соответствуют 1-му классу опалубки и под нагрузкой в 90 кН/м² [8; 9]. Максимальный прогиб соответствует соотношению 1/426 соответственно, что меньше отношения 1/400 на 6 %.

Испытания щитов завершились тем, что их подвергали циклическим нагрузкам. Результаты от диаграмм представлены в таблицах 1 и 2. Диаграммы составлены для всех испытанных щитов: для щитов с толщиной 2,5 мм при максимальной нагрузке 80 кН/м², для щитов с толщиной профиля 3,0 мм при максимальной нагрузке 90 кН/м².

Анализируя результаты от диаграмм, 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 [10]. В то же время амплитуда прогибов при каждом цикле нагружений остается примерно одинаковой. Это говорит о том, что конструкции при данных циклических нагрузках работают в упругой стадии.

Проведенный эксперимент подтверждает факт того, что высокая надежность, адаптивность и безопасность являются основными характеристиками современных опалубочных систем. Для строителей, использующих опалубку, порой ее параметры более значимы, чем параметры конструкций. Если говорить об основных характеристиках опалубочной системы, то здесь следует пользоваться формулой «цена плюс качество» [11].

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: уменьшение толщины стальных элементов опалубочного профиля приводит к увеличению прогибов опалубки; самый гибкий из рассмотренных щитов – элемент с толщиной профиля 2,5 мм – имеет прогиб, соответствующий 2-му классу качества опалубки; прогиб щитов с толщинами профилей в 3 мм, опираемые на 6 точек, под нагрузкой 90 кН/м² соответствует 1-му классу качества опалубки; в ходе циклической нагрузки на щиты опалубки и их элементы работали в упругой стадии. Результаты испытания могут быть использованы при разработке стандартов и технических условий на конкретные типы опалубочных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Г. К. Технология и организация строительства : учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Г. К. Соколов. – 9-е изд., стер. – Москва : Академия, 2012 – 159 с.
2. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidus. – Москва : Высшая школа, 2004. – 261 с.
3. Фридкин, В. М. Формообразование строительных конструкций: монография / В. М. Фридкин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва : МГСУ, 2011. – 168 с.
4. 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. – DOI 10.15862/07SATS219 // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6, № 2. – С. 7.
5. Бунт, А. М. Анализ эксплуатации опалубочных замков в условиях российских строительных площадок / А. М. Бунт // Технологии бетонов. – 2015. – № 11–12 (112–113). – С. 23–25.
6. Дружинина, О. Э. Возведение зданий и сооружений с применением монолитного бетона и железобетона : технологии устойчивого развития : учебное пособие / О. Э. Дружинина, Н. Е. Муштаева. – Москва : Курс; ИНФРА-М, 2013. – 124 с.
7. Peurifoy, R. L. Formwork for concrete structures / R. L. Peurifoy, G. D. Oberlender. – 4 ed. – USA : The McGraw-Hill Companies, 2011. – 146 p.
8. Бунт, А. М. Геометрические параметры элементов опалубочных систем, как фактор появления гравелистой поверхности монолитных конструкций / А. М. Бунт // Успехи современной

науки. – 2016. – № 9. – С. 145–148.

9. Анализ причин обрушения опалубочных систем в строящихся зданиях при устройстве монолитных перекрытий / В. И. Томаков, М. В. Томаков, Е. Г. Пахомова, В. В. Андриенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2018. – Т. 8, № 4 (29). – С. 79–92.
10. DIN EN 12812 – 2004. Falsework – Performance requirements

REFERENCES

1. Sokolov, G. K. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva : ucheb-nik dlya studentov uchrezhdenij srednego professional'nogo obrazovaniya [Technology and organization of construction: textbook for students of institutions of secondary vocational education] / G. K. Sokolov. – 9-e izd., ster. [9th ed., erased]. – Moscow : Academy, 2012 – 159 p.
2. 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 : Vysshaya shkola, 2004. – 261 p.
3. Fridkin, V. M. Formoobrazovanie stroitel'nykh konstruksij: monografiya [Shaping of building structures: monograph] / V. M. Fridkin ; M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, FGBOU VO «Mosk. gos. stroit. un-t» [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Moscow State Construction University]. – Moscow : MGSU, 2011. – 168 p.
4. 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 buildings due to optimization of shuttering works] / D. A. Pogodin, N. N. Spiridonov, A. A. Khalidov. – DOI 10.15862/07SATS219 // Transportnye sooruzheniya [Transport facilities]. – 2019. – Vol. 6, № 2. – P. 7.
5. Bunt, A. M. Analiz ehkspluatatsii opalubochnykh zamkov v usloviyakh rossijskikh stroitel'nykh ploshhadok [Analysis of the operation of shuttering locks in the conditions of Russian construction sites] / A. M. Bunt // Tekhnologii Betonov [Concrete Technologies]. – 2015. – № 11–12 (112–113). – P. 23–25.
6. Druzhinina, O. E. Vozvedenie zdaniy i sooruzhenij s primeneniem monolitnogo betona i zhelezobetona : tekhnologii ustojchivogo razvitiya : uchebnoe posobie [Construction of buildings and structures using monolithic concrete and reinforced

and general design : German version EN 12812:2004 : Date of rate 01.09.2004.

11. Круглый стол. Современные опалубочные системы как фактор обеспечения качества и надежности строительных объектов / М. В. Воловик, М. Н. Ершов, А. В. Ишин, О. П. Лянг, Д. К. Туманов, А. А. Лapidus, О. А. Фельдман, М. Е. Лейбман, В. И. Теличенко // Технология строительного производства. – 2013. – № 1. – С. 14–18.
- concrete : technologies of sustainable development : text-book] / O. E. Druzhinina, N. E. Mushtayeva. – Moscow : Course; INFRA-M, 2013. – 124 p.
7. Peurifoy, R. L. Formwork for concrete structures / R. L. Peurifoy, G. D. Oberlender. – 4th ed. – USA : The McGraw-Hill Companies, 2011. – 146 p.
 8. Bunt, A. M. Geometricheskie parametry ehlementov opalubochnykh sistem, kak faktor poyavleniya gravelistoj poverkhnosti monolitnykh konstruksij [Geometric parameters of the elements of formwork systems as a factor in the appearance of gravelly surfaces of monolithic structures] / A. M. Bunt // Usp ekhi sovremennoj nauki [Successes of modern Science]. – 2016. – № 9. – P. 145–148.
 9. Analiz prichin obrusheniya opalubochnykh sistem v stroyash-hikhysya zdaniyakh pri ustrojstve monolitnykh perekrytij [Analysis of the causes of the collapse of formwork systems in buildings under construction when installing monolithic floors] / V. I. Tomakov, M. V. Tomakov, E. G. Pakhomova, V. V. Andrienko // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii [Proceedings of the Southwestern State University. Series: Engineering and Technology]. – 2018. – Vol. 8, № 4 (29). – P. 79–92.
 10. DIN EN 12812 – 2004. Falsework – Performance requirements and general design : German version EN 12812:2004 : Date of rate 01.09.2004.
 11. Kругlyj stol. Sovremennye opalubochnye sistemy kak faktor obespecheniya kachestva i nadezhnosti stroitel'nykh ob'ektov [Round table. Modern shuttering systems as a factor of ensuring the quality and reliability of construction objects] / M. V. Volovik, M. N. Ershov, A. V. Ishin, O. P. Liang, D. K. Tumanov, A. A. Lapidus, O. A. Feldman, M. E. Leibman, V. I. Telichenko // Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva [Technology of construction production]. – 2013. – № 1. – P. 14–18.

УДК 658.51

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_29

Оценка препятствий внедрения цифровых информационных моделей в строительную отрасль Сомали

Assessing of Barriers to Implement of Building Information Models in Construction Industry of Somalia

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

Ботан Хабиб Абди

Студент, кафедра «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Enghabiib95@gmail.com

Аннотация. Африканские страны, такие как Сомали, находятся на начальном этапе внедрения цифровых информационных моделей (BIM) в управление жизненным циклом строительных объектов. Этот процесс сталкивается с различными трудностями, несмотря на неоспоримые преимущества применения BIM. Целью работы является выявление и оценка основных препятствий на пути внедрения BIM в строительную отрасль Сомали для повышения эффективности управления строительными проектами. Метод опроса, в частности онлайн-анкетирование, использован для получения количественных данных для анализа. В качестве респондентов выбраны специалисты, работающие в строительной отрасли Сомали. Результаты исследования свидетельствуют о том, что инженеры-строители в Сомали все

Abstract. African countries such as Somalia are in the early stage of implementing building information models (BIM) in building lifecycle management. This process faces various difficulties, despite the undeniable advantages of using BIM. The purpose of the work is to identify and assess the main obstacles to the introduction of BIM in the construction industry in Somalia to improve the management of construction projects. The survey method, in particular online questionnaires, was used to obtain quantitative data for analysis. The respondents are specialists working in the construction industry in Somalia. The results of the study suggest that civil engineers in Somalia are still unfa-

Введение
Финансовые потери, связанные с плохим управлением проектами в строительстве, составляют около 15,8 миллиардов долларов в год, или 3–4 % от общего дохода от реализации строительных проектов в мире [1; 2]. Одним из инструментов повышения эффективности управления строительным проектом на всех стадиях его жизненного цикла является внедрение цифровых информационных моделей (Building Information Model –BIM) в строительную отрасль [3–5].

Информационное моделирование строительных объектов (Building Information Modelling – BIM) в некоторых развитых странах, таких как США и Великобритания, внедряется с 1990-х годов [1; 4]. Однако страны африканского континента, в частности Сомали, пока находятся на начальном этапе внедрения BIM в управление жизненным циклом строительных объектов. На данный момент этот процесс сталкивается с различными трудностями, несмотря на неоспоримые преимущества применения цифровых информационных моделей в строительстве.

Примерами успешного использования BIM при управлении жизненным циклом строительных объектов в Сомали являются строительство мечети Али Джимале и реконструкция стадиона в Могадишо, старейшего стадиона в Африке, завершенная в 2020 году. Тем не менее, это единичные случаи, и в основном строительные компании в Сомали используют чертежи 2D CAD и методологию критического пути для оценки продолжительности проекта.

Целью настоящего исследования является выявление и оценка основных препятствий на пути внедрения BIM в строительную отрасль Сомали для повышения эффективности управления строительными проектами. Объектом исследования является применение BIM в управлении жизненным циклом строительных объектов. Предметом исследования является проблема внедрения цифровых

еще не знакомы с BIM и считают BIM продвинутым инструментом AutoCAD. Опрос выявил наличие многочисленных препятствий для внедрения информационного моделирования строительных объектов в Сомали, среди которых можно выделить три основные группы: финансовые, юридические и культурные проблемы. Результаты исследования позволяют сделать вывод о необходимости построения методики внедрения BIM в строительную отрасль Сомали с учетом выявленных факторов, замедляющих этот процесс.

Ключевые слова: цифровая информационная модель, информационное моделирование строительных объектов, Сомали, управление жизненным циклом строительных объектов.

miliar with BIM and consider BIM to be an advanced AutoCAD. The survey revealed numerous obstacles to the implementation of construction information modeling in Somalia, among which three main groups can be distinguished: financial, legal and cultural problems. The results of the study allow us to conclude that it is necessary to build a methodology for introducing BIM into the construction industry in Somalia, taking into account the identified factors that slow down this process.

Keywords: building information model, building information modelling, Somalia, management of building life cycle.

информационных моделей в строительную отрасль Сомали.

Материалы и методы
Для оценки сложностей внедрения информационного моделирования строительных объектов в Сомали авторами проанализирована информация из открытых источников, таких как научные статьи, книги и нормативные документы в области цифровых информационных моделей в строительстве.

Количественные данные для анализа получены онлайн-анкетированием с использованием социальных платформ. Данная разновидность метода опроса выбрана как наиболее быстрый и удобный для респондентов способ получения необходимых данных [6; 7]. В качестве респондентов выбраны специалисты, работающие в строительной отрасли Сомали (представители академического сообщества, архитекторы, проектировщики, представители подрядных организаций).

Анкета для опроса состояла из двух разделов (знания BIM и проблемы, связанные с внедрением BIM в Сомали), разделы охвачены в общей сложности двенадцатью вопросами.

Для обработки результатов онлайн-анкетирования использованы программа для статистической обработки данных SPSS Statistics и Microsoft Excel.

Результаты
Результаты опроса об уровне знания цифровых информационных моделей в строительстве показаны на рисунке 1, анализ которого свидетельствует, что половина респондентов никогда не использовала BIM в строительстве, 35 % опрошенных использовали BIM редко, а 15 % используют BIM регулярно, например, для построения трехмерной модели конструкции. Этот процент указывает на то, что инженеры-строители в Сомали все еще не знакомы с BIM и считают BIM продвинутым инструментом AutoCAD.

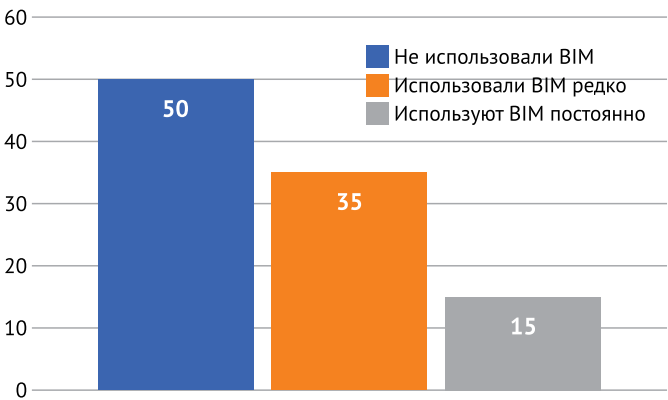


Рис. 1. Уровень знания BIM в Сомали
Fig. 1. Level of BIM knowledge in Somalia

Результаты опроса об использовании BIM в проектах респондентов показаны на рисунке 2, анализ которого свидетельствует, что 82 % респондентов используют 2D (AutoCAD), 15 % используют 3D-модели в своих проектах, в то время как только 3 % опрошенных используют 5D-модели.

Результаты опроса о потенциальных препятствиях для внедрения BIM в Сомали представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Анализ их свидетельствует о наличии многочисленных препятствий для внедрения информационного моделирования строительных объектов в Сомали. Анализируя результаты для Сомали, мы можем экстраполировать их на остальные страны континента.

Обсуждение
Для верификации результатов исследования авторами

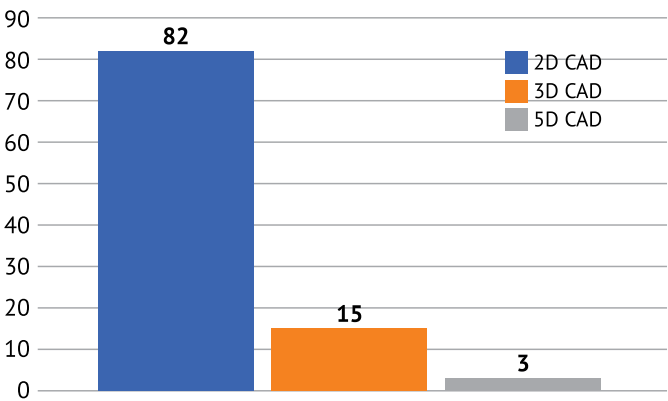


Рис. 2. Уровень использования BIM в Сомали
Fig. 2. Level of BIM usage in Somalia

№	Потенциальные препятствия для внедрения BIM-технологий в Сомали	Количество респондентов	Ответили «ДА»	Ответили «НЕТ»
1	Уровень применяемых сейчас технологий достаточен	100	80	20
2	Люди сопротивляются приобретению новых навыков	100	75	25
3	Очень высокие затраты на внедрение BIM	100	69	31
4	Недостаточная квалификация сотрудников и связанные с этим расходы	100	75	25
5	Проблема совмещения с другими, уже применяемыми, технологиями	100	71	29
6	Незнание концепции BIM	100	90	10
7	Противодействие заинтересованных сторон изменениям	100	87	13
8	Сложность установки пакета программ для информационного моделирования строительных объектов	100	54	46
9	Нехватка специалистов в области информационного моделирования строительных объектов	100	68	32
10	Отсутствие спроса на подобные проекты со стороны заказчиков	100	67	33
11	Традиционные методы заключения контрактов	100	88	12
12	Недостаточный уровень внедрения BIM в образовательные программы и курсы повышения квалификации	100	75	25

Табл. 1. Анкета для опроса (потенциальные препятствия для внедрения BIM в Сомали)
Tab. 1. Questionnaire for the survey (potential obstacles to the BIM adoption in Somalia)

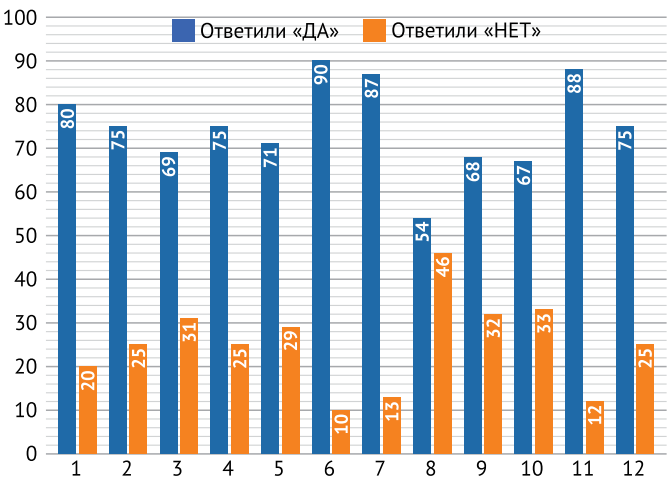


Рис. 3. Потенциальные препятствия для внедрения BIM в Сомали
Fig. 3. Chart of potential obstacles to the BIM adoption in Somalia

проанализированы научные работы исследователей из разных стран [8–14]. Основные факторы, замедляющие внедрение BIM, которые выделяют авторы исследований, сведены в таблицу 2.

Результаты, полученные авторами статьи для условий Сомали, коррелируют с работами исследователей, занимающихся проблематикой внедрения BIM в арабских странах Азии, а также в странах Восточной Европы. В работах [15; 16] отмечается, что программы обучения являются одним из самых больших препятствий для внедрения BIM, где отсутствие специалистов и чрезмерные расходы мешают инженерам использовать такую технологию в своей работе.

В статьях [8–14] также поднимаются вопросы, связанные с культурными проблемами, которые являются корнем других проблем, поэтому их решение имеет большое значение для внедрения BIM. Среди многих других факторов основными культурными проблемами являются сопротивление изменениям и отсутствие сотрудничества между заинтересованными сторонами проекта. Предпочитая малоэтажное строительство, сомалийцы не хотят использовать BIM. Отсутствие спроса со стороны клиентов и отрасли влияет на интенсивность внедрения BIM в проекты.

В работах [15; 17] отмечается, что техническим особенностям внедрения BIM уделяется много усилий, однако юридические аспекты пока не проработаны на достаточном уровне. Этот недостаток затрагивает процесс состав-

№	Сложности внедрения BIM в строительном секторе	Научные работы
1	Очень дорогое оборудование и программное обеспечение BIM	[8][9][10][11]
2	Высокая цена обучения инструментам BIM	[9][10][11][12]
3	Не хватает государственной поддержки	[8][10][12]
4	Недостаточный опыт	[9][10][12][13]
5	Отсутствие спроса на проекты с применением BIM со стороны клиентов или других предприятий	[8][10][14]
6	Оппозиция изменениям	[10][11][12][14]
7	Предположение, что технологий, применяемых сегодня, достаточно	[8][11][14]
8	Люди сопротивляются приобретению новых навыков	[8][9][14]

Табл. 2. Сложности внедрения BIM в строительном секторе
Tab. 2. The difficulties in implementing BIM in the building sector

ления договоров и ограничивает юридические обязанности по внедрению BIM. Поэтому важно включить условия использования BIM в пункты договора на проектирование при его составлении.

Тем не менее, согласно выводам исследователей, опубликованных в работах [17; 18], финансовые и инвестиционные сложности являются определяющими. С развитием BIM они приобретают большее значение. Любое использование новой технологии связано с начальными затратами. Большая часть денег, необходимых для внедрения BIM, тратится на поиск и обучение специалистов, приобретение программного и аппаратного обеспечения. Наиболее сложным компонентом является обоснование и детализация этих затрат для участников проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry / M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, L. T. Gilday, J. L. Dettbarn. – National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, Maryland, USA, 2014. – 210 p.

2. Koroteev, D. D. Cost analysis of the combined application of 3D-printing and BIM technologies in the construction industry / D. D. Koroteev, J. Huang, A. I. Koreneva // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2559. – № 040012.

3. Коротеев, Д. Д. Применение аддитивных технологий производства в строительстве на примере разработки 3D-модели с последующей печатью / Д. Д. Коротеев, А. И. Коренева // Системные технологии. – 2021. – № 2 (39). – С. 21–30.

4. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors / R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz. – Wiley, New York, USA, 2018. – 688 p.

5. Лapidus, A. A. Анализ международного опыта внедрения BIM-технологий строительного контроля высотного строительства / А. А. Лapidus, Ц. Янь // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 46–52.

6. Fellows, R. F. Research Methods for Construction / R. F. Fellows, A. M. Liu. – Wiley-Blackwell, USA, 2021. – 384 p.

7. Fewings, P. Construction Project Management. An Integrated Approach / P. Fewings, C. Henjewe. – Routledge, London, UK, 2019. – 508 p.

8. Masood, R. Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan? / R. Masood, M. K. N. Kharal, A. R. Nasirc // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 77. – P. 229–238.

9. Barriers to implementation of Building Information Modeling in scheduling and planning phase in Iran / I. Kiani, A. N. Sadeghifam, S. K. Ghomi, A. K. B. Marsono // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 9. – P. 91–97.

10. Ahmed, S. M. Barriers to BIM/4D implementation in Qatar / S. M. Ahmed, H. Emam, P. Farrell // Proceedings of the 1st

REFERENCES

1. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry / M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, L. T. Gilday, J. L. Dettbarn. – National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, Maryland, USA, 2014. – 210 p.

2. Koroteev, D. D. Cost analysis of the combined application of 3D-printing and BIM technologies in the construction industry / D. D. Koroteev, J. Huang, A. I. Koreneva // AIP Conference

Заклучение

Несмотря на то, что информационное моделирование строительных объектов дает множество преимуществ, исследование авторов статьи свидетельствует о многочисленных трудностях внедрения цифровых информационных моделей в строительную отрасль развивающихся стран. Африканские страны, такие как Сомали, интегрируют BIM в качестве основного метода проектирования и управления строительными проектами медленными темпами, сталкиваясь со множеством препятствий, на выявление и оценку которых была направлена работа авторов. Дальнейшую задачу авторы видят в построении методики внедрения BIM в строительную отрасль Сомали с учетом выявленных факторов, замедляющих этот процесс.

International Conference on Smart, Sustainable and Healthy Cities, Abu Dhabi, UAE. – UAE, 2014. – P. 533–547.

11. Banawi, A. Barriers to Implement Building Information Modeling (BIM) in Public Projects in Saudi Arabia / A. Banawi // International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics «Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure», AHFE 2017. – 2018. – P. 119–125.

12. Enhancing BIM implementation in the Ethiopian public construction sector: An empirical study / S. M. Belay, J. D. Goedert, A. Woldesenbet, S. Rokoei // Cogent Engineering. – 2021. – Vol. 8 (1). – № 1886476.

13. Lesniak, A. Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study / A. Lesniak, M. Górka, I. Skrzypczak // Energies. – 2021. – Vol. 14 (8). – № 2090.

14. Mahdi, M. Challenges Facing the Implementation of Building Information Modeling (BIM) Techniques in Iraq / M. Mahdi, D. Mawlood // Mathematics, Physics and Engineering Researches. – 2020. – Vol. – № 4.

15. Al-Gsim, Z. A Review and Comprehensive Analysis of the Performance of University – Construction Industry Collaboration / Z. Al-Gsim, A. A. Senin, M. E. B. Yusoff // Civil Engineering Journal. – 2021. – Vol. 7 (4). – P. 763–774.

16. Babatunde, S. Barriers to the incorporation of BIM into quantity surveying undergraduate curriculum in the Nigerian universities / S. Babatunde, D. Ekundayo // Journal of Engineering, Design and Technology. – 2019. – Vol. 17 (3). – P. 629–648.

17. Abdirad, H. Advancing in building information modeling (BIM) contracting: Trends in the AEC/FM industry / H. Abdirad // Proceedings of the AEI Conference 2015, Milwaukee, Wisconsin, USA. – USA, 2015.

18. Hasan, A. N. The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry / A. N. Hasan, S. M. Rasheed // Civil Engineering Journal. – 2019. – Vol. 5 (2). – P. 412–421.

Proceedings. – 2022. – Vol. 2559. – № 040012.

3. Koroteev, D. D. Primenenie additivnih tehnologiy proizvodstva v stroitel'stve na primere razrabotki 3D-modeli s posleduyushyey pechat'yu [The use of additive manufacturing technologies in construction on the example of the development of a 3D model with subsequent printing] / D. D. koroteev, A. I. Koreneva // Sistemye tehnologii [System Technologies]. – 2021. – Vol. 2 (39). – P. 21–30.

4. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors / R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz. – Wiley, New York, USA, 2018. – 688 p.

5. Lapidus, A. A. Analiz mezhdunarodnogo opita vnedreniya BIM-tehnologiy stroitel'nogo kontrolya visotnogo stroitel'stva [Analysis of International Experience in the Implementation of BIM-Technologies for Construction Control of High-Rise Construction] / A. A. Lapidus, J. Yan // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – Vol. 2. – P. 46–52.

6. Fellows, R. F. Research Methods for Construction / R. F. Fellows, A. M. Liu. – Wiley-Blackwell, USA, 2021. – 384 p.

7. Fewings, P. Construction Project Management. An Integrated Approach / P. Fewings, C. Henjewe. – Routledge, London, UK, 2019. – 508 p.

8. Masood, R. Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan? / R. Masood, M. K. N. Kharal, A. R. Nasirc // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 77. – P. 229–238.

9. Barriers to implementation of Building Information Modeling in scheduling and planning phase in Iran / I. Kiani, A. N. Sadeghifam, S. K. Ghomi, A. K. B. Marsono // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 9. – P. 91–97.

10. Ahmed, S. M. Barriers to BIM/4D implementation in Qatar / S. M. Ahmed, H. Emam, P. Farrell // Proceedings of the 1st International Conference on Smart, Sustainable and Healthy Cities, Abu Dhabi, UAE. – UAE, 2014. – P. 533–547.

11. Banawi, A. Barriers to Implement Building Information Modeling (BIM) in Public Projects in Saudi Arabia / A. Banawi // International Conference on Applied Human Factors and Er-

УДК 69; 004.942

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_33

Цифровая ведомость объемов работ – инструмент проверки цифровых информационных моделей

Digital Bill of Quantities – A Tool for Checking Building Information Models

Жаров Ярослав Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; руководитель отдела планирования и организации строительства ООО ПЦ «Развитие города», Россия, 129090, Москва, проспект Мира, 19, строение 3, этаж 5, помещение X, y.zharov@devcity-project.ru

Zharov Yaroslav Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Information Systems, Technologies and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; Head of the Department of Planning and Organization of Construction of LLC PC «City Development», Russia, 129090, Moscow, prospect Mira, 19, building 3, floor 5, room X, y.zharov@devcity-project.ru

Шабалин Михаил Сергеевич

Студент магистратуры, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия, 125167, Москва, Ленинградский проспект, 49/2; ведущий инженер-программист ООО ПЦ «Развитие города», Россия, 129090, Москва, проспект Мира, 19, строение 3, этаж 5, помещение X, m.shabalin@devcity-project.ru

Shabalin Mikhail Sergeevich

Master student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Russia, 125167, Moscow, Leningradskiy prospect, 49/2; Lead software engineer of LLC PC «City Development», Russia, 129090, Moscow, prospect Mira, 19, building 3, floor 5, room X, m.shabalin@devcity-project.ru

Аннотация. Предметной областью данной работы является формирование цифровых ведомостей объемов работ (ЦВОР). Основными проблемами исследования являются: отсутствие инструмента для проверки объемов, представляемых в проектной документации проектировщиком, и отсутствие структурированного представления объемов работ. Целью данного исследования является проверка предположения об эффективности применения ЦВОР в качестве инструмента контроля не-точностей и ошибок, заложенных в цифровых информационных моделях объектов капитального строительства (ЦИМ ОКС), а также в качестве инструмента для представления информа-

ции об объемах работ в структурированном виде. В качестве методологии приводятся принципиальная схема и алгоритм формирования ЦВОР в информационных системах на основе шаблонов с возможностью применения на типовых проектах. Результатом работы является повышение качества ЦИМ ОКС за счет обнаружения ошибок в модели, их анализа и внесения изменений на основе полученных данных об объемах работ из ЦВОР. Выполнена оценка эффективности ЦВОР в качестве инструмента проверки цифровых информационных моделей. Дополнительно рассмотрена эффективность ЦВОР вне рамок исследуемой задачи с целью сокращения трудозатрат специ-

алистов сметных отделов организации.

Ключевые слова: ведомость объемов работ, технологии информационного моделирования, спецификация, проверка

Abstract. The subject area of this work is the formation of digital bill of quantities (DBQ). The main problems of the study are: the lack of a tool for checking the volumes presented in the project documentation by the designer and the lack of a structured presentation of the scope of work. The purpose of this study is to test the assumption of the effectiveness of the use of the DBQ as a tool for controlling inaccuracies and errors embedded in building information models (BIM), as well as a tool for presenting information about the scope of work in a structured form. As a methodology, a schematic diagram and an algorithm for the formation of a DBQ in information systems based on templates with the possibility of application on standard projects are given.

Введение

С переходом на технологии информационного моделирования (ТИМ) в программах информационного моделирования спецификации начинают автоматически формироваться по заданным фильтрам и правилам расчета материалов в заранее заданных шаблонах. Из спецификаций формируется ведомость объемов работ, на основе которой будет производиться расчет локальных смет по проекту [1–4].

Для проектов, реализуемых с применением ТИМ, на этапе проектирования заказчик получает от исполнителя цифровую информационную модель объекта (ЦИМ ОКС), комплекты разработанной проектной документации с посчитанной ведомостью объемов работ (ВОР). В настоящее время общепринятой методики проверки соответствия ВОР и ЦИМ ОКС не представлено [5; 6]. Авторами статьи предлагается рассмотреть алгоритм формирования цифровых ведомостей объемов работ (ЦВОР) и проверки соответствия ВОР проектным решениям и сметной документации.

№	Тип ошибки	Возможные причины	Ответственный специалист	Последствия
1	Неверный фильтр для отбора элементов в спецификацию	Отсутствие стандартов заполнения атрибутов элементов, что влечет за собой применение нетиповых фильтров для спецификаций. Механическая ошибка. Отсутствие локальных проверок	Проектировщик (специалист). Сотрудник отдела ТИМ	Уменьшение объема работы (при отборе не всех необходимых элементов) / Дублирование объема (при отборе лишних элементов)
2	Неверная формула расчета элементов в спецификации	Механическая ошибка, связанная со сложностью формул. Отсутствие регламента формирования спецификаций. Незнание специалистом формул	Проектировщик (глав. специалист). Сотрудник отдела ТИМ	Уменьшение/увеличение объема работ
3	Отсутствие в элементе атрибута, на основе которого ведется подсчет объема позиции	Применение семейств из открытых источников или иных организаций без предварительной настройки под проект организации	Сотрудник отдела ТИМ	Уменьшение объема работ
4	Отсутствие всех необходимых спецификаций	Халатность специалиста. Отсутствие регламента проверки на занесение всех элементов в спецификации	Сотрудник отдела ТИМ / проектировщик	Уменьшение объема работ
5	Использование «коэффициента запаса»	—	Сотрудник отдела ТИМ / проектировщик	Подсчет объемов никак не связан с реальным объемом
6	Формирование спецификации вручную	Отсутствие шаблона спецификации. Незамоделированность элементов вследствие отсутствия необходимого семейства	Сотрудник отдела ТИМ	Нисхождение с реальным объектом при внесении изменений в ЦИМ ОКС
7	Намеренная фальсификация предоставляемых объемов работ [6]	—	Сотрудник отдела ТИМ / проектировщик (специалист) / проектировщик (глав. специалист)	Уменьшение/увеличение объема работ

Табл. 1. Перечень типовых ошибок в спецификация ЦИМ ОКС
Tab.1. List of typical errors in the BIM specification

цифровых информационных моделей, качество проектных решений, оценка ЦИМ ОКС.

The result of the work is to improve the quality of the BIM, by detecting errors in the model, analyzing them and making changes, based on the data obtained on the volume of work from the DBQ. The evaluation of the effectiveness of the BIM, as a tool for checking building information models, was carried out. Additionally, the effectiveness of the DBQ is considered outside the scope of the task under study in order to reduce the labor costs of specialists of the organization's estimate departments.

Keywords: bill of quantities, building information modeling, specification, information models validation, quality of design solutions, estimate of building information model.

Отличием цифровой ведомости объемов работ является представление объемов работ в цифровом структурированном формате с табличным представлением информации, пригодной для использования в различных программных комплексах (сметные ПК и среды АКСП).

Предпосылки к формированию ЦВОР

Необходимость проверки ВОР обуславливается наличием типовых ошибок при формировании спецификаций в программах информационного моделирования ответственными специалистами в организации [7–11]. В результате анализа различных ЦИМ ОКС авторами сформирован перечень типовых ошибок, представленных в таблице 1. Наличие ошибок в спецификациях влечет за собой ошибки в ВОР и далее при определении сметной стоимости работ [12; 13].

Для минимизации ошибок при формировании ВОР авторами предлагается использовать информационные системы (программное обеспечение) для формирования ЦВОР. Разработка ЦВОР способствует выявлению ошибок в ЦИМ ОКС и позволяет повысить качество про-

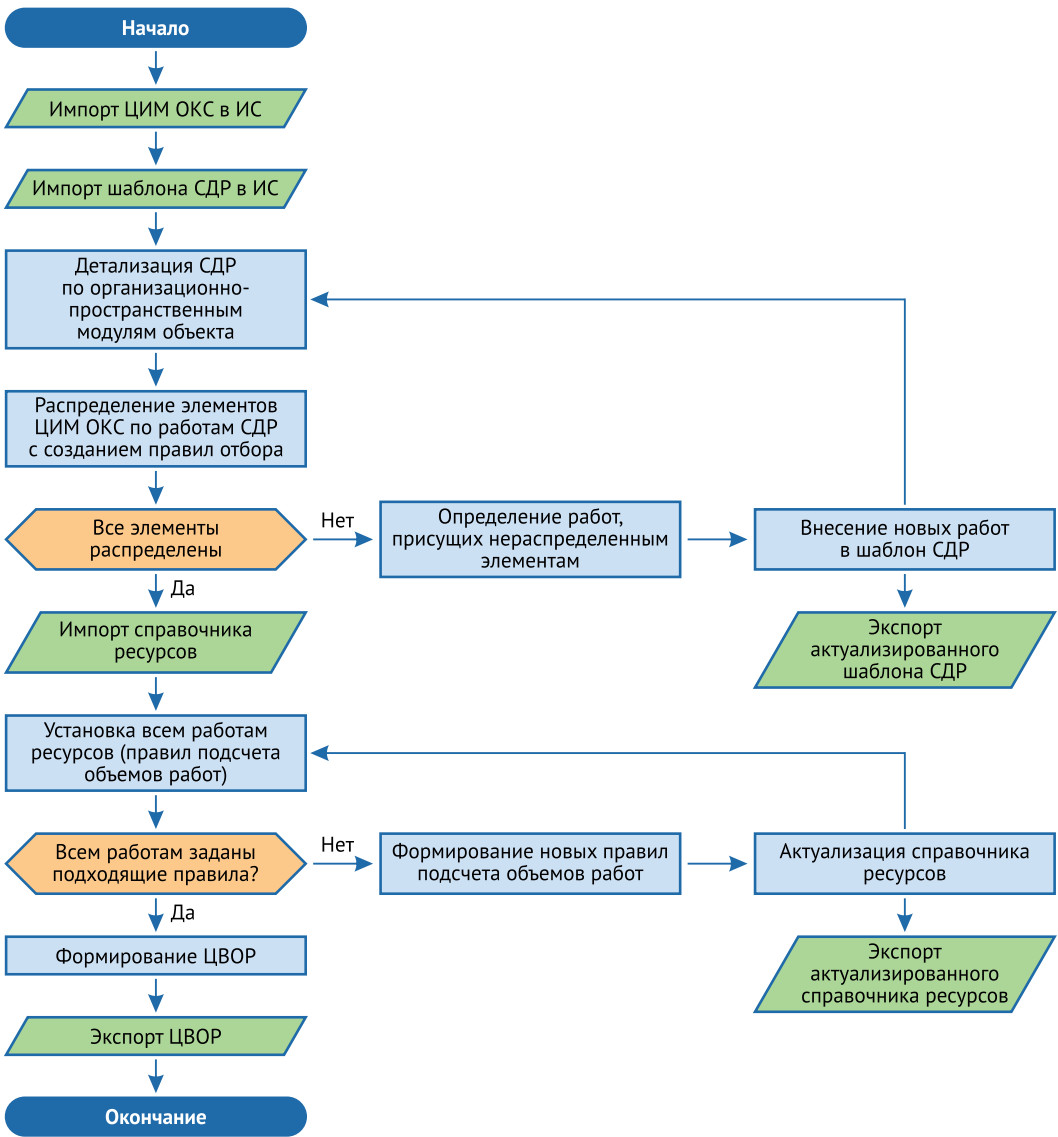


Рис. 1. Принципиальная схема формирования ЦВОР
Fig. 1. Schematic diagram of the formation of the DTQ

ектных решений (в формате ЦИМ ОКС), сметной документации и точность комплексного графика реализации проекта.

Целью данного исследования является проверка предположения об эффективности применения ЦВОР в качестве инструмента контроля неточностей и ошибок, заложенных в ЦИМ ОКС.

Материалы и методы
Описание схемы формирования ЦВОР для типовых проектов

ЦИМ ОКС может передаваться заказчику как в общедоступном (открытом) формате (IFC), так и в проприетарном (прим. RVT). В зависимости от имеющегося формата, следует применять соответствующую информационную систему (ИС), поддерживающую данный формат. Принципиальная схема формирования ЦВОР для типовых проектов представлена на рисунке 1.

Создается проект для формирования ЦВОР в ИС, в который импортируется ЦИМ ОКС.

Шаблон структуры декомпозиции работ проекта (СДР) задается заказчиком исходя из потребности в детализации ВОР и условий ее последующего применения. Шаблон СДР является неотъемлемой частью процесса формирования ВОР и импортируется в виде справочника

в ИС. Следует понимать, что шаблон СДР содержит обобщенный перечень работ и при необходимости может быть дополнен и детализирован в соответствии с принятым делением объекта на организационно-пространственные модули (здание, корпус, секция, этаж, захватка).

С учетом применения ЦИМ ОКС критически важным подпроцессом является привязка элементов ЦИМ ОКС к соответствующим работам путем назначения правил отбора. При этом следует внимательно анализировать элементы, попадающие в правило отбора. При включении в правило отбора лишних элементов объем работы увеличится, при избыточности условий часть элементов может стать неучтенной. Для ускорения и повышения точности привязки элементов ЦИМ ОКС к работам на этапе моделирования предлагается предусмотреть назначение кода работы и кода пространственного положения всем элементам.

По окончании привязки элементов к работам выполняется проверка на наличие нераспределенных элементов. Если элементы не представляется возможным привязать к текущему набору работ – следует ввести новые дополнительные работы и актуализировать шаблон СДР для возможности его применения как в настоящем, так и в будущих проектах.

Подсчет объемов ведется из атрибутов элементов ЦИМ ОКС по правилам подсчета. Для корректного подсчета объемов работ необходимо утвердить правила подсчета и составить справочник ресурсов на их основе. Справочник ресурсов импортируется в ИС, и на его основе назначаются правила подсчета объемов на работы в СДР. Производится проверка на присвоение ресурсов всем работам. Если ранее ресурс не использовался для него – следует прописать формулу для получения объема и актуализировать справочник ресурсов, после чего назначить на конкретную работу.

После присвоения всем работам ресурсов формируется ЦВОР. По всем позициям работ рассчитываются их объемы. Фрагмент сформированной ЦВОР в ИС представлен на рисунке 2. Результат возможно выгрузить в различные табличные представления XLS, а также в машиночитаемых форматах XML и JSON. В дальнейшем полученные материалы возможно использовать для проверки представленной сметной документации и формирования графика производства работ.

При обнаружении несоответствий локальной сметы и ЦВОР, ЦИМ ОКС и связанные с ней комплекты чертежей следует отправить на доработку автору проекта. Далее представлен перечень основных причин несоответствий ЦИМ ОКС и ЦВОР, полученный опытным путем:

- у элемента отсутствует атрибут для выполнения отбора;
- у элемента отсутствует атрибут для выполнения подсчета;
- неверный подсчет объема для локальной сметы;
- отсутствие объема в локальной смете;
- не учтены особенности экспорта в иной формат (вложенное семейство становится отдельным элементом; элемент, выполненный несколькими контурами, делится на несколько элементов и т. п.).

Точность оценки позволяет выявить отклонения до 0,01 %.

После доработки ЦИМ ОКС в проекте следует заменить только файл модели и выполнить перерасчет ЦВОР. Частным случаем при обновлении модели является введение новых строительных материалов и новых работ в

СДР. В данном случае следует обновить СДР и справочник ресурсов.

Представленная методика является обобщенной. При использовании конкретной ИС в алгоритм следует вносить корректировки и уточнения в соответствии с логикой работы программного комплекса.

Результаты

Представленная методика испытывалась как дополнительная проверка модели перед отправкой заказчику, что позволило выявить ряд ошибок, которые в дальнейшем были устранены. За счет использования формата IFC были обнаружены ошибки, возникающие только при экспорте ЦИМ ОКС в общеобменный формат. Примером такой ошибки является моделирование нескольких капителей одним элементом, в результате чего при экспорте они делились на их количество как отдельные элементы, в атрибуты которых заносились атрибуты геометрии исходного элемента. В результате происходило увеличение объема по позиции, кратное их количеству. При этом данную ошибку невозможно увидеть в среде ИМ, так как в ней позиция считается корректно.

По результатам анализа несоответствий скорректированы правила моделирования и валидации ЦИМ ОКС. Точность моделирования увеличилась до необходимого уровня. В разделе КР при первом формировании ЦВОР корректность ЦИМ ОКС составила около 70 %, а после доработки модели процент соответствия объемов составил 99,45 %.

Использование ЦВОР вне рамок рассматриваемой задачи

На основе полученной ЦВОР возможно рассчитать продолжительность выполнения каждой из работ (СДР) при наличии эталона для связи продолжительности работы с ее физическим объемом [13].

ЦВОР значительно снизит трудозатраты специалистов сметных отделов. На ее основе возможно произвести импорт данных в сметные программные комплексы [14].

Заключение

Приведенные исследования показали эффективность применения ЦВОР для контроля качества моделирования при входном контроле проектных решений заказчи-

ком, а также для организации промежуточного контроля и валидации ЦИМ ОКС.

Разнообразие информационных систем, которые возможно применять для формирования ЦВОР, позволяет заказчику типизировать проверки для всех видов проек-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Бозин, М. М. Технологии информационного моделирования в формировании механизма сметных расчетов в строительстве / М. М. Бозин, М. А. Василенко, Е. Л. Кузина // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики. – 2021. – № 7. – С. 248–254.

3. Никитина, Е. А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию / Е. А. Никитина // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 12 (72). – С. 1–9.

4. Nadeem, A. Bill of Quantities with 3D Views Using Building Information Modeling / A. Nadeem, A. K. D. Wong, F. K. W. Wong. – DOI https://doi.org/10.1007/s13369-015-1657-2 // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2015. – № 40. – P. 2465–2477.

5. Алгоритмизация систем планирования, управления и обработки информации в строительстве / И. Л. Киевский, С. В. Аргунов, Я. В. Жаров, А. Ю. Юргайтис. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24 // Промышленное гражданское строительство. – 2022. – № 11. – С. 14–24.

6. Jurakulovna, J. G. The Necessity and Theoretical Basis of Financial Statement Analysis in Modern Management / J. G. Jurakulovna // Academic Journal of Digital Economics and Stability. – 2021. – Vol. 7. – P. 89–95.

7. Development of an Ontological Cost Estimating Knowledge Framework for EPC Projects / H. Im, M. Ha, D. Kim, J. Choi. – DOI https://doi.org/10.1007/s12205-021-1582-8 // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2021. – № 25. – P. 1578–1591.

8. Малышев, В. Н. Система контроля качества разработки про-

REFERENCES

1. 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. – № 2. – P. 29–34.

2. Buzin, M. M. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v formirovanii mekhanizma smetnykh raschetov v stroitel'stve [Information modeling technologies in the formation of the mechanism of estimated calculations in construction] / M. M. Bozin, M. A. Vasilenko, E. L. Kuzina // Finansovye aspekty strukturnykh preobrazovaniy ehkonomiki [Financial aspects of structural transformations of the economy]. – 2021. – № 7. – P. 248–254.

3. Nikitina, E. A. Vnedrenie BIM-tekhnologij v smetnuyu dokumentaciju. [Implementation of BIM technologies in the estimate documentation] / E. A. Nikitina // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2020. – № 12. – P. 1–9.

4. Nadeem, A. Bill of Quantities with 3D Views Using Building Information Modeling / A. Nadeem, A. K. D. Wong, F. K. W. Wong. – DOI https://doi.org/10.1007/s13369-015-1657-2 // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2015. – № 40. – P. 2465–2477.

5. Kievsky, I. L. Algoritimizatsiya sistem planirovaniya, upravleniya i obrabotki informatsii v stroitel'stve [Algorithmization of planning, management and information processing systems in

тов (независимо от функционального назначения ОКС), при этом имея невысокие локальные вычислительные мощности или используя облачные решения (специализированные среды общих данных), предоставляемые производителем программного обеспечения.

ектно-сметной документации на основе методов проектного управления / В. Н. Малышев // Экономический вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2021. – № 1. – С. 52–68.

9. Honnappa, D. BIM-based framework to quantify delays and cost overruns due to changes in construction projects / D. Honnappa, S. P. S. Padala. – DOI https://doi.org/10.1007/s42107-022-00451-x // Asian Journal of Civil Engineering. – 2022. – № 23. – P. 707–725.

10. Каленых, К. С. Экспертиза сметной документации в строительстве: состояние и проблемы / К. С. Каленых // Молодежный вестник. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 58–63.

11. Киевский, И. Л. Формирование центров компетенций применения технологии информационного моделирования в строительстве / И. Л. Киевский, Я. В. Жаров. – DOI 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10 // Промышленное гражданское строительство. – 2021. – № 11. – С. 4–10.

12. Сборщиков, С. Б. Основные положения концепции реинжиниринга территории и застройки / С. Б. Сборщиков, П. А. Журавлев. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.3.365-376 // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 365–376.

13. Лазарева, Н. В. Формализованное описание процедуры принятия решений на основе информационных моделей в рамках строительно-технической экспертизы / Н. В. Лазарева, А. Ю. Зиновьев. – DOI 10.21869/2311-1518-2022-38-2-50-62 // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2022. – № 2 (38). – С. 50–62.

14. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends / M. Bilal, L. O. Oyedele, J. Qadir, K. Munir, S. O. Ajayi, O. O. Akinade, H. A. Owolabi, H. A. Alaka, M. Pasha. // Advanced Engineering Informatics. – 2016. – Vol. 30, Iss. 3. – P. 500–521.

construction] / I. L. Kievsky, S. V. Argunov, I. V. Zharov, A. Y. Yurgaitis. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24 // Promyshlennoe grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial civil construction]. – 2022. – № 11. – P. 14–24.

6. Jurakulovna, J. G. The Necessity and Theoretical Basis of Financial Statement Analysis in Modern Management / J. G. Jurakulovna // Academic Journal of Digital Economics and Stability. – 2021. – Vol. 7. – P. 89–95.

7. Development of an Ontological Cost Estimating Knowledge Framework for EPC Projects / H. Im, M. Ha, D. Kim, J. Choi. – DOI https://doi.org/10.1007/s12205-021-1582-8 // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2021. – № 25. – P. 1578–1591.

8. Malyshev, V. N. Sistema kontrolya kachestva razrabotki proektno-smetnoj dokumentatsii na osnove metodov proektnogo upravleniya [Quality control system for the development of design and estimate documentation based on project management methods] / V. N. Malyshev // Ehkonomicheskij vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya [Economic Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management]. – 2021. – № 1. – P. 52–68.

9. Honnappa, D. BIM-based framework to quantify delays and cost overruns due to changes in construction projects / D. Honnappa, S. P. S. Padala. – DOI https://doi.org/10.1007/s42107-022-00451-x // Asian Journal of Civil Engineering. – 2022. – № 23. – P. 707–725.

10. Kalenykh, K. S. Ekspertiza smetnoj dokumentatsii v stroitel'stve:

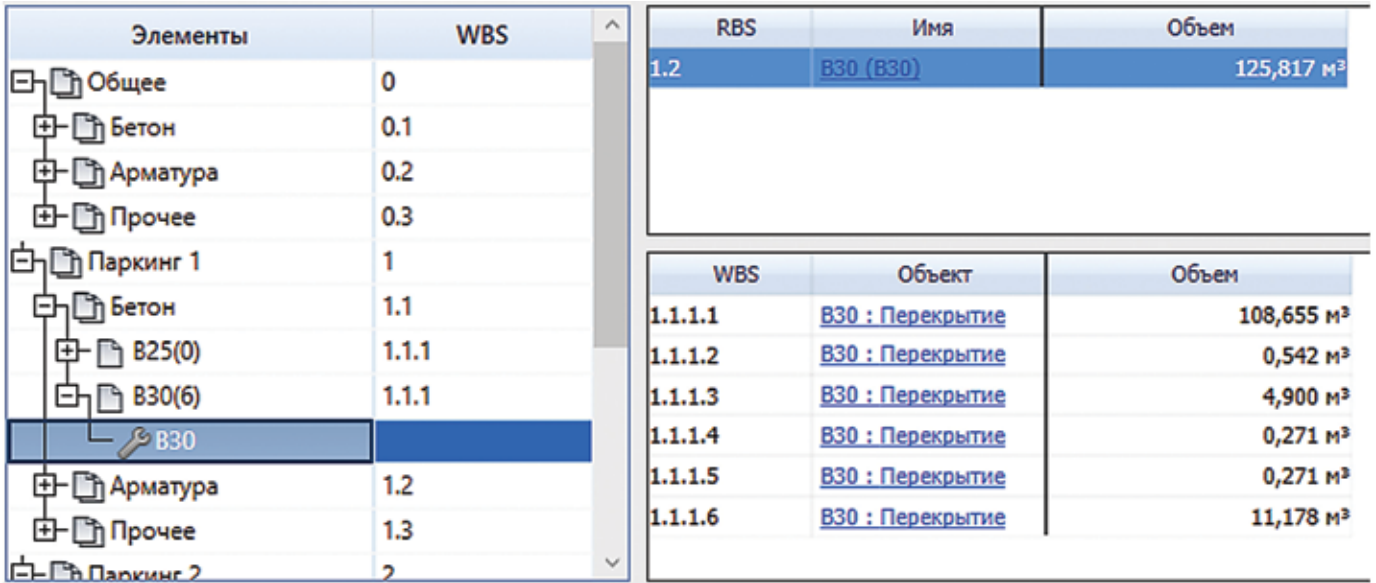


Рис. 2. Фрагмент ЦВОР
Fig. 2. The fragment of the DTQ

Существует несколько различных методов монтажа, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества. Вот некоторые из них:

1. Ручной монтаж: это один из самых распространенных методов, при котором работники выполняют установку и сборку компонентов своими руками. Этот метод подходит для малых проектов или сложных конструкций, требующих высокой точности и детальности.
2. Механический монтаж: этот метод использует механическое оборудование, такое как винтовые или пневматические инструменты, для ускорения процесса установки и сборки. Он подходит для более крупных проектов, где необходимо выполнять многообразные и сложные операции.
3. Автоматический монтаж: этот метод использует автоматизированное оборудование, такое как роботы или линии по производству, для выполнения монтажа. Этот метод подходит для очень крупных проектов, где требуется высокая скорость и точность.

В зависимости от организации подачи сборных элементов под монтаж различают два метода монтажа: с предварительной раскладкой элементов в зоне действия монтажного крана и непосредственно с транспортных средств, т. е. «с колес». Последний метод более экономичный, но требует очень четкой организации и согласованности монтажного и транспортного процессов, что на практике трудно обеспечить [3].

В зависимости от характера сборных элементов применяют различные методы их монтажа, в том числе мелко-элементный, поэлементный и блочный, а также монтаж готовыми сооружениями [2].

По последовательности возведения их вверх, т. е. по высоте, различают методы: наращивания, когда в начале монтируют нижерасположенные конструкции, а затем наращивают вышерасположенные; подрачивания, когда сначала монтируют конструкции верхнего яруса или этажа и затем их поднимают на некоторую высоту, после ведут монтаж следующего нижерасположенного, который поднимают и соединяют с верхним и т. д., пока не будут смонтированы все ярусы или этажи здания [2].

В зависимости от приемов монтажа, обеспечивающих необходимую степень свободы и очередность установки элементов в проектное положение, различают методы: свободный, принудительный, ограниченно свободный, дифференцированный, комплексный и комбинированный [1].

В состав комплексного технологического процесса монтажа строительных конструкций входит совокупность всех процессов и операций, в результате выполнения которых получают каркас, часть здания или сооружения или сами здания и сооружения. Они позволяют получить готовую строительную продукцию, и сами эти процессы подразделяются на транспортные, подготовительные и собственно монтажные.

Собственно монтажные процессы включают: строповку (захват), подъем (перемещение), наводку, ориентирование и установку конструкции в проектное положение с временным креплением, расстроповку, выверку, окончательное закрепление конструкции и снятие временных креплений [8].

строительства, таких как разгрузка, транспортировка и монтаж материалов. Выбор машин должен основываться на характеристиках проекта, в том числе на объеме и типе материалов, удаленности рабочих мест и условиях доступа. Кроме того, выбор машин должен учитывать их надежность и безопасность.

Метод монтажа определяет способ присоединения или установки компонентов и конструкций, поэтому может влиять на срок выполнения строительных работ в существенной мере. Ниже перечислены некоторые из популярных методов монтажа и их влияние на сроки выполнения работ [2].

1. Монтаж на месте: этот метод предполагает установку компонентов и конструкций прямо на месте строительства. Он может быть медленным из-за необходимости перемещения материалов и оборудования, но этот метод может быть полезен при сложных условиях доступа.

2. Предварительный монтаж: этот метод предполагает установку компонентов и конструкций в заводских условиях до доставки на место строительства. Это может ускорить сроки выполнения, так как многие работы могут быть выполнены заранее, но может потребоваться дополнительное время на доставку и установку на месте. Также необходимо учитывать, что при этом методе могут возникнуть трудности с доступом и перемещением больших конструкций.

3. Смешанный метод: этот метод комбинирует предыдущие два метода и может быть использован в зависимости от условий строительства.

Важно отметить, что выбор метода монтажа должен основываться на различных факторах, таких как тип конструкции, доступность места установки, доступность ресурсов и бюджет. Важно также учитывать влияние выбранного метода на безопасность и качество работ.

В целом, правильный выбор метода монтажа может улучшить эффективность и ускорить сроки выполнения строительных работ, а также повысить качество выполнения работ и безопасность на объекте строительства [2].

При выборе варианта производства монтажных работ и комплекта оборудования следует рассматривать комплексно все факторы, влияющие на эффективность. В качестве оптимального принимают вариант с меньшими продолжительностью, трудоемкостью и себестоимостью работ, а в случае если эти показатели по-разному характеризуют сравниваемые варианты, предпочтительно принимать вариант с наименьшими продолжительностью, трудоемкостью и приведенными затратами [3; 4].

Материалы и методы

Методы монтажа могут варьироваться в зависимости от типа работ, требований к качеству, ограничений по времени и бюджету. Например, если работы выполняются в условиях ограниченного доступа, может потребоваться использование более дорогого метода, например такого, как монтаж на высоте с помощью специализированной аппаратуры [5].

Комплект машин также имеет влияние на выполнение работ в заданный срок. Использование современного и надежного оборудования может ускорить процесс монтажа и уменьшить риск непредвиденных задержек. Однако это также может повысить итоговую стоимость работ [6; 7].

№ 3. – P. 365–376.

13. Lazareva, N. V. Formalizovannoe opisanie protsedury prinyatiya reshenij na osnove informatsionnykh modelej v ramkakh stroitel'no-tekhnicheskoy ekspertizy [Formalized description of the decision-making procedure based on information models within the framework of construction and technical expertise] / N. V. Lazareva, A. Y. Zinov'ev. – DOI 10.21869/2311-1518-2022-38-2-50-62 // Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: person, region, technology]. – 2022. – № 2 (38). – P. 50–62.
14. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends / M. Bilal, L. O. Oyedele, J. Qadir, K. Munir, S. O. Ajayi, O. O. Akinade, H. A. Owolabi, H. A. Alaka, M. Pasha. // Advanced Engineering Informatics. – 2016. – Vol. 30, Iss. 3. – P. 500–521.

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_38

УДК 69

Выбор метода монтажа и комплекта машин при выполнении работ в заданный срок

Selection of the Installation Method and the Set of Machines when Performing Work in a Given Time

Познахирко Татьяна Юрьевна

Старший преподаватель кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, top1977@ya.ru

Poznakhirko Tatiana Yurievna

Senior Lecturer of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, top1977@ya.ru

Васильев Иван Вячеславович

Студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, ivan4626.03.10@gmail.com

Vasiliev Ivan Vyacheslavovich

Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, ivan4626.03.10@gmail.com

Аннотация. Предлагаемая статья посвящена выбору организационно-технологических решений монтажа и подбора комплекта машин. В процессе своего формирования и развития человеческая цивилизация постоянно испытывала потребность в теплых и безопасных жилищах, которая неумолимо росла с развитием общества и технологий, в свою очередь, подаривших нам невообразимые ранее темпы, объемы и масштаб нового строительства. Одним из таких достижений науки стало появление незаменимой сейчас строительной техники. Она позволяет во много раз повысить эффективность строительного производства, сократить сроки возведения объектов.

Комплекты и комплексы машин обеспечивают различные технологические потоки. Комплекты машин обеспечивают част-

ный поток или простой рабочий процесс. Комплексы машин обеспечивают специализированные потоки, представляющие собой сложные комплексные процессы, и объектные потоки – комплексы работ. Наиболее машиноемкой стадией возведения объекта является его монтаж, поэтому от выбора средств для его выполнения в основном зависит стоимость, трудоемкость и время производства работ. В статье предложены инструменты по выбору метода монтажа, комплектов строительных машин при выполнении работ в заданный срок. Они проиллюстрированы конкретными примерами.

Ключевые слова: монтаж, комплекты, комплексы, строительные машины, производство строительно-монтажных работ в заданный срок.

now construction of an object is its installation, therefore, the cost, labor intensity and time of work mainly depends on the choice of means for its implementation. The article offers tools for choosing the method of installation, sets of construction machines when performing work in a given time. They are illustrated with concrete examples.

Keywords: installation, kits, complexes, construction machines, production of construction and installation works in a given time.

фективность, скорость и качество работы, а также влияют на финансовые затраты на проект [1].

Комплект машин включает в себя технику, необходимую для выполнения различных операций в процессе

Введение

Выбор комплекта машин и метода монтажа в процессе строительного производства является важным этапом для успешного выполнения проекта. Они определяют эф-

Указанная структура процесса монтажа строительных конструкций в основном справедлива для всех случаев монтажа зданий и сооружений, однако при монтаже некоторых из них структура эта может быть уточнена в сторону увеличения или уменьшения подлежащих выполнению отдельных операций и процессов [8; 9].

Следует отметить, что выбор метода монтажа может иметь влияние на итоговую стоимость работ. Например, ручной монтаж может быть дороже, чем механический или автоматический монтаж, поскольку требуется больше работников для его выполнения. Однако в некоторых случаях, например, при монтаже элементов в труднодоступных местах ручной метод может быть единственным возможным.

Общая стоимость работ также зависит от комплекта машин, используемых при монтаже. Например, использование более продвинутых машин с высокой скоростью и точностью может увеличить стоимость, но может также ускорить процесс и улучшить качество работ.

Важным параметром при выборе метода монтажа и комплекта машин является критерий оптимальности – набор критериев, которые позволяют оценить и выбрать наиболее оптимальный вариант в условиях ограниченных ресурсов. Выбор метода монтажа и комплекта машин влияет на эффективность и экономическую выгоду проекта [10].

Обычно в качестве критериев оптимальности используются следующие параметры:

1. Стоимость: цена метода монтажа и комплекта машин должна быть конкурентоспособной и экономически оправданной.
2. Качество: выбранный метод монтажа и комплект машин должны обеспечивать высокое качество исполнения работ.
3. Эффективность: выбранный метод монтажа и комплект машин должны позволять выполнять работы быстро и эффективно.
4. Надежность: выбранный метод монтажа и комплект машин должны быть надежными и обеспечивать стабильную работу в течение всего срока эксплуатации.
5. Удобство: выбранный метод монтажа и комплект машин должны быть простыми в использовании и удобными для операторов.
6. Экологическая безопасность: выбранный метод монтажа и комплект машин должны соответствовать экологическим стандартам и не причинять вреда окружающей среде.

Оценка каждого из этих критериев помогает принимать оптимальные решения при выборе метода монтажа и комплекта машин. Однако следует иметь в виду, что важность каждого критерия может зависеть от конкретного проекта и его условий.

Результаты

На основании анализа конструктивного решения и технологической возможности монтажа назначаются варианты возможных методов монтажа и возможных для использования кранов ($i = 1, 2, \dots, n$). Вариантом может являться технологическая схема, отличающаяся методом монтажа, или краном, или схемой проходки кранов. Для каждого варианта определяются продолжительность частных потоков на одной секции здания (или любом

повторяющемся участке), продолжительность частных потоков на начальных и конечных захватках, продолжительность монтажа одной секции одним комплектом кранов [8; 9].

Изменение типа секции (крайняя, крайняя торцовая, угловая, средняя) незначительно влияет на машиноёмкость – в пределах 1–5 %, поэтому при расчетах можно использовать один тип секции (крайнюю или среднюю) [11; 12].

Продолжительность частного потока на одной секции определяется как

$$t_{ri} = \sum_{ri} \frac{V_i}{\Pi_j} + a_{ri}, \quad (1)$$

где V_j – объемы работ по j -м разновидностям конструкций;

Π_j – производительность крана по разновидностям конструкций;

a_{ri} – затраты непроизводительного времени по частному потоку i -го метода.

Продолжительность частных потоков на начальных и конечных захватках определяется как

$$t_{ri}^H = \sum_{ri} \frac{V_j^H}{\Pi_j} + a_{ri}^H, \quad (2)$$

$$t_{ri}^K = \sum_{ri} \frac{V_j^K}{\Pi_j} + b_{ri}^K, \quad (3)$$

где V_j – объемы работ по j -м разновидностям конструкций;

Π_j – производительность крана по разновидностям конструкций;

a_{ri} – затраты непроизводительного времени по частному потоку i -го метода.

Величины захваток определяются по технологическим соображениям и соображениям техники безопасности как минимально возможные из условия возможности начала монтажа конструкций последующего частного потока. Определение продолжительности производится по принципам теории поточности. Если продолжительность последующего частного потока больше продолжительности предыдущего, привязка – по начальной захватке предыдущего потока; если продолжительность последующего частного потока меньше продолжительности предыдущего, привязка – по конечной захватке последующего потока [13].

Зависимость продолжительности монтажа одним комплектом от числа секций, продолжительности монтажа одной секции и схемы увязки частных потоков выражается как

$$T_i = a_i + b_i n_i, \quad (4)$$

где n_i – число секций;

a_i, b_i – коэффициенты, определяемые при увязке частных потоков.

Например, для 1-го случая (рисунок 1):

$$a = \Sigma \delta; b = t_3.$$

Для 2-го случая:

$$a = \Sigma \theta; b = t_1.$$

Для 3-го случая:

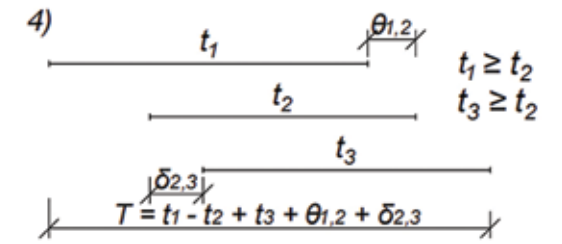
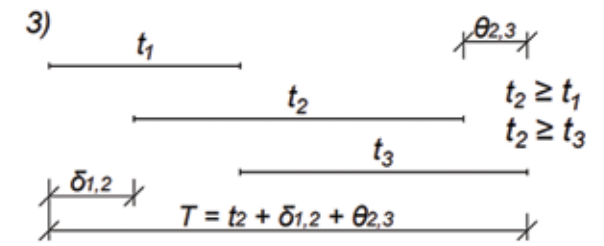
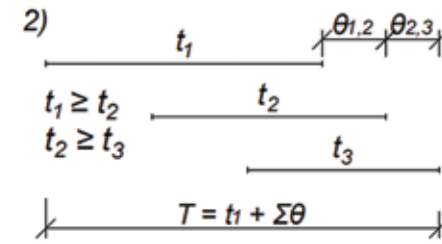
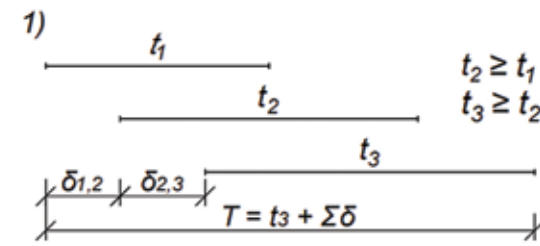


Рис. 1. Увязка частных потоков
Fig. 1. Integration of private streams

$$a = \delta_{1,2} + \theta_{2,3}; b = t_2.$$

Для 4-го случая:

$$a = \theta_{1,2} + \delta_{2,3}; b = t_1 - t_2 + t_3.$$

Число секций, монтируемых одним комплектом за заданный срок, равно:

$$n_i = \frac{T_{\text{дир}} - a_i}{b_i}, \quad (5)$$

где $T_{\text{дир}}$ – заданный срок в рабочих сменах.

Число необходимых комплектов машин по каждому варианту определяется с округлением до целого числа как

$$N_i^u = \frac{n}{n_i}. \quad (6)$$

Суммарные затраты по каждому варианту (при расчете по себестоимости) равны:

$$C_i = n(C_{ni} + H_{pi}) + N_i^u E_i, \quad (7)$$

где C_{ni} – постоянная часть затрат на одну секцию;

H_{pi} – накладные расходы, связанные с численностью рабочих на одну секцию;

E_i – единовременные затраты.

Постоянная часть затрат (себестоимость) на одну секцию определяется как

$$C_{ni} = \sum_{ri} C_{ri} t_{ri}, \quad (8)$$

где C_{ri} – постоянная часть затрат на одну смену по частному потоку i -го варианта (себестоимость машиносмены без единовременных затрат плюс заработная плата рабочих).

Накладные расходы, связанные с численностью рабочих, приходящиеся на одну секцию, подсчитываются как

$$H_{pi} = \sum r_{ri} t_{ri} 3 + \sum r_{ri} t_{ri} C\alpha, \quad (9)$$

где r_{ri} – численность рабочих по каждому частному потоку;

3 – накладные расходы на 1 чел.-день (рекомендуется



Рис. 2. Блок-схема методики выбора метода монтажа и комплекта машин при выполнении работ в определенный срок
Fig. 2. Block diagram of the methodology for selecting the assembly method and machine set for completing work within a certain timeframe

принимать 0,6 руб.);

C – средняя заработная плата монтажника в смену;

α – процент накладных расходов на заработную плату (рекомендуется принимать 15 %).

Единовременные затраты подсчитываются как

$$E_i = \sum_{ri} E_{\partial, M ri} + \sum_{ri} E'_{nep ri} l + \sum_{ri} E_{nep ri} l + \sum_{ri} r_{ri} (B + E_{pi}), \quad (10)$$

где $E_{\partial, M ri}$ – единовременные затраты на монтаж, демонтаж, погрузку и разгрузку кранов;

$E'_{nep ri}$ – единовременные затраты на переезд кранов своим ходом на 1 км;

l – расстояние перебазировки;

$E_{nep ri}$ – единовременные затраты по перевозке кранов на трайлере на 1 км;

B – затраты на устройство (перебазировку) временных сооружений, приходящиеся на одного работающего;

E_{pi} – единовременные затраты по перебазировке одного рабочего.

Из всех возможных вариантов i выбирается вариант с минимальным значением C_i , определяемый по формуле (7).

Общая блок-схема методики приводится на рисунке 2.

В соответствии с формулой суммарных затрат (7), затраты на одну секцию при фиксированном n можно представить как

$$C'_i = C_{ni} + H_{pi} + \frac{E_i}{n_i}. \quad (11)$$

Это дает основание исследовать область предпочтительности выбранного метода при изменении отдельных

факторов. Например, будем считать n_i неизвестным (соответствует либо изменению директивных сроков, либо изменению объемов здания). Тогда, приравняв уравнение (11) для сравниваемых методов, можно определить n_i , т. е. число секций, приходящихся на один комплект, при котором сравниваемые методы равноценны.

Можно считать неизвестной дальность перебазировки, выразив в этом случае единовременные затраты в виде $a + bx$, где x – расстояние перебазировки. Приравняв уравнение (11) и определяя x , тем самым находим, при каком расстоянии сравниваемые методы равноценны.

Так же можно проанализировать и некоторые другие факторы (например, изменение численности рабочих, расходы по их перебазировке, затраты по временным сооружениям, величины накладных расходов, зависящих от рабочих).

Выводы

Важной оценкой вариантов применения методов монтажа и комплекса машин является обоснование и выбор критерия оптимальности. В качестве такого критерия могут использоваться минимальные сроки производства СМР на объекте восстановления, минимальные трудозатраты, минимум приведенных затрат. Наряду с выбранным критерием оптимальности необходимо использовать также другие показатели, характеризующие эффективность строительно-монтажных работ. К таким показателям относят уровень концентрации и использования материально-технических и трудовых ресурсов. Выбор того или иного критерия оптимальности зависит от конкретных условий производства работ, объемов и плановых сроков.

of basic construction machines on construction site when developing organizational and technological documentation / B. Zhadanovsky, S. Sinenko // High-Rise Construction 2017 (HRC 2017) / MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 33. – № 03077.

- Познахирко, Т. Ю. Выбор комплекта машин для возведения объекта в заданный срок / Т. Ю. Познахирко // Строительное производство. – 2021. – № 1. – С. 33–38.
- Соколов, Г. К. Выбор кранов и технических средства для монтажа строительных конструкций / Г. К. Соколов. – Москва : МГСУ, 2002. – 180 с.
- Анисимова, Д. Ю. Метод повышения производительности башенного крана в гражданском строительстве / Д. Ю. Анисимова, В. В. Ильина // Вестник науки. – 2020. – № 1 (22). – С. 127–130.
- Topchiy, D. Formation of normative and legal regulatory criteria of as-assessment of organizational process management in the impel-mentation of projects of repurposing of major urban territories / D. Topchiy, E. Kochurina // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 6. – P. 117–120.
- Белецкий, Б. Ф. Строительные машины и оборудование / Б. Ф. Белецкий, И. Г. Булгакова. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 608 с.
- Добронравов, С. С. Строительные машины и оборудование / С. С. Добронравов, М. С. Добронравов. – Москва : Высшая школа, 2006. – 445 с.
- Олейник, П. П. Выбор строительной техники для пионерного освоения территорий / П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 12. – С. 29–36.

REFERENCES

- Yudina, A. Kriterii vybora optimal'nogo komplekta stroitel'no-montazhnykh mashin dlya vozvedeniya ob'ekta v zavisimosti ot zadannykh srokov stroitel'stva [Criteria for choosing the optimal set of construction and installation machines for the construction of an object depending on the specified construction time] / A. F. Yudina, O. N. Diyachkova // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2008. – № 1 (14). – P. 52–55.
- Sinenko, S. Summarising progressive approaches to choosing organisational and technological solutions for the construction of buildings / S. Sinenko, T. Poznakhirko // International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry – ESCI 2018 / MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 193. – № 05011.
- Tekhnologiya i ehnergeticheskaya ehffektivnost' montazha sbornykh ehlementov stroitel'nykh system [Technology and energy efficiency of installation of prefabricated elements of building systems] / G. M. Badjin, S. A. Sychev, A. Al'-Khabib, A. Abass // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2022. – № 7. – P. 54–60.
- Gaido, A. Avtomatizirovannoe proektirovanie PPR nulevogo tsikla pri vozvedenii zdaniy i sooruzhenij [Computer-aided design of zero-cycle PPR in the construction of buildings and structures] / A. N. Gajdo, G. A. Belov // Doklady 63-j nauchnoy konferentsii professorov, преподаvatelej, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta [Reports of the 63rd Scientific Conference of professors, teachers, researchers, engineers and graduate students of the University]. – St. Petersburg : St. Petersburg State University of Architecture and Construction, 2006. – P. 138–143.
- Belov, G. Osobennosti proektirovaniya PPR na nadzemnuyu chast' zhilykh mnogoetazhnykh zdaniy v stesnennykh usloviyakh [Features of the design of PPR on the aboveground part of residential multi-storey buildings in cramped conditions] / G. A. Belov // Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva : 59-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh : sbornik dokladov [Actual problems of modern construction: 59th International Scientific and Technical Conference of Young Scientists : collection of re-

ports]. – St. Petersburg : Saint Petersburg State University of Architecture and Construction, 2006. – P. 83–87.

- Zhadanovsky, B. The methodic of calculation for the need of basic construction machines on construction site when developing organizational and technological documentation / B. Zhadanovsky, S. Sinenko // High-Rise Construction 2017 (HRC 2017) / MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 33. – № 03077.
- Poznakhirko, T. Vyor komplekta mashin dlya vozvedeniya ob'ekta v zadannyj srok [Selection of a set of machines for the construction of an object in a given time] / T. Yu. Poznakhirko // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – № 1. – P. 33–38.
- Sokolov, G. K. Vyor kranov i tekhnicheskikh sredstva dlya montazha stroitel'nykh konstruksij [The choice of cranes and technical means for the installation of building structures] / G. K. Sokolov. – Moscow : MGSU, 2002. – 180 p.
- Anisimova, D. Yu. Metod povysheniya proizvoditel'nosti bashennogo krana v grazhdanskom stroitel'stve [Method of increasing the productivity of a tower crane in civil construction] / D. Yu. Anisimova, V. V. Iljina // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2020. – № 1 (22). – P. 127–130.
- Topchiy, D. Formation of normative and legal regulatory criteria of as-assessment of organizational process management in the impel-mentation of projects of repurposing of major urban territories / D. Topchiy, E. Kochurina // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 6. – P. 117–120.
- Beletsky, B. F. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Construction machinery and equipment] / B. F. Beletskiy, I. G. Bulgakova. – St. Petersburg : Lan, 2012. – 608 p.
- Dobronravov, S. S. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Construction machinery and equipment] / S. S. Dobronravov, M. S. Dobronravov. – Moscow : Higher School, 2006. – 445 p.
- Oleynik, P. P. Vyor stroitel'noj tekhniki dlya pionernogo osvoeniya territorij [The choice of construction equipment for pioneer development of territories] / P. P. Olejnik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2022. – № 12. – P. 29–36.

УДК 69.059.25

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_43

Прогнозирование стоимости и продолжительности ремонта зданий в Сирийской Арабской Республике с применением нейронных сетей

Forecasting the Cost and Time of Buildings Renovation in the Syrian Arab Republic Using Neural Networks

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

Ибрагим Разан

Аспирантка кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, eng.razan84@gmail.com

Ibrahim Razan

Postgraduate student of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, eng.razan84@gmail.com

Аннотация. Восстановление жилых, гражданских и промышленных зданий в Сирийской Арабской Республике является приоритетной задачей для всей страны, решение которой необходимо для ускорения процесса возвращения беженцев в свои дома, нормального функционирования социальной инфраструктуры и укрепления экономического потенциала Сирии. Целью настоящего исследования является применение нейронных сетей для прогнозирования продолжительности и стоимости ремонта поврежденных зданий при разработке организационно-технологической документации. В качестве объекта исследования выбраны здания в г. Хомс Сирийской Арабской Республики. Предметом исследования является процесс планирования продолжительности и стоимости ремонтных работ по восстановлению поврежденных зданий. При обследовании пострадавших районов г. Хомс они были разделены по степени ущерба, а здания в каждом из районов классифицированы по степени повреждения. В связи с большим количеством поврежденных зданий правительством Сирии было принято решение

Abstract. The reconstruction of residential, civil and industrial buildings in the Syrian Arab Republic is a priority for the entire country, the solution of which is necessary to accelerate the process of returning refugees to their homes, the normal functioning of social infrastructure and strengthening the economic potential of Syria. The purpose of this study is to use neural networks to predict the duration and cost of repairing damaged buildings in the development of organizational and technological documentation. Buildings in the city of Homs of the Syrian Arab Republic were chosen as the object of study. The subject of research is the process of planning the duration and cost of repair work to restore damaged buildings. When surveying the affected districts of Homs, they were divided according to the degree of damage, and the buildings in each of the districts were classified according to the degree of damage. Due to the large number of damaged buildings, the Syrian government decided to restore in the first place,

Введение

Восстановление гражданских и промышленных зданий в Сирийской Арабской Республике является приоритетной задачей для всей страны, связанной с ускорением процесса возвращения беженцев в свои дома, нормального функционирования социальной инфраструктуры и укрепления экономического потенциала Сирии [1]. В Сирийской Арабской Республике, как и в большинстве стран, население сосредоточено в крупных городах, таких как Дамаск, Алеппо, Хама, Хомс, Латакия, которые пострадали в наибольшей степени в результате боевых действий [2]. Гражданская война в Сирии привела к частичному, а в некоторых районах крупных городов к полному разрушению жилого, социального и культурного фонда, восстановление которого требует значительных затрат ресурсов [3; 4]. Землетрясение, произошедшее 6 февраля 2023 года, еще сильнее усугубило ситуацию. По оценкам ООН, более 5 миллионов человек по всей Сирии, возможно, остались без крова [5].

Разработка проектов ремонта и восстановления поврежденных зданий, реновации пострадавших районов городов включает в себя организационно-технологическое проектирование, одной из целей которого является планирование стоимостных и временных затрат на их реализацию [6].

Целью настоящего исследования является применение нейронных сетей для упрощения процесса определения продолжительности и стоимости ремонта поврежденных зданий при разработке организационно-технологической документации. В качестве объекта данного исследования был выбран г. Хомс в Сирийской Арабской Республике.

восстанавливать в первую очередь здания с незначительными и умеренными повреждениями (первая и вторая группы), которые были выбраны для дальнейшего исследования. В результате исследования построена нейронная сеть в программе MATLAB, в качестве исходных данных для работы которой используется 11 параметров обследованных зданий. Обучение и настройка оптимальной работы сети проведена путем загрузки в нее данных о реализованных проектах восстановления поврежденных зданий в г. Хомс. Полученный программный продукт позволяет ускорить процесс расчета продолжительности и стоимости ремонтных работ при разработке организационно-технологической документации для восстановления объектов капитального строительства в Сирийской Арабской Республике.

Ключевые слова: ремонтные работы, стоимость и продолжительность работ, Сирийская Арабская Республика, нейронные сети, продление эксплуатационной стадии жизненного цикла зданий.

buildings with minor and moderate damage (the first and second groups), which were selected for further research. As a result of the study, a neural network was built in the MATLAB program, as the initial data for which 11 parameters of the surveyed buildings are used. Training and tuning of the optimal network operation was carried out by uploading data on implemented projects for the restoration of damaged buildings in the city of Homs into it. The resulting software product makes it possible to speed up the process of calculating the duration and cost of repair work in the development of organizational and technological documentation for the restoration of capital construction projects in the Syrian Arab Republic.

Keywords: repair work, cost and duration of work, Syrian Arab Republic, neural networks, extension of the operational stage of the life cycle of buildings..

В дальнейшем полученные результаты планируется использовать для других городов. Предметом исследования является процесс планирования продолжительности и стоимости ремонтных работ по восстановлению поврежденных зданий.

Материалы и методы

При обследовании пострадавших от боевых действий районов в г. Хомс они были разделены на следующие группы по степени ущерба:

- Сильно пострадавшие районы с разрушением зданий более 50 %.
- Пострадавшие районы с разрушением зданий в пределах 30–50 %.
- Частично пострадавшие районы с долей повреждения до 30 %.

По степени повреждений здания были классифицированы на следующие группы:

1. Незначительные повреждения, требующие текущего ремонта.
2. Умеренные повреждения, требующие проведения капитального ремонта в поврежденных зданиях.
3. Средние повреждения, для ликвидации которых необходимо проводить замену и усиление несущих конструкций.
4. Сильные повреждения, ликвидация которых требует проведения аварийно-восстановительных работ с последующей реконструкций объектов.
5. Критические повреждения, при которых здания находятся в аварийном состоянии, они подлежат сносу.

Для проведения ремонтных работ с целью продления эксплуатационной стадии жизненного цикла зданий, входящих в первую и вторую группы, были собраны данные, сформированные в виде Excel-таблиц с характеристиками обследованных объектов (этажность, количество квартир в здании и на этаже, площади квартир и т. д.). Полученные данные были использованы при планировании стоимости и продолжительности выполнения работ при реализации пилотных проектов по ремонту зданий в г. Хомс. При этом организационно-технологическое проектирование выполнялось для каждого объекта в отдельности, что замедляло темпы восстановительных работ.

Для ускорения процесса организационно-технологического проектирования была использована нейронная сеть, представляющая собой математическую модель, воплощенную в программном продукте MATLAB. Главной особенностью и преимуществом нейронной сети является ее способность к обучению [7; 8]. В качестве материала для обучения нейронной сети прогнозированию стоимости и продолжительности ремонтных работ были использованы данные реализованных пилотных проектов восстановительных работ в г. Хомс.

Результаты

В результате проведенного исследования была построена нейронная сеть, которая использует в качестве исходных данных для обработки и построения прогноза стоимости и продолжительности ремонтных работ следующие параметры:

1. Этажность здания.
2. Номер этажа и помещения, в котором необходимо выполнить ремонтные работы.
3. Площадь помещения.
4. Количество проживающих в квартире (для жилых помещений).
5. Степень повреждения каждого помещения (легкая, средняя, высокая).
6. Наличие маломобильных групп граждан для включения мероприятий по обеспечению им беспрепятственного доступа в здание.
7. Наличие последствий пожара.
8. Возможности жильцов в помощи при проведении ремонтных работ.
9. Наличие ограждения вокруг здания.
10. Состояние инженерных коммуникаций (критические повреждения, частичные повреждения, не требуют ремонта).
11. Состояние отделочных покрытий в помещениях (хорошее, требует ремонта, требует замены).



Рис. 1. Вид исходной нейронной сети
Fig. 1. View of the original neural network

Нейронная сеть обрабатывает вышеуказанные параметры и выдает следующие расчетные данные:

- Стоимость ремонтных работ для конкретного здания.
- Продолжительность ремонтных работ.

Для обучения и построения оптимальной работы нейронной сети в нее были загружены Excel-таблицы с исходными параметрами по реализованным пилотным проектам восстановления зданий в одном из районов г. Хомс, а также фактические значения продолжительности и стоимости выполненных работ.

Алгоритм работы с нейронной сетью для построения ее оптимальной работы состоит из следующих последовательных операций:

1. Запуск приложения MATLAB, введение исходных параметров здания и фактических значений стоимости и продолжительности выполненных работ, при этом создаются два файла, первый из которых называется входным файлом, а второй – выходным файлом (рисунок 1).
2. Запуск инструмента NNTOOL Neural Networks, в котором определяется нейронная сеть и вводятся входной и выходной файлы, которые были сформированы на предыдущем этапе [9; 10].
3. Выбор типа сети как прямая связь (наиболее распространенный тип). Выбор функции обучения и количества слоев.
4. Создание исходной нейронной сети, выбор ее структуры, обучение – пока не будет достигнуто приемлемое решение.
5. Тестирование нейронной сети, а также вывод полученных итоговых весов, являющихся наиболее важными результатами обучения сети.
6. Изменение скрытых слоев и функции активации до достижения нужных результатов [11; 12].
7. Продолжение тестирования до достижения нужного значения коэффициента корреляции R между выходом сети после эксперимента (выходами) и вы-

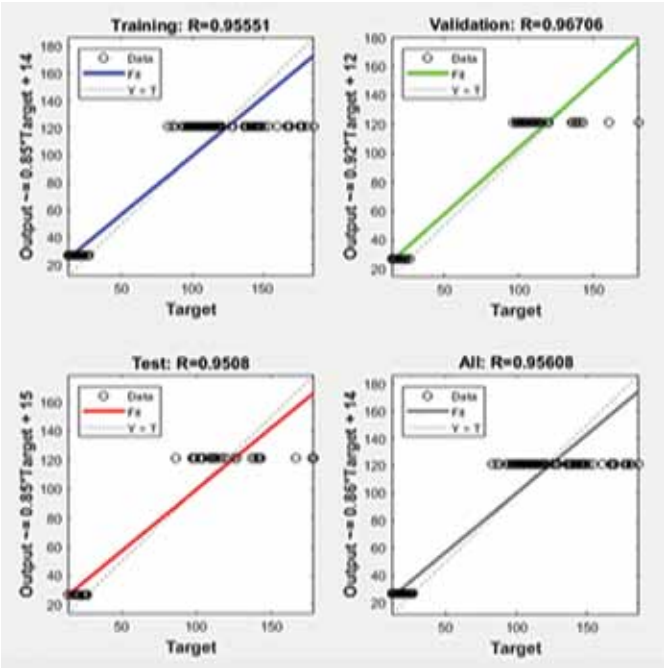


Рис. 2. Результаты эксперимента, в котором коэффициент корреляции R отличается от 1
Fig. 2. Results of an experiment in which the correlation coefficient R differs from 1

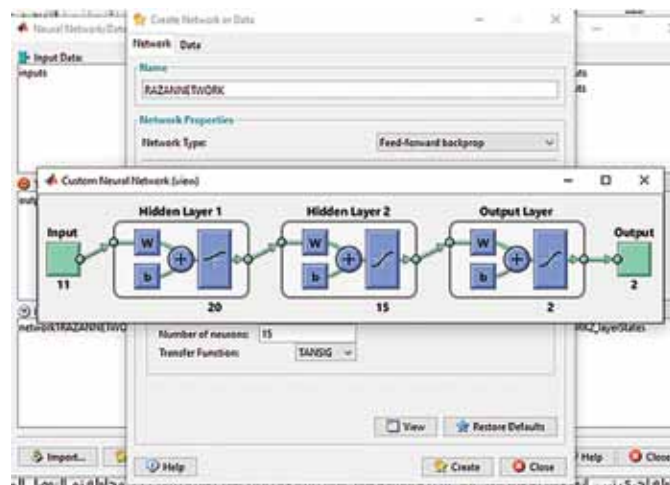


Рис. 3. Оптимальная архитектура нейронной сети
Fig. 3. Optimal neural network architecture

ходом сети до обучения (целевым). Если коэффициент корреляции отличается от 1, то это показывает, что нейронная сеть не может выводить нужных (точных) результатов, и необходимо изменить ее архитектуру, пока значение коэффициента корреляции не станет близким к 1 (рисунок 2).

8. Продолжение экспериментов до тех пор, пока не будет достигнута требуемая архитектура нейронной сети, т. е. построена оптимальная сеть, способная предсказывать результаты через новые входные данные (рисунок 3).

Получение оптимальной архитектуры нейронной сети позволяет прогнозировать время и стоимость выполнения ремонтных работ любого объекта, что позволяет снизить временные и финансовые затраты при разработке организационно-технологической документации и увеличить масштабы восстановительных работ (рисунок 4).

Заключение

Большой объем работ при восстановлении более 20 районов только в одном городе Хомс требует применения современных технологий информационного моделирова-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ibrahim, B. Future urban development scenarios for post-conflict Syria. How will returning refugees shape the future? / B. Ibrahim, B. Wind, K. Maier // Habitat International. – 2022. – Vol. 119. – № 102499.
2. Lubin, A. Remote sensing-based mapping of the destruction to Aleppo during the Syrian Civil War between 2011 and 2017 / A. Lubin, A. Saleem // Applied Geography. – 2019. – Vol. 108. – P. 30–38.
3. Habib, M. Developing a sustainability strategy for multipurpose cadastre in post-conflict Syria / M. Habib // Land Use Policy. – 2020. – Vol. 97. – № 104782.
4. Tortorici, G. Building in Post-war Environments / G. Tortorici, F. Fiorito // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 180. – P. 1093–1102.
5. Responding to the Türkiye–Syria earthquake: what will it take? // The Lancet. – 2023. – Vol. 401, Iss. 10376. – P. 525.
6. Koroteev, D. D. Construction cost control and duration analysis of rehabilitation project / D. D. Koroteev, J. Huang, M. Kamrunnaher // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1687, № 012012.
7. Лapidus, A. A. Адаптация искусственной нейронной сети к решению задач прогнозирования для смежных техно-

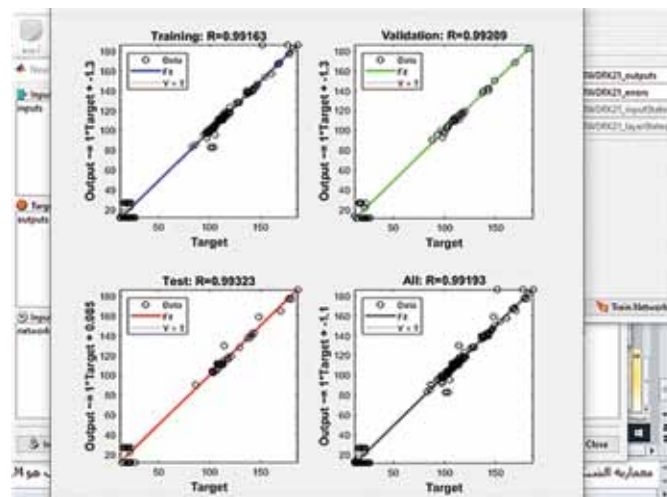


Рис. 4. Полученное решение, близкое к оптимальному ($R \approx 1$)
Fig. 4. The resulting solution is close to optimal ($R \approx 1$)

ния для упрощения расчетов стоимости и продолжительности выполнения ремонтных работ при организационно-технологическом проектировании.

Для этих целей выбрана нейронная сеть, и по результатам анализа реализованных пилотных проектов по восстановлению зданий в г. Хомс выстроена ее оптимальная работа. Разработанная нейронная сеть на основе загруженных в нее данных обследования зданий прогнозирует сроки и стоимость ремонтных работ. Для работы нейронной сети используется программный продукт MATLAB, оптимизация принятия решения сетью достигнута путем экспериментального поиска отношения между входными и выходными данными за счет ее обучения.

Результаты исследования могут быть использованы для снижения затрат и времени на проектирование ремонтных работ при продлении эксплуатационной стадии жизненного цикла поврежденных зданий, что позволит увеличить масштаб и темпы восстановления объектов капитального строительства в Сирийской Арабской Республике.

- гических процессов / А. А. Лapidus, А. Н. Макаров // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 352–356.
8. Лapidus, A. A. Искусственные нейронные сети как математический аппарат для расчета комплексного показателя качества организационно-технологических решений при возведении конструктивных элементов многоэтажных железобетонных зданий / А. А. Лapidus, В. А. Мyра // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 7 (97). – С. 28–34.
9. Predicting communication quality in construction projects: A fully-connected deep neural network approach / A. Rahimian, M. R. Hosseini, I. Martek, A. Taroun, A. Alvanchi, I. Odeh // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 19. – № 10468.
10. Senthil, J. Development of lean construction supply chain risk management based on enhanced neural network / J. Senthil, M. Muthukannan // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 56 (4). – P. 1752–1757.
11. Assessing effects of economic factors on construction cost estimation using deep neural networks / R. Wang, V. Asghari,

C. M. Cheung, S. Hsu, C. Lee // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – № 104080.

12. Neural network-based interval forecasting of construction material prices / M. Mir, H. M. Dipu Kabir, F. Nasirzadeh, A. Khosravi // Journal of Building Engineering. – 2021. –

REFERENCES

1. Ibrahim, B. Future urban development scenarios for post-conflict Syria. How will returning refugees shape the future? / B. Ibrahim, B. Wind, K. Maier // Habitat International. – 2022. – Vol. 119. – № 102499.
2. Lubin, A. Remote sensing-based mapping of the destruction to Aleppo during the Syrian Civil War between 2011 and 2017 / A. Lubin, A. Saleem // Applied Geography. – 2019. – Vol. 108. – P. 30–38.
3. Habib, M. Developing a sustainability strategy for multipurpose cadastre in post-conflict Syria / M. Habib // Land Use Policy. – 2020. – Vol. 97. – № 104782.
4. Tortorici, G. Building in Post-war Environments / G. Tortorici, F. Fiorito // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 180. – P. 1093–1102.
5. Responding to the Türkiye–Syria earthquake: what will it take? // The Lancet. – 2023. – Vol. 401, Iss. 10376. – P. 525.
6. Koroteev, D. D. Construction cost control and duration analysis of rehabilitation project / D. D. Koroteev, J. Huang, M. Kamrunnaher // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1687. – № 012012.
7. Lapidus, A. A. Adaptatsiya isskustvennogo neyronnoy seti k resheniyu zadach prognozirovaniya dlya smezhnykh tekhnologicheskikh processov [Adaptation of artificial neural network to solving forecasting problems for related technological processes] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov // Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy – 2019 : Sbornik materialov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 25 noyabrya 2019 goda [Construction systems engineering. Cyber-Physical Building Systems – 2019 : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, November 25, 2019]. – Moscow : National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2019. –

Vol. 39. – № 102288.

13. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry / M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, L. T. Gilday, J. L. Dettbarn. – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2014. – 210 p.
8. Lapidus, A. A. Isskustvennye neyronnye seti kak matematicheskiy apparat dlya rascheta kompleksnogo pokazatelya kachestva organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri vozvedenii konstruktivnykh elementov mnogoetazhnykh zhelezobetonnykh zdaniy [Artificial neural networks as a mathematical tool for calculating a complex indicator of the quality of organizational and technological solutions in the construction of structural elements of multi-storey reinforced concrete buildings] / A. A. Lapidus, V. A. Murya // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 7 (97). – P. 28–34.
9. Predicting communication quality in construction projects: A fully-connected deep neural network approach / A. Rahimian, M. R. Hosseini, I. Martek, A. Taroun, A. Alvanchi, I. Odeh // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 19. – № 10468.
10. Senthil, J. Development of lean construction supply chain risk management based on enhanced neural network / J. Senthil, M. Muthukannan // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 56 (4). – P. 1752–1757.
11. Assessing effects of economic factors on construction cost estimation using deep neural networks / R. Wang, V. Asghari, C. M. Cheung, S. Hsu, C. Lee // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 134. – № 104080.
12. Neural network-based interval forecasting of construction material prices / M. Mir, H. M. Dipu Kabir, F. Nasirzadeh, A. Khosravi // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 39. – № 102288.
13. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry / M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, L. T. Gilday, J. L. Dettbarn. – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2014. – 210 p.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_47

Методика оценки технического состояния монолитно-каркасных зданий, поврежденных войной в Сирии

Methodology for Assessing the Technical Condition of Monolithic-Frame Buildings Damaged by the War in Syria

Олейник Павел Павлович

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

Oleynik Pavel Pavlovich

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

Мааруф Али

Аспирант, преподаватель кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, alimaaruf450@gmail.com

Maaruf Ali

Postgraduate student, Lecturer of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; alimaaruf450@gmail.com

Аннотация. Военные действия в городах несут большие повреждения зданиям и инфраструктуре, а в программе пост-конфликтного восстановления процесс оценки технического состояния жилых зданий является одним из важнейших этапов программы. Эта важность обосновывается тем, что необходимо принять рациональное решение о восстановлении или необходимости сноса поврежденных зданий.

В данной статье была разработана блок-схема методики оценки технического состояния каркасных зданий, поврежденных войной. На первом этапе этой методики здания поврежденного района классифицируются на 3 группы. Здания 3-й группы повреждения считаются непригодными для восстановления, а здания 2-й группы повреждения подлежат инструментальному обследованию и оцениваются по пятиступенной шкале интенсивности повреждений. Техническое состояние

Abstract. Military operations in cities cause great damage to buildings and infrastructure, and in the program of post-conflict reconstruction, the process of assessing the technical condition of residential buildings is one of the most important stages of the program. This importance is justified by the fact that it is necessary to make a rational decision about the possibility of restoration or the need to demolish damaged buildings.

In this article, a flowchart of a methodology for assessing the technical condition of frame buildings damaged by the war was developed. At the first stage of this methodology, the buildings of the damaged area are classified into 3 groups. The buildings of the 3rd group of damage are considered unsuitable for restoration, and the buildings of the 2nd group of damage are subject to examination, and they are assessed on a five-degree scale of

Введение

Применение взрывного оружия в городах наносит повреждения зданиям и сооружениям тремя поражающими факторами: осколками, температурой и ударной волной. При этом третий фактор поражения является наиболее существенным, так как нагрузки от воздушной ударной волны на поверхность здания могут в несколько раз превышать нагрузки, на которые рассчитано здание. Кроме того, ударная волна может действовать в направлениях, на которых сопротивление здания не рассчитано. Воздействие этих волн на здания проходит в три этапа: сначала воздушные волны разбивают окна, а затем повреждают ограждающие конструкции и колонны здания. После этого в плитах сразу образуются подъемные силы и, как только волны окружают здание, образуются силы, которые толкают все элементы внутрь [1; 2].

В настоящее время доступны многие современные методы оценки масштаба разрушения городов после катастроф. Одним из таких методов является сравнение аэрофотоснимков или спутниковых снимков с использованием алгоритмов сравнения, которые дают представление об относительных масштабах разрушения [3].

В 2019 году было проведено исследование с использованием спутниковых снимков для определения масштаба повреждений в разных городах Сирии. В результате обнаружено, что существует более 125500 поврежденных зданий. На рисунке 1 представлена статистика повреждений в основных городах Сирии [4].

Общий объем жилищного фонда Сирии составлял около 150 тыс. единиц жилья с общей площадью примерно 14850 тыс. м² [5]. Высота жилых зданий находится в пределах 30 м, и наиболее распространенной конструктивной системой этих зданий является смешанная моно-

зданий 2-й группы повреждения определяется на основании дефектов и повреждений, зафиксированных в конструкциях, и на основании полученного результата рекомендуется провести восстановительные работы или снести здание. Здания 1-й группы считаются безопасными для эксплуатации, так как повреждения ограничиваются элементами отделки и фасада.

Определение технического состояния несущих конструкций позволяет определить последовательность выполнения восстановительных работ в каждом здании, а это, в свою очередь, помогает в построении календарных планов восстановительного процесса, который должен начинаться с несущих конструкций, получивших наивысшую оценку интенсивности повреждений.

Ключевые слова: постконфликтное восстановление, восстановление в Сирии, разрушение в Сирии, влияние взрывов на здания, техническое состояние конструктивной системы.

damage intensity. The technical condition of buildings of the 2nd group of damage is determined on the basis of defects and damages recorded in the structural elements, and based on the result obtained, restoration or demolition work is recommended. Buildings of the 1st group of damage are considered safe for use, since damage is limited to finishing elements and facade.

Determining the technical condition of structural elements allows us to determine the sequence of restoration works in each building, and this, in turn, helps in the formation of construction schedules for the restoration process, which should begin with the elements that received the highest damage intensity.

Keywords: post-conflict reconstruction, reconstruction in Syria, destruction in Syria, impact of explosions on buildings, technical condition of structural system.

литно-каркасная система (колонны и стены) с монолитными плитами из среднего класса бетона. Эти жилые здания характеризуются низкими тепловыми характеристиками и полным отсутствием теплоизоляции [6].

Материалы и методы

При взрывах вблизи зданий наблюдаются необратимые повреждения: трещины различных типов, отслоение бетона, дырки, разрыв линейной несущей конструкции, шелушение ребер конструкций, деформации, выпучивание арматуры, разрыв стержней и хомутов, дробление в бетоне и т. д. Эти повреждения критического характера могут привести к снижению уровня безопасности при эксплуатации зданий или к их обрушению [7; 8]. В связи с этим возникает необходимость в установлении параметров надежности поврежденных зданий по признакам, рассмотренным в данной статье.

Оценка технического состояния здания – это установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков со значениями этих же признаков, установленных проектом или нормативным документом [9].

Методика оценки технического состояния железобетонных каркасных зданий, поврежденных войной

Оценка технического состояния поврежденных зданий начинается с изучения генпланов и аэрофотоснимков исследуемой территории, на которых будут зашифрованы все здания, как указано на рисунках 2 и 3. Затем осуществляется визуальный осмотр зданий и после осмотра составляется классификатор их повреждений, состоящий из трех групп.

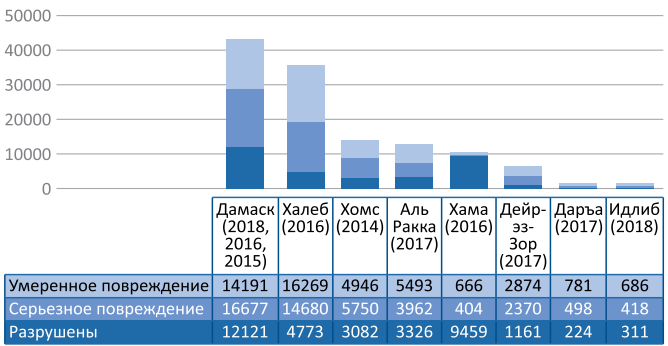


Рис. 1. Статистика поврежденных зданий в Сирии
Fig. 1. Statistics of damaged buildings in Syria

Здания 1-й группы (Г-I): Безопасны для дальнейшей эксплуатации. Несущая система в этих зданиях цела и не повреждена, а повреждения ограничиваются отделочными и фасадными элементами, отделкой проемов и мелким отслоением бетона.

Здания 2-й группы (Г-II): Опасны без детальных обследований. Повреждения в таких зданиях характеризуются наличием трещин любого типа в несущих конструкциях, значительным отслоением бетона, наблюдаемым прогибом несущей конструкции, признаками провала фундамента, пластическими деформациями, наличием дырок и разрывом линейной несущей конструкции.

Здания 3-й группы (Г-III): В эту группу входят частично разрушенные здания за пределами возможности восстановления.

Здания 2-й группы должны проходить инструментальное обследование для определения надежности их несущих конструкций. Это обследование включает в себя измерение геометрических параметров несущих конструкций и их элементов, определение параметров дефектов и повреждений, определение фактических характеристик материалов несущих конструкций.

Здания 2-й группы также проверяются на соответствие проектным решениям и действующим нормам и сводам правил. Если будет установлено, что одно из зданий этой группы классификации не соответствует его проектным решениям или нормам, то вариант его восстановления будет отвергнут. Следовательно, предпочтение отдается варианту замены его новым зданием, соответствующим нормам и требованиям. В то же время для зданий



Рис. 2. Изучаемая территория до повреждения
Fig. 2. Study area before damage

1-й группы, не соответствующим нормам, целесообразно применять усиление конструкций, а не замену зданий.

Следует отметить, что хотя здания 1-й группы считаются безопасными для дальнейшей эксплуатации, необходимо все же их оценивать на ущербность несущих конструкций от вибрации, так как взрывы вызывают в грунте колебания, аналогичные колебаниям, вызываемым землетрясениями.

Здания 2-й группы оцениваются в два этапа: первый этап – оценка технического состояния несущих конструкций надземной части, второй этап – оценка технического состояния фундаментов.

После получения положительной оценки для надземной части проводится оценка технического состояния фундаментов в два этапа: первый – это визуальный осмотр фундаментов, при котором проверяются сохранность тела фундамента, осадки и надежность гидроизоляции, и при обнаружении дефектов рекомендуется переходить ко второму этапу – инструментальному обследованию.

На рисунке 4 показана блок-схема методики оценки технического состояния каркасных зданий, поврежденных войной.

Определение оценки технического состояния каркасных зданий, поврежденных войной

В зависимости от повреждений, техническое состояние конструкций делится на 5 категорий: нормальное состояние, незначительная интенсивность, низкая интенсивность, умеренная интенсивность, высокая интенсивность повреждений.

Для практических расчетов в настоящее время единственной нормируемой характеристикой надежности конструкций при оценке их прочности являются применяемые в строительных нормах коэффициенты надежности. Эти коэффициенты могут быть приведены к полному коэффициенту надежности (запаса) конструкции [10]:

$$\gamma_0 = \gamma_m * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n, \quad (1)$$

где γ_0 – нормативный коэффициент надежности; γ_m – коэффициент надежности по материалу; γ_c – коэффициент условий работы; γ_f – коэффициент надежности по нагрузке; γ_n – коэффициент надежности по ответственности.

Для расчетов указанные коэффициенты в среднем можно принять: $\gamma_c = 1$, $\gamma_f = 1,2$, $\gamma_n = 1$.



Рис. 3. Шифровка объектов поврежденной территории
Fig. 3. Encryption of objects in the damaged area

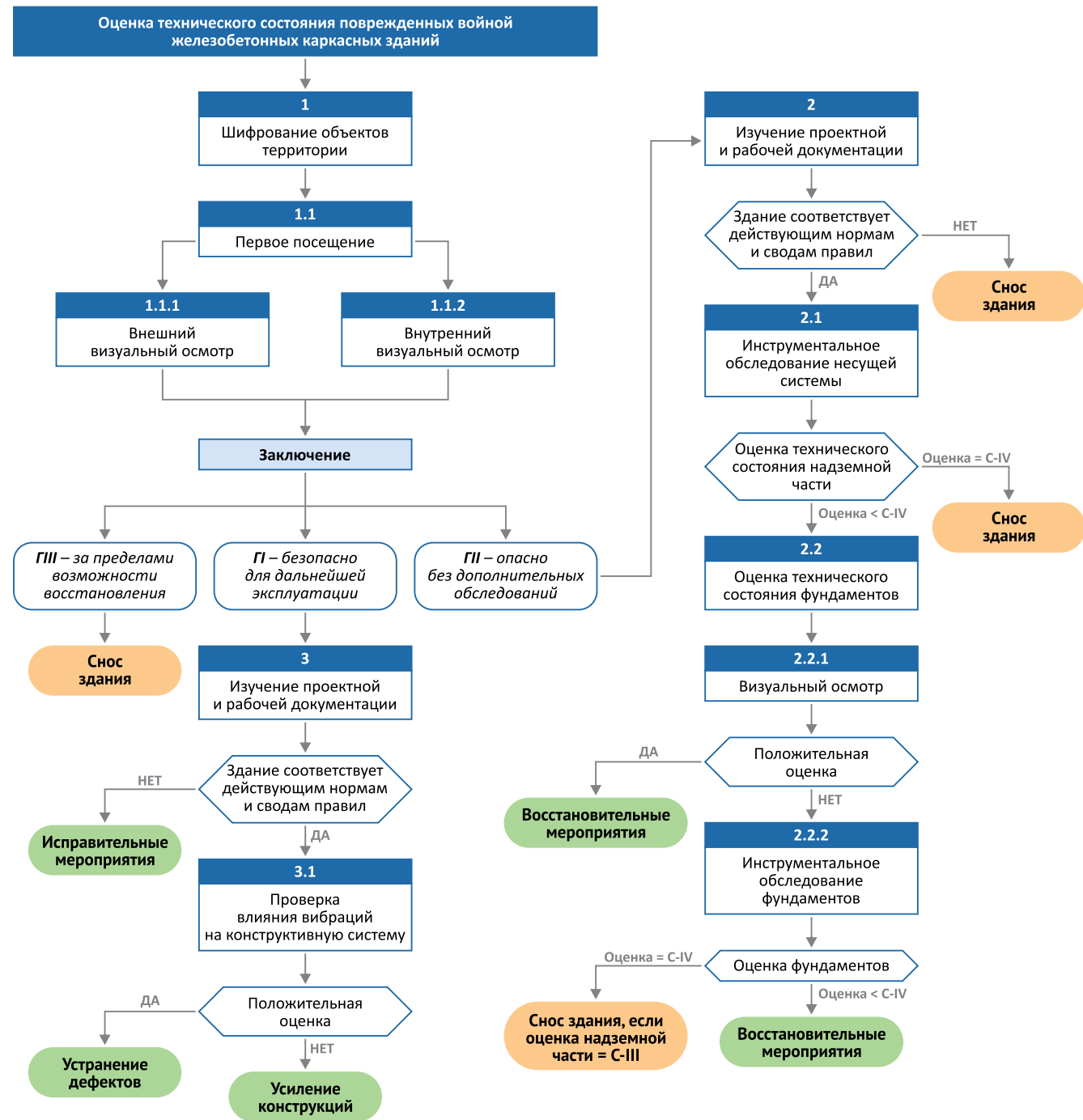


Рис. 4. Блок-схема методики оценки технического состояния каркасных зданий, поврежденных войной
Fig. 4. Block diagram of the methodology for assessing the technical condition of frame buildings damaged by the war

Оценка технического состояния поврежденных зданий зависит в основном от коэффициента надежности по материалу, который меняется в зависимости от интенсивности повреждения конструкций.

Коэффициент надежности по материалу для железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре, определяется по формуле 2:

$$\gamma_{m,arm} = \frac{\gamma_s}{1 - 1,64 * C_v} = \frac{1,1}{1 - 1,64 * 0,07} = 1,24, \quad (2)$$

где γ_s – коэффициент надежности по арматуре, принимаемый 1,1; C_v – коэффициент изменчивости, принимаемый равным 0,07 для арматуры.

Коэффициент надежности по материалу для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону, определяется по формуле 3:

$$\gamma_{m,bet} = \frac{\gamma_b}{1 - 1,64 * C_v} = \frac{1,3}{1 - 1,64 * 0,135} = 1,67, \quad (3)$$

где γ_b – коэффициент надежности по бетону при сжатии, принимаемый 1,3; C_v – коэффициент изменчивости, принимаемый равным 0,135 для бетона.

Так, полный коэффициент нормативной надежности для железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре, определяется по формуле 4:

$$\gamma_{0,arm} = \gamma_{m,arm} * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n = 1,24 * 1 * 1,2 * 1 = 1,5. \quad (4)$$

Полный коэффициент нормативной надежности для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону:

$$\gamma_{0,bet} = \gamma_{m,bet} * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n = 1,67 * 1 * 1,2 * 1 = 2. \quad (5)$$

Характеристики	Техническое состояние конструкций				
	Нормальное состояние	Незначительная интенсивность	Низкая интенсивность	Умеренная интенсивность	Высокая интенсивность
Средний коэффициент фактической надежности	1,75	1,66	1,45	1,31	1-1,2
Средняя относительная надежность, γ	1	0,95	0,85	0,75	0,65
Средняя величина поврежденности, $\varepsilon_{i,j}$	0	0,05	0,15	0,25	0,35

Табл. 1. Значение характеристики надежности поврежденных конструкций
Tab. 1. The value of the characteristics of the reliability of damaged structures

При исчерпании запаса коэффициент надежности по материалу достигает предельного состояния, в таком случае γ_s, γ_b принимаются равными 1, соответственно, $\gamma_{m,arm}$ станет 1,13, а $\gamma_{m,bet}$ станет 1,28. Так, коэффициенты надежности в предельном состоянии для арматуры и бетона, соответственно, составляют $\gamma_{racc,arm} = 1,35$, а $\gamma_{racc,bet} = 1,54$.

Отношение между рассчитанным коэффициентом надежности и нормативным коэффициентом надежности выражает относительную надежность, которая указана по формулам (6) и (7):

$$\gamma_{arm} = \frac{\gamma_{racc,arm}}{\gamma_{0,arm}} = \frac{1,35}{1,5} = 0,9, \quad (6)$$

$$\gamma_{bet} = \frac{\gamma_{racc,bet}}{\gamma_{0,bet}} = \frac{1,54}{2} = 0,77. \quad (7)$$

Выражая величину повреждения конструкции $\varepsilon = 1 - \gamma$, будем иметь для этого случая допустимую величину поврежденности в пределах (0,1–0,23), что в среднем будет соответствовать $\varepsilon = 0,15$ от нормативной величины математического ожидания надежности конструкции.

Для высокой интенсивности повреждений конструкции будут полностью использованы резервы прочности ее материала, т. е. $\gamma_{m,arm} = \gamma_{m,bet} = 1$.

В таблице 1 указаны средние величины поврежденности.

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot \varepsilon_{i,j}}{\sum_{j=1}^m \alpha_j}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{i,j}$ – максимальные величины повреждений конструкции j в объекте i , α_j – коэффициенты значимости конструкций.

Коэффициенты значимости устанавливаются на основании экспертных оценок, учитывающих последствия разрушения отдельных видов конструкций [10]. В статье принимаются следующие значения коэффициентов значимости: плиты и прочие элементы $\alpha_j = 2$, несущие стены и фундаменты $\alpha_j = 3$, балки $\alpha_j = 4$, колонны и узлы соединения $\alpha_j = 8$.

В таблице 2 указаны категории интенсивности повреждений и признаки их выявления [10; 11; 12].

Результаты

На основе разработанной нами блок-схемы методики оценки технического состояния поврежденных зданий войной мы провели оценку для трех зданий в Сирии, первое из которых показано на рисунке 5. В ходе визуального осмотра этого здания заключили, что здание устойчиво и нет видимых повреждений в его несущей системе, а повреждения ограничиваются тем, что было описано

в зданиях 1-й группы. Затем была изучена проектная и рабочая документация, и установлено, что отклонений от проектных решений нет. В таких зданиях и при отсутствии трещин в несущей системе можно сразу расселить население и устранить все явные дефекты.

На рисунке 6 показано здание 3-й группы повреждения, которое частично разрушено. Такие здания представляют большую опасность, и необходимо принять срочные меры по их ликвидации. Кроме того, дополнительно необходимо обеспечить защиту по периметру этих зданий, чтобы предотвратить любой ущерб соседним зданиям и сооружениям.

Предполагается, что частично разрушенные здания, независимо от размера разрушения, считаются за пределами возможности восстановления. Это правильно только в том случае, если принято, что возвращающееся население не требует восстановления таких зданий, а также если было принято решение резко сэкономить затраты программы восстановления, так как стоимость восстановления таких зданий может быть выше, чем стоимость строительства новых.

При проведении визуального осмотра здания, показанного на рисунке 7, был сделан вывод, что наблюдаемые в нем повреждения соответствуют описанным зданиям 2-й группы. После проверки соответствия здания действующим нормам и согласно блок-схеме было рекомендовано провести инструментальное обследование несущих конструкций надземной части.

По результатам обследования здания в нем были выявлены признаки повреждений, которые приведены в таблице 3.

На основании таблицы 2 и формулы 9 была определена общая оценка технического состояния надземной части здания:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{212,3}{1196} = 0,177.$$

Полученный результат свидетельствует о том, что общее техническое состояние надземной части здания относится к категории повреждения С-III. При такой оценке рекомендуется срочно эвакуировать жителей здания, и усилить конструктивные элементы, и принять меры по временной защите его от внешних погодных воздействий.

Следует отметить, что, согласно нашей блок-схеме, для таких зданий с такой оценкой рекомендуется еще оценить техническое состояние фундаментов, но из-за финансовых ограничений мы не имели возможности этого сделать.

Заключение

Оценка технического состояния изношенных зданий является хорошо изученным вопросом, в отличие от

Категория повреждения	Показатель категории повреждения	Описание технического состояния	Признаки
C-0	0	Нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения в несущей конструктивной системе. Имеются повреждения отделочных элементов и ограждающих конструкций.	• Маленькие воронки от пуль • Волосные трещины в штукатурке шириной $d \leq 0,1$ мм • Разрушенные фасадные элементы • Разрушенная ограждающая конструкция • Разрушенная отделка проемов • Сдвиг этажа меньше $0,004 h_s$; h_s – высота этажа
C-I	0,05	Незначительная интенсивность повреждений. Несущая конструктивная система полностью выполняет свою работу, хотя наблюдаемые повреждения и деформации свидетельствуют о незначительном снижении способности здания выдерживать нагрузки, но опасности обрушения здания нет.	• Трещины в растянутой зоне бетона не превышают 0,3 мм • Шелушение ребер конструкций • Следы коррозии арматуры • Снижение прочности бетона ≤ 5 % • Прогибы изгибаемых конструкций $\geq 1/150$ пролета • Сдвиг этажа в пределах $0,005-0,007 h_s$; h_s – высота этажа
C-II	0,15	Низкая интенсивность повреждений. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности. При такой степени не рекомендуется допускать эксплуатацию здания без обеспечения временного укрепления несущей конструктивной системы.	• Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм • Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры • Потеря площади стержней до 10 % • Бетон в растянутой зоне легко крошится • Снижение прочности бетона ≤ 20 % • Прогибы изгибаемых конструкций $\geq 1/100$ пролета • Сдвиг этажа в пределах $0,008-0,01 h_s$; h_s – высота этажа
C-III	0,25	Умеренная интенсивность повреждений. При такой степени рекомендуется срочно эвакуировать жителей и обеспечить срочное укрепление несущих конструкций.	• Ширина раскрытия трещин в балках ≤ 1 мм и протяженность трещин более $3/4$ высоты балки • Сквозные трещины в колоннах $\leq 0,5$ мм • Прогибы изгибаемых конструкций $\geq 1/75$ пролета • Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры • Потеря площади стержней до 15 % • Снижение прочности бетона ≤ 30 % • Маленькое смещение несущих конструкций • Сдвиг этажа в пределах $0,0107-0,012 h_s$; h_s – высота этажа
C-IV	0,35	Высокая интенсивность повреждений. Существующие повреждения свидетельствуют о возможности обрушения конструкций. При такой степени рекомендуется срочно эвакуировать жителей здания и соседних объектов и обеспечить срочное укрепление несущих конструкций после снятия всех нагрузок или принять решение об аварийном сносе.	• Ширина раскрытия трещин в балках более 1 мм при протяженности трещин более $3/4$ их высоты • Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах • Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн • Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне • Разрыв хомутов • Разрушение бетона в сжатой зоне • Прогибы изгибаемых конструкций $\geq 1/50$ пролета • Потеря площади стержней > 15 % • Снижение прочности бетона > 30 % • Арматурный каркас деформирован • Наличие пластиковых шарниров • Разрушение узлов соединения колонн с балками • Разрезы в линейной несущей конструкции • Сдвиг этажа больше $0,012 h_s$; h_s – высота этажа

Табл. 2. Показатели и признаки категории интенсивности повреждений
Tab. 2. Indicators and signs of damage intensity category

оценки зданий, поврежденных войной. Отсюда следует уникальность данного исследования, так как оно модифицировало подход к оценке изношенных зданий и дало новую методику оценки зданий, поврежденных войной, а также выявило признаки, на основании которых можно определить категорию повреждения несущих конструкций.



Рис. 5. Здание 1-й группы повреждения
Fig. 5. Building of the first group of damage

Оценка проводится по методике, предлагающей классифицировать здания в изучаемых территориях на три группы, третья из которых предполагает, что частично разрушенные здания считаются непригодными для восстановления.

Здания 1-й группы считаются безопасными для дальнейшей эксплуатации, и в этих зданиях достаточно будет



Рис. 6. Здание 3-й группы повреждений
Fig. 6. Building of the third group of damage



Рис. 7. Здание 2-й группы повреждений
Fig. 7. Building of the second group of damage

только проверить влияние вибраций и по результатам рекомендуется либо устранить дефекты, либо усилить несущую систему.

№	Описание повреждения	Изучаемые элементы	Количество элементов	Показатель категории повреждения	Коэффициенты значимости элемента
1	Маленькие воронки от пуль	Колонна	5	0	8
2	Нет видимых повреждений	Колонна	8	0	8
3	Шелушение ребер конструкций	Колонна	15	0,05	8
4	Продольные трещины вдоль арматуры	Колонна	15	0,15	8
5	Сквозные трещины в колоннах $\leq 0,5$ мм	Колонна	30	0,35	8
6	Отслоение защитного слоя бетона	Колонна	20	0,25	8
7	Снижение прочности бетона ≤ 5 %	Колонна	7	0,05	8
8	Разрушение бетона в сжатой зоне	Колонна	5	0,35	8
9	Снижение прочности бетона ≤ 20 %	Колонна	10	0,15	8
10	Снижение прочности бетона ≤ 30 %	Колонна	5	0,25	8
11	Нет видимых повреждений	Балки	15	0	4
12	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм	Балки	20	0,15	4
13	Бетон в растянутой зоне легко крошится	Балки	10	0,15	4
14	Прогибы $\geq 1/50$ пролета	Балки	6	0,35	4
15	Снижение прочности бетона ≤ 5 %	ЖБ-стена	4	0,05	3
16	Следы коррозии арматуры	ЖБ-стена	4	0,05	3
17	Трещины в растянутой зоне бетона не превышают 0,3 мм	Плита	3	0,05	2
18	Маленькие воронки от пуль	Плита	1	0	2

Табл. 3. Описание повреждений в надземной части
Tab. 3. Description of damage in the superstructure

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Osteraas, J. D. Murrah Building Bombing Revisited: A Qualitative Assessment of Blast Damage and Collapse Patterns / J. D. Osteraas // Journal of performance of constructed facilities. – 2006. – № 1. – P. 330–335.

2. Damage assessment of RC columns under the combined effects of contact explosion and axial loads by experimental and numerical investigations / N. Mejia, R. Peralta, R. T. Gonzembach, R. Durán, A. Sarango // Engineering Structures. – 2022. – Vol. 254 (1), № 113776. – P. 1–15.

3. Monitoring war destruction from space using machine learning / H. Mueller, A. Groeger, J. Hersh, A. Matranga, J. Serrat // Earth, atmospheric, and planetary sciences. – 2021. – Vol. 118, № 23. – P. 1–9.

4. Syrian Cities Damage Atlas – Eight Year Anniversary of the Syrian Civil War: Thematic assessment of satellite identified damage / ReliefWeb : [сайт]. – URL: <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/syrian-cities-damage-atlas-eight-year-anniversary-syrian-civil-war>.

5. Central Bureau Of Statistics Licensed Buildings Residential And Non-Residential By (Urban –Rural) / Central Bureau Of Statistics // Syrian Arab Republic Office Of Prime Minister : [сайт]. – URL: http://cbssyr.sy/Syria_in_figure/Moh_11/Building.htm.

6. Adib, L. Multi-criteria Strategic Framework for Improving Residential Buildings Operational Energy Efficiency (Case Study Damascus Residential Youth Buildings) / L. Adib // Damascus University Journal of Engineering Sciences. – 2020. – № 32. – P. 57–72.

7. Illustrative examples of war destruction and atmospheric impact on reinforced concrete structures in Sarajevo / S. Medić, J. Curić, I. Imamović, N. Ademović, S. Dolarević // Damage assessment and reconstruction after war or natural disaster and previous military activities. – Sarajevo, Bosnia and Herzegovina : Springer, 2008. – P. 383–392.

8. Fulaih, N. S. Q. Assessment and Repair of Damaged Concrete Structures due to War Case study (The Republic of Yemen) / N. S. Q. Fulaih, A. H. M. Ali // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2022. – Vol. 11, Iss. 01. – P. 49–62.

9. Воробьев, Д. С. Техническая оценка зданий и сооружений: учебное пособие / Д. С. Воробьев ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. – 53 с.

10. Добромислов, А. П. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам : Справочное пособие / А. П. Добромислов. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 72 с.

11. Anagnostopoulou, S. A. Post-earthquake emergency

assessment of building damage, safety and usability – Part 1: Technical issues / S. A. Anagnostopoulou, M. L. Moretti // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2006. – Vol. 28. – P. 223–232.

REFERENCES

1. Osteraas, J. D. Murrah Building Bombing Revisited: A Qualitative Assessment of Blast Damage and Collapse Patterns / J. D. Osteraas // Journal of performance of constructed facilities. – 2006. – № 1. – P. 330–335.

2. Damage assessment of RC columns under the combined effects of contact explosion and axial loads by experimental and numerical investigations / N. Mejía, R. Peralta, R. T. Gonzembach, R. Durán, A. Sarango // Engineering Structures. – 2022. – Vol. 254 (1), № 113776. – P. 1–15.

3. Monitoring war destruction from space using machine learning / H. Mueller, A. Groeger, J. Hersh, A. Matrangola, J. Serrat // Earth, atmospheric, and planetary sciences. – 2021. – Vol. 118, № 23. – P. 1–9.

4. Syrian Cities Damage Atlas – Eight Year Anniversary of the Syrian Civil War: Thematic assessment of satellite identified damage / ReliefWeb : [website]. – URL: <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/syrian-cities-damage-atlas-eight-year-anniversary-syrian-civil-war>.

5. Central Bureau Of Statistics Licensed Buildings Residential And Non-Residential By (Urban –Rural) / Central Bureau Of Statistics // Syrian Arab Republic Office Of Prime Minister : [website]. – URL: http://cbssy.sy/Syria_in_figure/Moh_11/Building.htm.

6. Adib, L. Multi-criteria Strategic Framework for Improving Residential Buildings Operational Energy Efficiency (Case Study Damascus Residential Youth Buildings) / L. Adib // Damascus University Journal of Engineering Sciences. – 2020. – № 32. – P. 57–72.

7. Illustrative examples of war destruction and atmospheric impact on reinforced concrete structures in Sarajevo / S. Medić,

12. Abaas, K. Technical and Structural Evaluation of Damaged Reinforced Concrete Structures Using a Computer Program : dissertation of Master of Technical Sciences / Khaled Abaas ; Damascus, Syria, 2014. – 67 p.

J. Curić, I. Imamović, N. Ademović, S. Dolarević // Damage assessment and reconstruction after war or natural disaster and previous military activities. – Sarajevo, Bosnia and Herzegovina : Springer, 2008. – P. 383–392.

8. Fulaih, N. S. Q. Assessment and Repair of Damaged Concrete Structures due to War Case study (The Republic of Yemen) / N. S. Q. Fulaih, A. H. M. Ali // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2022. – Vol. 11, Iss. 01. – P. 49–62.

9. Vorobyev, D. S. Tekhnicheskaya otsenka zdaniy i sooruzhenij: uchebnoye posobiye [Technical assessment of buildings and structures] / D. S. Vorobyev ; 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. – 53 p.

10. Dobromyslov, A. P. Otsenka nadezhnosti zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam : Spravochnoye posobiye [Assessment of the reliability of buildings and structures by external signs : A reference manual] / A. P. Dobromyslov. – Moscow : ASV Publishing House, 2004. – 72 p.

11. Anagnostopoulou, S. A. Post-earthquake emergency assessment of building damage, safety and usability – Part 1: Technical issues / S. A. Anagnostopoulou, M. L. Moretti // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2006. – Vol. 28. – P. 223–232.

12. Abaas, K. Technical and Structural Evaluation of Damaged Reinforced Concrete Structures Using a Computer Program : dissertation of Master of Technical Sciences // Khaled Abaas ; Damascus, Syria, 2014. – 67 p.

Muzychenko Sergey Grigorievich

Deputy Minister of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Russia, 127051, Moscow, Sadovaya-Samotechnaya ulitsa, 10-1; Postgraduate student of the Department «Testing of Structures», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

Аннотация. В статье проанализирован опыт проведения обследования технического состояния конструкций радиобашни высотой 100 метров, расположенной в городском округе Новороссийск Краснодарского края. Район строительства отличается неблагоприятными условиями эксплуатации, представляющими особую опасность для высотных сооружений. Данная местность характеризуется сильными ветрами (борой) и сейсмической интенсивностью, равной 9 баллам. Обследование конструкций, эксплуатируемых в подобных условиях, должно проводиться не реже одного раза в 5 лет. Авторами статьи приведены сведения о конструктивных особенностях стальной решетчатой радиобашни. Описана методика проведения обследования и геодезической проверки вертикальности центральной оси и прямолинейности поясов сооружения. Отмечены основные дефекты узловых соединений радиобашни, такие как наличие

Abstract. In the article results of an inspection of 100-meter tall radio tower's technical condition are analyzed. The radio tower is located near Novorossiysk, Krasnodar Territory. The area is characterized by adverse weather conditions. Extreme bora wind coupled in the winter time with snow and ice loads and seismic intensity of 9 degrees represent particular danger for the high-rise structures. In such circumstances an inspection of technical condition must be carried out at least once every 5 years. Information on steel lattice radio tower's constructive characteristics is provided. Methods and instruments used during inspection and geodetic control of central axis's verticality and girths' straightness are described. Main defects of tower's joints such as gaps

Введение

Наличие развитой телекоммуникационной инфраструктуры является необходимым условием для цифровой трансформации экономики. Важную роль в обеспечении бесперебойного функционирования сотовой, беспроводной и радиосвязи играют антенно-мачтовые сооружения [1]. Размещение оборудования на значительной высоте позволяет увеличить площадь охватываемой сигналом территории. В соответствии с Федеральным законом от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи», сооружения связи высотой от 75 до 100 метров относятся к особо опасным, технически сложным объектам. Их разрушение влечет за собой серьезные экономические и социальные последствия.

Согласно статистике, главной причиной разрушения антенно-мачтовых сооружений являются гололедные и ветровые нагрузки. Каждые 10 лет фиксируется в среднем 80 случаев аварий подобных объектов. При этом наибольшему риску разрушения подвержены мачты высотой от 50 до 200 метров [2].

В результате анализа работ, посвященных исследованию эксплуатируемых антенно-мачтовых сооружений, было установлено, что распространенными дефектами для них являются крены и деформации, зазоры во фланцевых соединениях, коррозия металлических конструкций, повреждения бетона фундаментов [3; 4; 5; 6]. Для своевременного устранения указанных дефектов необходимо проведение систематических обследований технического состояния сооружений [4].

В настоящей статье проанализирован опыт эксплуата-

заций между плоскостями фланцев в местах расположения болтов и относительное радиальное смещение фланцев труб поясов, превышающее допустимую величину. Техническое состояние фланцевых соединений оценено как ограниченно работоспособное, сооружения в целом – как работоспособное. Приведены рекомендации для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации радиобашни. Представленные сведения, характеризующие опыт эксплуатации высотного сооружения в неблагоприятных условиях, могут быть использованы для оптимизации конструктивного решения подобных объектов и разработки способов их защиты от агрессивных природных воздействий.

Ключевые слова: антенно-мачтовые сооружения, высотные сооружения, дефект, обследование, решетчатая башня, сталь.

between circular flanges near bolts and relative radial displacement of flanges exceeding maximal value are pointed out. Technical condition of flange-bolted connections is assessed as limited operational, of the whole structure – as operational. Recommendations for the further safe exploitation of the radio tower are given. Information on high-rise structure's operation in adverse weather conditions can be used for the optimization of constructive scheme and for the development of methods of protection against aggressive environmental influences.

Keywords: antenna-mast structures; defect; high-rise structures; inspection; lattice tower; steel.

ции стальной радиобашни высотой 100 м в течение 13 лет. Областью проведенного исследования являлось обследование и мониторинг технического состояния, предметом изучения – несущие конструкции радиобашни. Целью являлась оценка влияния дефектов, возникающих в процессе эксплуатации антенно-мачтового сооружения, на его эксплуатационную пригодность.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- анализ технической документации по объекту;
- обследование конструкций, фундаментов и грунтов основания;
- выявление, фиксация и измерение параметров дефектов элементов металлических конструкций, измерение зазоров во фланцевых соединениях труб поясов и относительного радиального смещения фланцев;
- геодезическая проверка вертикальности центральной оси и прямолинейности поясов радиобашни и нивелировка фундаментов;
- выполнение поверочных расчетов несущих металлических конструкций и узлов соединений.

Радиобашня высотой 100 метров в городском округе Новороссийск Краснодарского края была введена в эксплуатацию в октябре 2002 г. Общий вид сооружения представлен на рисунке 1. Проект радиобашни был разработан компанией «Ehresmann Engineering» (США). Пригодность данной продукции для применения в строительстве на территории РФ была подтверждена техническим свидетельством Госстроя.

Долговечность высотных сооружений зависит от их

УДК 624.014.2, 624.074.5

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_54

Диагностика уникального сооружения – радиобашни высотой 100 метров

Diagnostics of a Unique Structure – 100-meter Tall Radio Tower

Кунин Юрий Саулович

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Испытания сооружений», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, yuskunin@rambler.ru

Kunin Yuri Saulovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Structures Testing», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, yuskunin@rambler.ru

Потапова Татьяна Владимировна

Старший преподаватель кафедры «Металлические и деревянные конструкции», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, anyp.tv@mail.ru

Potapova Tatiana Vladimirovna

Senior Lecturer of the Department of Metal and Timber Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, anyp.tv@mail.ru

Музыченко Сергей Григорьевич

Заместитель Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Россия, 127051, Москва, улица Садовая-Самотечная, 10, стр. 1; аспирант кафедры «Испытания сооружений», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

конструктивных особенностей и климатических характеристик района строительства [7]. Условия эксплуатации радиобашни можно охарактеризовать как неблагоприятные. Для высоких легких стальных конструкций наибольшую опасность представляют динамические ветровые нагрузки, которые могут вызвать появление усталостных трещин в местах концентрации напряжений [8].

Согласно ТСН 20-302-2002 Краснодарского края, территория, на которой расположен город Новороссийск, выделена в особый ветровой район, отличающийся интенсивными ветрами, или борой. Расчетное значение ветрового давления для данной местности составляет 1 кПа. Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», город Новороссийск относится к VI ветровому району с нормативным значением ветрового давления 0,73 кПа. С учетом коэффициента надежности по нагрузке расчетное значение составляет 1,022 кПа. По результатам 117 лет наблюдений среднегодовое число суток с борой в Новороссийске равно 30 [9]. Для данного явления характерна скорость ветра свыше 15 м/с (в отдельных случаях до 45 м/с) и понижение температуры до –15 °С. На осенне-зимний период приходится 76,4 % случаев боры.

В холодное время года в сочетании с борой на сооружение оказывают влияние гололедные нагрузки. Согласно п. 12.1 СП 20.13330.2016, для антенно-мачтовых сооружений учет гололедных нагрузок необходим, так как они приводят к увеличению веса и повышению наветренной площади конструкций. Рассматриваемая местность относится к III гололедному району с толщиной стенки гололеда не менее 10 мм.

К возрастанию риска разрушения сооружения может привести одновременное действие ветровых и сейсмических нагрузок. Так как землетрясение может произойти на любом этапе эксплуатации объекта, последствия могут значительно варьироваться в зависимости от накопленных усталостных повреждений, вызванных продолжительными ветровыми нагрузками [10]. Учет совместного действия ветровых и сейсмических нагрузок позволяет спроектировать наиболее экономичную конструкцию ан-

тенного сооружения для конкретного района строительства [11]. Согласно СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», расчетная сейсмическая интенсивность для средних грунтовых условий в течение 50 лет для Новороссийска составляет 9 баллов шкалы MSK-64.

Согласно п. 4.3 ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не позднее чем через два года после ввода в эксплуатацию и далее не реже одного раза в десять лет и не реже одного раза в пять лет, если конструкции работают в неблагоприятных условиях. Выбор оптимальных проектных решений позволяет снизить влияние действующих на высотное сооружение нагрузок, повысить надежность и долговечность конструкций.

Рассматриваемая радиобашня представляет собой решетчатую конструкцию из металлических ферм с перекрестной решеткой с совмещенными в смежных гранях узлами. Схема сооружения представлена на рисунке 2.

Для упрощения монтажа высотные конструкции собирались на строительной площадке из 17 отдельных секций [5].

Нижняя часть сооружения до отметки 98 м выполнена в виде правильной усеченной трехгранной пирамиды, верхняя – в виде призмы. Внешний контур башни на любой отметке представляет собой правильный треугольник. К поясам с помощью специальных кронштейнов крепятся трубы диаметром 76 и 114 мм для размещения антенного оборудования, также имеется площадка для его обслуживания.

Строительный объем сооружения составляет 4445 м³. Пояса ферм радиобашни являются основными несущими конструкциями, передающими на фундамент усилия от всех нагрузок [12]. При проектировании для поясов было принято трубчатое сечение, являющееся для высотных сооружений наиболее эффективным. За счет хорошей обтекаемости оно позволяет снизить ветровую нагрузку, а также применить фланцевые соединения, что упрощает монтаж [13; 14]. Пояса выполнены из круглых труб наружным диаметром от 89 до 356 мм со стенками толщиной от 5,5 до 19,1 мм из стали С345 по ГОСТ 27772-2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия». Пояса секций соединены между собой с помощью кольцевых фланцев на болтах М22–М38.

Для увеличения общей жесткости конструкций использованы раскосы из равнополочных уголков с полками шириной от 64 до 150 мм и толщиной от 4,8 до 12,7 мм из стали С245. Крепление раскосов к поясам осуществляется болтами М16–М22. Прочность болтов соответствует классу 8.8.

Каждый пояс имеет самостоятельный фундамент размером в плане 100 х 100 см из бетона на сульфатостойком цементе класса по прочности на сжатие В30. При проектировании радиобашен применение бетона более низких классов для фундаментов не рекомендуется из-за уменьшения их износостойкости и долговечности [6]. Опорный фланцевый узел крепится к фундаменту с помощью девяти анкерных болтов размерами М44х2440 мм (класс

прочности 8.8).

Согласно п. 9.3.7 СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85», для защиты стальных конструкций, болтов, шайб и гаек от коррозии необходимо применение горячего цинкования. Толщина покрытия конструкций радиобашни, выполненного методом горячего цинкования, составляет 90–100 мкм. Сверху были нанесены лакокрасочные материалы на акриловой основе. По данным проекта, срок службы данного покрытия должен составлять 30 лет.

Материалы и методы

В ходе исследования был выполнен анализ технической документации и материалов предыдущих работ. В 2005 г. Центральным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским и проектным институтом строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова (ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова») были выполнены обследование технического состояния металлоконструкций поясов радиобашни, геодезический контроль их прямолинейности и вертикальности, а также поверочные расчеты. Результаты были переданы в службу эксплуатации сооружения.

С 2002 по 2014 гг. фирмой ООО «Старстрой» выполнялся контроль прямолинейности поясов, вертикальности центральной оси сооружения и осадок фундаментов. Согласно материалам геодезических измерений, был обнаружен подъем фундаментов радиобашни, среднее значение которого за период эксплуатации составило 5,7 мм. Возможной причиной являются геологические особенности площадки строительства. В 2014 г. был зафиксирован максимальный за период наблюдений подъем фундамента одного из поясов (В) на 10 мм. Подъем фундаментов не препятствовал нормальной эксплуатации радиобашни. В 2014 г. состояние центральной оси и прямолинейности поясов было охарактеризовано как устойчивое. Тенденций к увеличению отклонений от предельно допустимых значений выявлено не было.

В 2015 г. срок службы объекта составил 13 лет, а с момента последнего обследования в 2005 г. прошло 10 лет. В связи с этим возникла необходимость в проведении нового обследования технического состояния конструкций радиобашни. Работы выполнялись в марте–апреле 2015 г. специалистами лаборатории «Обследование и реконструкция зданий и сооружений» кафедры «Испытания сооружений» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ). В ходе исследования применялись такие методы научного познания, как анализ, наблюдение, измерение, а также компьютерное моделирование.

Для диагностики металлических строительных конструкций проводится визуально-инструментальный контроль [15]. В зависимости от количества обнаруженных дефектов и повреждений принимается решение о применении капиллярных, ультразвуковых, магнитных, токовых, тепловых и других методов. При проведении диагностики обязательным условием является оценка физико-механических свойств металла и его химический анализ. В данном исследовании характеристики стали



Рис. 1. Радиобашня высотой 100 м
Fig. 1. 100-meter tall radio tower

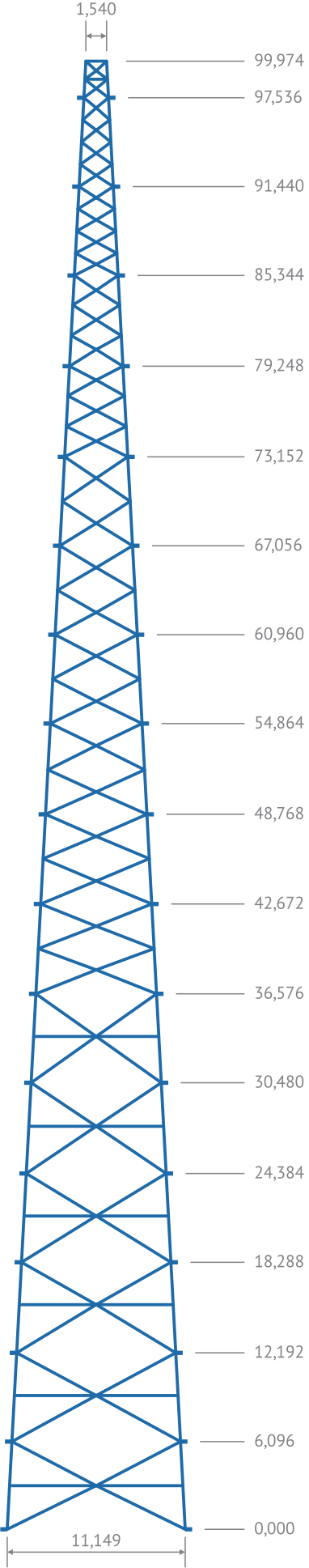


Рис. 2. Схема радиобашни
Fig. 2. Scheme of the radio tower



Рис. 4. Утрата защитного покрытия и усадочные трещины бетона фундамента пояса А
Fig. 4. Loss of concrete cover and shrinkage cracks in concrete foundation of the girth A

были приняты по материалам предыдущих испытаний.

Для измерения зазоров использовался комплект щупов толщиной от 0,1 до 1 мм с шагом 0,05 мм. Щуп вводился в зазор до касания стержня болта, при этом по периметру каждого фланцевого стыка выполнялось по 4 измерения.

Определение относительного радиального смещения фланцев выполнялось с помощью штангенциркуля-глубиномера с ценой деления 0,1 мм по оси наибольшего смещения в двух диаметрально противоположных точках. Затем фиксировалось максимальное значение.

Обследования металлоконструкций башни выполнялись сотрудниками Научно-производственного методического центра «Промышленный альпинизм» НИУ МГСУ с использованием необходимых средств индивидуальной защиты от падения с высоты.

К современным методам определения крена башенных сооружений относятся способы высокоточного нивелирования, вертикального проектирования, горизонтальных узлов и т. д. [16]. Для контроля вертикальности центральной оси и прямолинейности поясов радиобашни была выполнена геодезическая проверка с использованием графоаналитического метода построения сечений поясов по координатам точек, расположенных на поверхности труб. Координаты измерялись электронным тахеометром, расположенным в позиции, обеспечивающей непосредственную видимость всех трех поясов и реперов для привязки точек по высоте. Преимуществом данного метода является отсутствие необходимости в перестановке тахеометра, что позволило исключить погрешности от создания опорной сети и нахождения положения прибора относительно нее. Данный способ также позволяет создать трехмерную модель поверхности высотного сооружения [17].

На 3 поясах в каждом из 14 сечений, расположенных вблизи фланцев, измерялись координаты 4 точек. Общий объем измерений составил 168 точек. Методом 3D-моделирования были построены окружности с радиусами, равными проектным радиусам труб поясов, и прямые, соединяющие центры нижнего и верхнего сечений. Относительно этих прямых были определены величины



Рис. 6. Относительное радиальное смещение фланцев пояса С на 4 мм на отметке 24 м
Fig. 6. Relative radial displacement of girth's C flanges of 4 mm at a height of 24 m

отклонений центров сечений от прямолинейности. На рисунке 3 показано положение окружностей труб поясов, а также направление и величина смещения центра верха радиобашни, составившая 43 мм.

Результаты

В ходе визуального обследования конструкций радиобашни были отмечены следующие дефекты и повреждения:

- 1) утрата защитного покрытия и усадочные трещины бетона фундамента (рисунок 4);
- 2) наличие зазоров до 2,7 мм (среднее значение – 0,83 мм) между плоскостями фланцев в местах расположения болтов в 80 % стыков;
- 3) относительное радиальное смещение фланцев труб поясов на 1–4 мм;
- 4) локальные отслоения лакокрасочного покрытия поясов, расколов, болтов и гаек, а также металлоконструкций лестниц, установленных на поясах;
- 5) локальная коррозия и частичное отсутствие лакокрасочного покрытия металлических конструкций

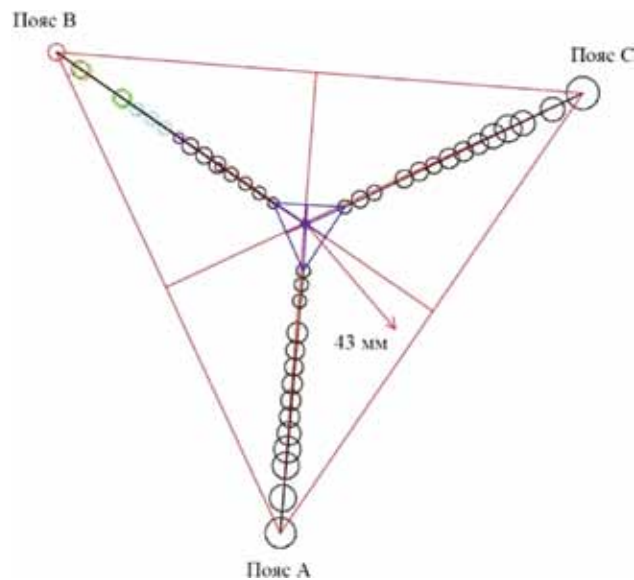


Рис. 3. Положение окружностей труб поясов и направление смещения центра верха радиобашни
Fig. 3. Position of circles indicating girths' pipes and displacement's direction of the radio tower's top center



Рис. 5. Зазор 1,7 мм между фланцами пояса А на отметке 36 м
Fig. 5. Gap of 1,7 mm between flanges (girth A, height of 36 m)

навесного оборудования и антенн.

Наличие зазоров между плоскостями фланцев не отвечает требованиям п. 4.6.17 СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87», согласно которому «зазоры между соприкасающимися плоскостями фланцев в местах расположения болтов не допускаются». При этом «щуп толщиной 0,1 мм не должен проникать в зону радиусом 40 мм от оси болта». В стыках фланцев, имеющих зазоры,

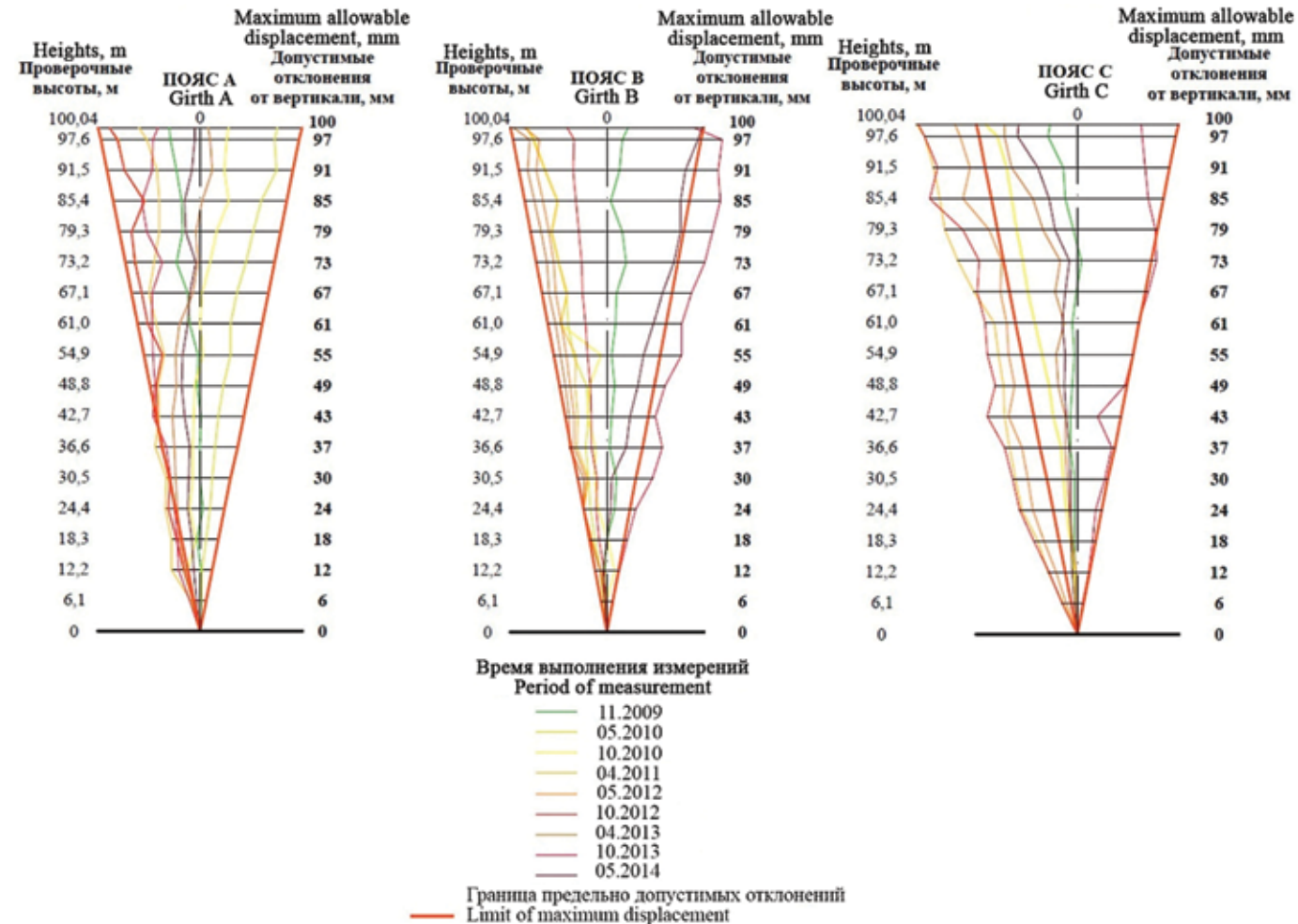


Рис. 7. Схемы отклонений поясов А, В и С радиобашни от прямолинейности
Fig. 7. Schemes of displacement of radio tower's girths A, B and C

способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения». Для дальнейшей безопасной эксплуатации сооружения необходимо проведение мероприятий по восстановлению поврежденных конструкций и осуществление последующего мониторинга технического состояния.

По результатам поверочных расчетов максимальные напряжения в поясах, раскосах и горизонтальных стяжках не превышают расчетного сопротивления стали. Несущая способность элементов и узлов радиобашни обеспечена для восприятия фактически действующих и временных нагрузок.

Согласно таблице 4.15 СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», смещение оси пояса от проектного положения для башни объекта связи не должно превышать «0,001 высоты выверяемой точки над фундаментом». По результатам проведения геодезической проверки максимальные отклонения центральной оси башни от вертикали и поясов от прямолинейности в 2014 г. не превышают допустимых значений. На рисунке 7 представлены схемы отклонений от прямолинейности поясов радиобашни за период наблюдений с 2009 по 2014 гг. Тенденции к увеличению отклонений не выявлено.

Деформаций и просадок грунтов околофундаментной зоны, представленных щебнем горных пород, не обнаружено.

Радиобашня в целом находится в работоспособном техническом состоянии.

Обсуждение

Специалистами НИУ МГСУ были даны следующие рекомендации по дальнейшей эксплуатации сооружения:

- 1) устранить перекосы болтов трех фланцевых соединений, относительное смещение которых составляет более 3 мм;
- 2) нанести защитное покрытие на бетон фундамента и отремонтировать поврежденный защитный слой;
- 3) восстановить защитное покрытие металлических элементов;
- 4) установить мониторинг за состоянием конструкций в течение 5 лет, по окончании которого выполнить обследование их технического состояния с составлением рекомендаций на основе полученных экспериментальных данных.

Заключение

Полученные в результате проведенного исследования материалы, а также опыт эксплуатации указанного типа сооружений, результаты их диагностики и мониторинга позволяют уточнять нормы проектирования, составлять рекомендации по оптимальному конструированию узлов и соединений и разработке методов защиты от агрессивных природных воздействий.

Проведение не реже одного раза в пять лет обследований технического состояния конструкций, работающих в неблагоприятных условиях, необходимо для выявления и устранения дефектов и причин их возникновения, а также для дальнейшей безаварийной эксплуатации строительных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wind tunnel testing of telecommunication lattice towers equipped with ancillaries / I. Calotescu, S. Torre, A. Freda, G. Solari // Engineering Structures. — 2021. — № 241. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112526>.
2. Smith, B. W. Communication structures / B. W. Smith. — London : Thomas Telford Publishing, 2007. — 352 p. — URL: <https://doi.org/10.1680/cs.34006.bm04>.
3. Закурдаева, О. Н. Повреждаемость антенно-мачтовых сооружений сотовой связи / О. Н. Закурдаева, А. В. Голиков // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2018. — № 4 (67). — С. 72–85.
4. Давыдов, И. И. Проблемы диагностики и подходы к расчету стальных конструкций антенно-мачтовых сооружений / И. И. Давыдов, В. П. Чабан // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. — 2008. — № 10. — С. 28–34.
5. Blachowski, B. Effect of damaged circular flange-bolted connections on behaviour of tall towers, modelled by multilevel substructuring / B. Blachowski, W. Gutkowski // Engineering Structures. — 2016. — № 111. — P. 93–103. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.018>.
6. Гучкин, И. С. Оценка физического состояния пирамидальных радиобашен после длительной эксплуатации в экстремальных условиях Поволжского региона / И. С. Гучкин, Н. Н. Ласков, Д. В. Артюшин // Региональная архитектура и строительство. — 2018. — № 3 (36). — С. 136–141.
7. Risk assessment of rehabilitation strategies for steel lattice telecommunication towers of Greece under extreme wind hazard / D. V. Bilonis, K. Vlachakis, D. Vamvatsikos, M.-E. Dasiou, I. Vayas, K. Lagouvardos // Engineering Structures. — 2022. — № 267. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114625>.

8. Wind-induced fatigue analysis of high-rise guyed lattice steel towers / D. Ribeiro, C. Bragança, P. A. Montenegro, H. Carvalho, B. Costa, F. Marques // Structures. — 2022. — № 36. — P. 719–734. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.017>.
9. Efimov, V. V. Temporal characteristics and synoptic conditions of extreme bora formation in Novorossiysk / V. V. Efimov, O. I. Komarovskaya, T. M. Bayankina // Physical Oceanography. — 2019. — Vol. 26, № 5. — P. 361–373. — URL: <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2019-5-361-373>.
10. Lifetime multi-hazard fragility analysis of transmission towers under earthquake and wind considering wind-induced fatigue effect / C. Li, H. Pan, L. Tian, W. Bi // Structural Safety. — 2022. — № 99. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2022.102266>.
11. Каракозова, А. И. Анализ нагрузок на высотные башенные сооружения в сейсмоопасных районах / А. И. Каракозова, В. Л. Мондрус // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2021. — № 2 (746). — С. 112–119.
12. Остроумов, Б. В. Совершенствование конструктивных форм высотных сооружений на основе экспериментально-теоретических исследований их взаимодействия с ветровым потоком / Б. В. Остроумов // Сборник трудов «Труды института к 100-летию со дня рождения академика Н. П. Мельникова». — Москва : ЦНИИПСК им. Мельникова, Эдиссон, 2009. — С. 61–85.
13. Перельмутер, А. В. Становление и развитие ключевых идей проектирования высотных конструкций антенных сооружений / А. В. Перельмутер // Промышленное и гражданское строительство. — 2021. — № 1. — С. 10–20. — URL: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.01.10-20>.
14. Алехин, А. М. Влияние нагрузок и воздействий на выбор конструктивной формы узкобазой антенной опоры / А. М. Алехин, М. В. Кроник, Е. В. Кирсанов // Металлические конструкции. — 2018. — Т. 24, № 2. — С. 61–72.

15. Кузьмина, Т. К. Методический подход к техническому обследованию строительных объектов / Т. К. Кузьмина, А. Ю. Кагазежев, А. Е. Боровкова // Строительное производство. — 2022. — № 4. — С. 14–18. — URL: https://doi.org/10.54950/26585340_2022_4_14.
16. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений : Монография / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. — Н. Новгород : ННГАСУ, 2009. — 156 с.

REFERENCES

1. Wind tunnel testing of telecommunication lattice towers equipped with ancillaries / I. Calotescu, S. Torre, A. Freda, G. Solari // Engineering Structures. — 2021. — № 241. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112526>.
2. Smith, B. W. Communication structures / B. W. Smith. — London : Thomas Telford Publishing, 2007. — 352 p. — URL: <https://doi.org/10.1680/cs.34006.bm04>.
3. Zakurdaeva, O. N. Povrezhdaemost' antenno-machtovykh sooruzhenij sotovoj svyazi [Damageability of antenna and mast constructions of cellular communication] / O. N. Zakurdaeva, A. V. Golikov // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. — 2018. — № 4 (67). — P. 72–85.
4. Davidov, I. I. Problemy diagnostiki i podkhody k raschetu stal'nykh konstruksij antenno-machtovykh sooruzhenij [Problems of diagnostics and approaches to the calculation of antenna-mast steel structures] / I. I. Davidov, V. P. Chaban // Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnitstva ta arkhitekturi [Bulletin of Prydniprovs'ka state academy of civil engineering and architecture]. — 2008. — № 10. — P. 28–34.
5. Blachowski, B. Effect of damaged circular flange-bolted connections on behaviour of tall towers, modelled by multilevel substructuring / B. Blachowski, W. Gutkowski // Engineering Structures. — 2016. — № 111. — P. 93–103. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.018>.
6. Guchkin, I. S. Otsenka fizicheskogo sostoyaniya piramidal'nykh radiobashen posle dlitel'noj ekspluatatsij v ekstremal'nykh usloviyakh Povolzhskogo regiona [Assessment of physical condition of pyramidal radio towers after a long time of use in extreme conditions of the Volga region] / I. S. Guchkin, N. N. Laskov, D. V. Artyushin // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and engineering]. — 2018. — № 3 (36). — P. 136–141.
7. Risk assessment of rehabilitation strategies for steel lattice telecommunication towers of Greece under extreme wind hazard / D. V. Bilonis, K. Vlachakis, D. Vamvatsikos, M.-E. Dasiou, I. Vayas, K. Lagouvardos // Engineering Structures. — 2022. — № 267. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114625>.
8. Wind-induced fatigue analysis of high-rise guyed lattice steel towers / D. Ribeiro, C. Bragança, P. A. Montenegro, H. Carvalho, B. Costa, F. Marques // Structures. — 2022. — № 36. — P. 719–734. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.017>.
9. Efimov, V. V. Temporal characteristics and synoptic conditions of extreme bora formation in Novorossiysk / V. V. Efimov, O. I. Komarovskaya, T. M. Bayankina // Physical Oceanography. — 2019. — Vol. 26, № 5. — P. 361–373. — URL: <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2019-5-361-373>.
10. Lifetime multi-hazard fragility analysis of transmission towers under earthquake and wind considering wind-induced fatigue effect / C. Li, H. Pan, L. Tian, W. Bi // Structural Safety. — 2022. — № 99. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2022.102266>.

17. Михайлов, В. И. Экспериментальные измерения крена башенных сооружений электронным тахеометром / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, Ю. Н. Чиберкус // Наука и техника. — 2015. — № 2. — С. 42–47.
18. Формирование унифицированной классификации дефектов при строительстве промышленных объектов / А. А. Лapidус, Д. В. Топчий, А. Ю. Юргайтис, В. В. Климина // Современные наукоемкие технологии. — 2020. — № 11. — С. 37–42. — URL: <https://doi.org/10.17513/snt.38335>.

11. Karakozova, A. I. Analiz nagruzok na vysotnye bashennye sooruzheniya v seismoopasnykh rajonakh [Analysis of loads on high-rise tower structures in a seismic areas] / A. I. Karakozova, V. L. Mondrus // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. — 2021. — № 2 (746). — P. 112–119.
12. Ostroumov, B. V. Sovershenstvovanie konstruktivnykh form vysotnykh sooruzhenij na osnove eksperimental'no-teoreticheskikh issledovanij ikh vzaimodejstviya s vetrovym potokom [Improvement of constructive forms of high-rise structures based on experimental and theoretical studies of their interaction with the wind flow] / B. V. Ostroumov // Sbornik trudov «Trudy instituta k 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N. P. Mel'nikova» [Institute's proceedings on the centenary of the birth of Academician N. P. Melnikov: collection of works]. — Moscow : TsNIIPSK im. Mel'nikova, Edisson, 2009. — P. 61–85.
13. Perelmuter, A. V. Stanovlenie i razvitie klyuchevykh idej proektirovaniya vysotnykh konstruksij antennykh sooruzhenii [On the formation and development of key ideas for the design of high-rise structures of antenna facilities] / A. V. Perelmuter // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. — 2021. — № 1. — P. 10–20. — URL: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.01.10-20>.
14. Alyokhin, A. M. Vliyanie nagruzok i vozdeistvii na vybor konstruktivnoj formy uzkobazoj antennoj opory [The loads and actions effects on the decision of narrow-band antenna support design shape] / A. M. Alyokhin, M. V. Kronik, E. V. Kirsanov // Metallicheskie konstruksii [Metal constructions]. — 2018. — Vol. 24, № 2. — P. 61–72.
15. Kuzmina, T. K. Metodicheskij podkhod k tekhnicheskomu obsledovaniyu stroitel'nykh ob'ektov [Methodical approach to the technical inspection of construction projects] / T. K. Kuzmina, A. Y. Kagazezhev, A. E. Borovkova // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. — 2022. — № 4. — P. 14–18. — URL: https://doi.org/10.54950/26585340_2022_4_14.
16. Shekhovtsov, G. A. Sovremennye geodezicheskie metody opredeleniya deformatsij inzhenernykh sooruzhenij : Monografiya [Modern geodetic methods for determination of engineering structures' deformations. Monograph] / G. A. Shekhovtsov, R. P. Shekhovtsova. — N. Novgorod : NNGASU, 2009. — 156 p.
17. Mikhailov, V. I. Eksperimental'nye izmereniya krena bashennykh sooruzhenij elektronnym takheometrom [Experimental measurements of tower construction tilt using electronic tachometer] / V. I. Mikhailov, S. I. Kononovich, Yu. N. Tchiberkus // Nauka i tekhnika [Science and Technique]. — 2015. — № 2. — P. 42–47.
18. Formirovanie unifitsirovannoj klassifikatsii defektov pri stroitel'stve promyshlennykh ob'ektov [Formation of a unified classification of defects in the construction of industrial objects] / A. A. Lapidus, D. V. Topchiy, A. Y. Yurgaitis, V. V. Klimina // Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]. — 2020. — № 11. — P. 37–42. — URL: <https://doi.org/10.17513/snt.38335>.

Жизненный цикл объекта строительства как часть строительной системы

The Life Cycle of a Building Object as Part of the Construction System

Сафарян Геворг Борисович

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

Safaryan Gevorg Borisovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research University Moscow University of Civil Engineering Russia (NRU MGSU), 129337, Moscow, Yaroslavlshoe shosse, 26, info.safaryan@gmail.com

Аннотация. Жизненный цикл объекта строительства является неотъемлемой частью строительной системы. Реализация и эксплуатация строительного объекта является конечной целью строительной системы. Современное строительство невозможно рассматривать в отрыве от жизненного цикла объекта, а при более комплексном подходе невозможно рассматривать жизненный цикл в отрыве от всей строительной системы. Несмотря на достаточно детально изученные этапы жизненного цикла – как с научной точки зрения, так и практической, анализ показывает отсутствие комплексного подхода в управлении жизненным циклом объекта и дифференцированный характер оценки эффективности отдельных этапов жизненного цикла объекта или же участников строительной системы.

В статье рассматриваются основные этапы жизненного

Abstract. The life cycle of a construction project is an integral part of the construction system. Implementation and operation of the building object is the ultimate goal of the construction system. Modern construction can't be considered in isolation from the life cycle of the object, and with a more comprehensive approach it is impossible to consider the life cycle in isolation from the entire construction system. Despite the fact that the stages of the life cycle have been studied in sufficient detail both scientifically and practically, the analysis shows the absence of a comprehensive approach to the management of the object life cycle and the differentiated nature of assessing the effectiveness of individual stages of the object life cycle or the participants of the construction system.

The article considers the main stages of the life cycle and

Введение

Жизненный цикл объекта строительства состоит из нескольких этапов – начиная с формирования концепции и технического задания, заканчивая эксплуатацией и дальнейшей реконструкцией объекта или его демонтажем [1]. Автором рассматриваются девять основных этапов жизненного цикла объекта: техническое задание, изыскания, проектирование, производство строительных материалов, логистика, строительство, эксплуатация, реконструкция и демонтаж.

Строительная система включает множество участников, в том числе не относящихся непосредственно к строительной отрасли [2]. Строительная система – это объединяющий термин, введенный автором для обозначения комплексной и динамичной структуры, которая охватывает все аспекты жизненного цикла объекта от разработки технического задания до эксплуатации и окончания срока службы здания и включает в себя широкий круг участников, как непосредственно задействованных в реализации объекта (проектировщики, подрядчики, поставщики,

цикла и их влияние на строительную систему и ее надежность. Проведен анализ нормативно-технической базы, представлен опыт проведения автором судебных экспертиз, обследований зданий и сооружений, проектирования и иной производственный опыт, позволивший взглянуть на проблемы данной области в более комплексном ключе.

Отмечены основные риски, возникающие на различных этапах, что позволит производить более точные расчеты организационно-технологической надежности реализации объектов, учитывающие все этапы жизненного цикла объекта как части строительной системы.

Ключевые слова: жизненный цикл, надежность, строительная система, риски, строительство, эксплуатация.

their impact on the construction system and its reliability. The analysis of normative and technical base, the author's experience in performing forensic examinations, inspections of buildings and structures, designing and other production experience have been carried out, which allowed to look at the problems of this field in a more comprehensive way.

The main risks arising at different stages are marked, which will allow to make more accurate calculations of organizational and technological reliability of objects realization, taking into account all stages of the object life cycle as a part of the construction system.

Keywords: life cycle, reliability, construction system, risks, construction, operation.

производители строительных материалов и т. д.), так и косвенных ее участников (банки, страховые компании и государственные учреждения). Государственные институты оказывают прямое влияние на строительную систему, являясь ее опосредованным участником на частных объектах и непосредственным – на государственных (выступая заказчиком). Нельзя не учитывать макроэкономические и геополитические факторы, влияющие на все этапы жизненного цикла, как например, нарушение цепочек поставок в связи с введением санкций или пандемии. Кроме того, влияние на жизненный цикл оказывают банки, страховые компании и иные участники экономической отрасли, на первый взгляд не относящиеся к строительной системе.

Проведенный анализ научно-методической базы по данной тематике позволяет сделать вывод об отсутствии комплексного подхода в оценке рисков на этапах жизненного цикла или взаимного влияния строительной системы на жизненный цикл объекта.

Автором предлагается рассматривать жизненный

цикл объекта строительства как неотъемлемую часть строительной системы, что позволит в дальнейших исследованиях провести более точные расчеты рисков и надежности строительства на всех этапах жизненного цикла, а также учесть влияние одних этапов жизненного цикла на последующие.

Материалы и методы

В статье применены следующие методы научного исследования: анализ, синтез, – и рассмотрены варианты моделирования – это методы научного исследования, которые могут быть использованы для анализа жизненного цикла строительного объекта как части строительной системы. Проведен анализ отдельных этапов жизненного цикла объекта строительства, идентифицированы проблемы и требующие улучшения аспекты.

В рамках синтеза объединены различные этапы жизненного цикла и участники строительной системы, чтобы обеспечить комплексный подход к управлению жизненным циклом объекта строительства.

В рамках моделирования жизненного цикла строительного объекта предложен вектор формирования математической модели, которая описывает каждый этап жизненного цикла и их взаимное влияние.

Результаты

Жизненный цикл объекта строительства как части строительной системы автором рассматривается как совокупность девяти основных этапов:

1. Техническое задание: разработка технического задания на проектирование, изыскания, разработка концепции, определение основных технико-экономических параметров;
2. Изыскания: комплексное исследование строительной площадки и подготовки исходных данных для проектирования (инженерно-геодезические, геологические, экологические, гидрометеорологические, геотехнические, археологические изыскания);
3. Проектирование: разработка проектной документации, составление сводных сметных расчетов и графика производства работ;
4. Производство: включает в себя добычу сырья, производство и обработку материалов. Риски и сбои, связанные с ними, которые возникают на этапе производства, а также их влияние на последующие этапы и конечный результат строительного производства были исследованы автором в кандидатской диссертации [3];
5. Логистика: доставка материалов, конструкций, изделий и оборудования на строительную площадку, организация их хранения, планирование маршрутов и координация с поставщиками и другими участниками проекта. Автор статьи в рамках кандидатской диссертации исследовал отклонения, которые могут возникнуть на этапе логистики, и их влияние на итоговый результат строительства [3]. Кроме того, данный вопрос более детально был исследован другими авторами [4–7];
6. Строительство: этап включает в себя все работы по строительству, начиная от нулевого цикла и заканчивая отделочными работами и благоустройством. Кроме того, на этом этапе осуществляются контрольные и надзорные мероприятия, обеспечи-

вающие соответствие проекту и нормативным требованиям. Данный этап был подробно исследован рядом отечественных и зарубежных ученых [8–12];

7. Эксплуатация и техническое обслуживание: после завершения строительства здание переходит в стадию эксплуатации и обслуживания, где должны быть обеспечены его функциональность и комфортность для конечного потребителя. Этот этап включает такие мероприятия, как регулярная уборка, техническое обслуживание и текущий ремонт по мере необходимости, за которые отвечает собственник здания или управляющая компания;
8. Реконструкция: включает в себя реновацию или модернизацию существующего здания. Для корректного перехода к данному этапу проводятся изыскания по ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», то есть детальное инструментальное обследование и дальнейшая разработка проекта реконструкции в соответствии с действующими нормами и требованиями технического задания, и последующие строительные-монтажные работы.
9. Демонтаж: конец жизненного цикла, здание выводится из эксплуатации и сносится. Включает в себя утилизацию материалов здания и переработку материалов, которые могут быть использованы повторно.

Действующая модель строительной системы рассматривает только отдельные процессы или их группы, не учитывая при этом другие связанные с ними процессы, участников строительной системы и взаимное влияние их на жизненный цикл объекта. Исследования на эту тему фокусируются на конкретных процессах или объектах [1; 3; 9; 10], но не учитывают их связь с другими участниками строительного процесса. Автор статьи предлагает рассмотреть модель строительной системы в более широком смысле, включающую в себя всех участников строительного процесса, а также внешние факторы, такие как государственные институты, банки и страховые компании, которые оказывают влияние на строительную отрасль в целом и на реализацию отдельных объектов [2]. Обобщенная модель должна учитывать связь между всеми участниками строительного процесса и внешними факторами, чтобы обеспечить более эффективную и надежную реализацию объектов (рисунок 1).

По своей сути строительная система является многомерной матрицей, где в каждой плоскости (x, y, z) расположены все вышеуказанные участники строительства, все вышеописанные этапы жизненного цикла, а в пересекаемых плоскостях располагаются факторы (риски или сбои), влияющие на каждый последующий этап и результат или на других участников строительной системы (рисунок 2).

Идентификация и управление рисками в строительстве в рамках жизненного цикла строительного объекта включает в себя выявление, оценку, контроль и управление рисками на всех этапах проекта, начиная от подготовки к строительству и заканчивая эксплуатацией объекта недвижимости. На каждом из рассмотренных выше этапов жизненного цикла возникают свои сбои (риски), влияющие на последующие этапы.

На ранних этапах проекта, таких как разработка тех-

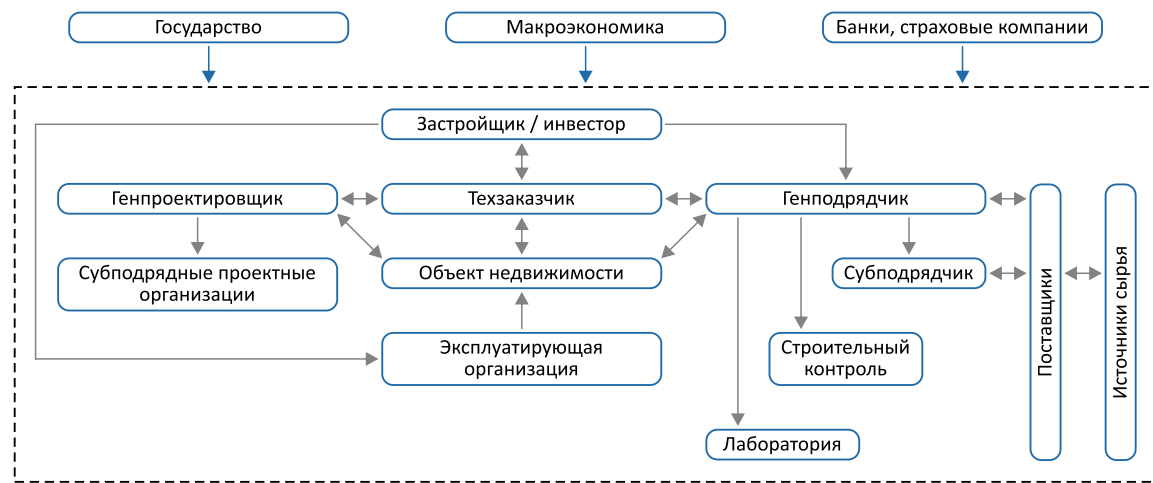


Рис. 1. Обобщенная модель участников строительной системы
Fig. 1. Generalized model of the construction system actors

нического задания и проектирование, необходимо выявлять потенциальные риски и разрабатывать меры по их снижению. На этапе строительства следует осуществлять контроль за выполнением работ и соблюдением нормативно-технических требований, что поможет предотвратить возможные риски.

На этапе эксплуатации и технического обслуживания здания необходимо регулярно проводить технический осмотр и обслуживание оборудования и инженерных систем, а также ремонт и модернизацию здания по мере необходимости, чтобы минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций и нештатных ситуаций.

Для управления рисками в строительстве используют различные методы и инструменты, такие как анализ рисков, планирование рисков, мероприятий, страхование, контрактное управление рисками и др. Основная цель управления рисками в строительстве – минимизация потенциальных убытков и проблем, которые могут возникнуть в процессе строительства и эксплуатации объекта недвижимости.

Существует несколько методов управления рисками в строительстве, включая:

1. Идентификация рисков: этот метод включает выявление потенциальных рисков на различных этапах

строительного процесса, начиная с проектирования и заканчивая эксплуатацией. Идентификация рисков может проводиться с помощью анализа статистических данных, экспертных оценок и других методов [3; 8; 11];

2. Анализ рисков: на этом этапе происходит оценка вероятности наступления риска и его возможного воздействия на проект. Анализ рисков может проводиться с помощью математических моделей, экспертных оценок и других методов [3; 8; 11];
3. Планирование управления рисками: на этом этапе разрабатывается план действий по управлению рисками, включающий в себя конкретные меры по предотвращению возникновения или нивелирования рисков и их влияния [3; 8; 11];
4. Реализация плана управления рисками: на этом этапе осуществляются меры, предусмотренные планом управления рисками. Это может включать в себя изменения проекта, заключение договоров на перенос рисков и т. д. [3; 8; 11];
5. Мониторинг и контроль: на этом этапе происходит постоянный мониторинг рисков и их воздействия на проект. При необходимости план управления рисками корректируется.

Применение этих методов позволяет своевременно выявлять и управлять рисками на всех этапах строительного процесса, что способствует уменьшению возможных негативных последствий и повышению эффективности проекта.

Взаимное влияние участников строительной отрасли друг на друга, а также на конечный результат было описано автором [3], а также Фредриком Олсоном [7].

Обсуждение

Проведенный анализ позволяет утверждать необходимость учета влияния внешних для жизненного цикла объекта аспектов в виде воздействия макроэкономических и геополитических факторов, учета в моделировании рисков на ранних этапах. Кроме того, необходимо учитывать взаимное влияние этапов жизненного цикла друг на друга и на конечный результат в виде объекта недвижимости.

Непосредственные участники строительной отрасли, такие как инвесторы, заказчики, проектировщики, строители, поставщики материалов и другие, оказывают влияние на различные этапы жизненного цикла объекта.

Опосредованные участники также влияют на все этапы жизненного цикла. Из этого следует, что управление рисками должно включать сотрудничество и координацию между всеми участниками строительной отрасли на всех этапах жизненного цикла объекта.

Заключение

В процессе строительства объекта недвижимости важно учитывать его жизненный цикл как неотъемлемую часть строительной системы. Необходимо применять методы управления рисками на всех этапах процесса, начиная с разработки технического задания, подготовки к строительству и заканчивая эксплуатацией и техниче-

ским обслуживанием объекта. Управление рисками в строительстве подразумевает своевременное выявление потенциальных рисков и принятие мер по их снижению. Корректное управление рисками на всех этапах жизненного цикла объекта позволяет повысить надежность его реализации, его эффективность и долговечность, обеспечить безопасность и устойчивость строительной системы в целом. Необходима разработка математической модели, учитывающей влияние всех участников строительной отрасли на различные этапы жизненного цикла объекта, включая внешних или опосредованных для жизненного цикла участников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусакова, Е. А. Системотехника организации жизненного цикла объекта строительства / Е. А. Гусакова. – Москва : Фонд «Новое тысячелетие». – 2004. – 256 с.
2. Сафарян, Г. Б. Критический анализ обобщенной модели строительной системы / Г. Б. Сафарян // Строительство: наука и образование. – 2021. – № 11. – С. 41–47.
3. Сафарян, Г. Б. Надежность производственно-логистических процессов при организации строительства жилых зданий : дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Сафарян Геворг Борисович; МГСУ. – Москва, 2019. – 162 с.
4. Воронков, А. Н. Транспортно-складская логистика строительства : монография / А. Н. Воронков, Т. Н. Лопаткина ; Нижегород. гос. архитектур-строит. ун-т. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2010. – 146 с.
5. Дубовкина, А. В. Информационное моделирование производственно-логистических процессов в строительстве с использованием инструментария управления рисками : автореф. дис. ...канд. тех. наук : 05.02.22 / Дубовкина Алла Викторовна; МГСУ. – Москва, 2015. – 23 с.
6. Langford, J. W. Logistics: principles and applications /

REFERENCES

1. Gusakova, E. A. Sistemotekhnika organizatsii zhiznennogo tsikla ob'ekta stroitel'stva [System engineering of the organization of the life cycle of a construction project] / E. A. Gusakova. – Moscow : Fond «Novoe ty'syacheletie», 2004. – 256 p.
2. Safaryan, G. B., Kriticheskij analiz obobshhennoj modeli stroitel'noj sistemy' [A generalized model of a building system: a critical analysis] // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2021. – № 11. – P. 41–47.
3. Safaryan, G. B. Nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov pri organizatsii stroitel'stva zhilykh zdaniy : diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [Reliability of production and logistics processes in the organization of construction of residential buildings : diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.02.22] / Safaryan Gevorg Borisovich; MGSU. – Moscow, 2019. – 162 p.
4. Voronkov, A. N. Transportno-skladskaya logistika stroitel'stva : monografiya [Transport and warehouse construction logistics : a monograph] / A. N. Voronkov, T. N. Lopatkina; Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction. – N. Novgorod : NNGASU, 2010. – 146 p.
5. Dubovkina, A. V. Informatsionnoe modelirovanie proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov v stroitel'stve s ispol'zovaniem instrumentariya upravleniya riskami : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [Information modeling of production and logistics processes in construction using risk management tools : abstract of the dissertation ...Candidate

W. J. Langford. – 2nd ed. – Harvard, 2006.

7. Olsson, F. Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or Utopia? / F. Olsson. – Sweden, Lund : Lund University, 2000. – 170 p.
8. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург и др. – Москва : SvR-Aргус, 1994. – 472 с.
9. Гусаков, А. А. Системотехника строительства / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1993. – 368 с.
10. Теличенко, В. И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве / В. И. Теличенко, А. А. Липидус, А. А. Морозенко. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
11. Михальченко, О. Ю. Организационная надежность планирования строительства объектов : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08 / Михальченко Олег Юрьевич; Новосиб. гос. архитектур-строит. ун-т. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 150 с.
12. Walker, A. Project management in construction / A. Walker. – Oxford : Blackwell Science, 2002. – 289 p.

of Technical Sciences : 05.02.22] / Dubovkina Alla Viktorovna; MGSU. – Moscow, 2015. – 23 p.

6. Langford, J. W. Logistics: principles and applications / W. J. Langford. – 2nd ed. – Harvard, 2006.
7. Olsson, F. Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or Utopia? / F. Olsson. – Sweden, Lund : Lund University, 2000. – 170 p.
8. Gusakov, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadyozhnost' stroitel'stva [Organizational and technological reliability of construction] / A. A. Gusakov, S. A. Veremeenko, A. V. Ginzburg etc. – Moscow : SvR-Aргус, 1994. – 472 p.
9. Gusakov, A. A. Sistemotekhnika stroitel'stva [Construction System Engineering] / A. A. Gusakov. – Moscow : Stroyizdat, 1993. – 368 p.
10. Telichenko, V. I. Informatsionnoe modelirovanie tekhnologii i biznes-protsessov v stroitel'stve [Information modeling of technologies and business processes in construction] / V. I. Telichenko, A. A. Lapidus, A. A. Morozenko. – Moscow : Publishing House of the Association of Construction Universities, 2008. – 144 p.
11. Mikhalkchenko, O. Yu. Organizatsionnaya nadezhnost' planirovaniya stroitel'stva ob'ektov : kand. tekhn. nauk [Organizational reliability of facility construction planning : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.08] / Oleg Yuryevich; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. – Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2012. – 150 p.
12. Walker, A. Project management in construction / A. Walker. – Oxford : Blackwell Science, 2002. – 289 p.

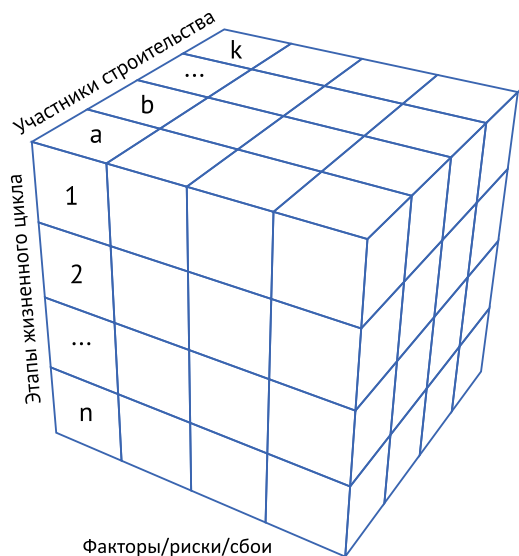


Рис. 2. Модель строительной системы
Fig. 2. Model of the construction system

Казаков Юрий Николаевич
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии строительного производства», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская улица, 4, kazakov@spbgasu.ru

Kazakov Yuri Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department «Construction Production Technology», St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya ulitsa, 4, kazakov@spbgasu.ru

Аннотация. Целью научного исследования, выполненного в СПбГАСУ и РААСН в 2022–2023 гг., является совершенствование технологии строительства актуальных в РФ и за рубежом большепролетных зданий, обеспечивающей снижение трудоемкости, продолжительности и стоимости строительства. Для достижения цели работы были решены следующие задачи: выполнен анализ современных покрытий; выполнен анализ основных методов их монтажа; обоснован выбор наиболее эффективной конструкции и технологии; разработана усовершенствованная технология строительства большепролетных зданий. Объектом исследования являются параметры технологических процессов возведения большепролетных зданий и сооружений. Методы исследования: системный анализ, патентный поиск, экономический анализ. Результаты исследования – разработана новая, усовершенствованная технология строительства большепро-

летных зданий, которая отличается от существующих методов следующей новизной: новой последовательностью и составом выполняемых монтажных работ, применением специальных временных опор для повышения скорости монтажа, монтажом арочных ферм тремя укрупненными узлами, расчаливанием двумя парами расчалок нижних узлов ферм, опиранием на каждую временную опору поочередно двух нижних узлов соседних арочных ферм. Разработанная технология и методические рекомендации могут быть использованы строительно-монтажными организациями при осуществлении строительного производства. Новая технология снижает трудоемкость, продолжительность и стоимость монтажа зданий на 7–12 % по сравнению с сопоставимыми аналогами.

Ключевые слова: совершенствование, технология, строительство, большепролетные здания, монтаж, трудоемкость.

construction of large-span buildings has been developed, which differs from existing methods in the following novelty: a new sequence and composition of the installation work performed, the use of special temporary supports to increase the speed of installation, the installation of arched trusses with three enlarged nodes, bracing with two pairs of braces of the lower nodes trusses, resting on each temporary support alternately two lower nodes of neighboring arched trusses. The developed technology and guidelines can be used by construction and installation organizations in the implementation of construction production. The new technology reduces the complexity, duration and cost of building installation by 7–12 % compared to comparable analogues.

Keywords: improvement, technology, construction, large-span buildings, installation, labor intensity.

должительности и стоимости строительства. Для достижения цели работы были решены следующие задачи: выполнен анализ современных большепролетных покрытий; выполнен анализ основных методов их монтажа; обоснован выбор наиболее эффективной большепролетной конструкции; разработана усовершенствованная технология строительства большепролетных зданий.

Материалы и методы

Материалы и методы исследования: системный анализ, метод «диаграмма Исикавы», патентный поиск, экономический анализ.

Результаты

В 2022–2023 гг. по планам НИР в СПбГАСУ и РААСН был выполнен системный анализ современных покрытий и основных применяемых в России и за рубежом методов их монтажа применительно к актуальным большепролетным зданиям; обоснован выбор наиболее эффективной конструкции и способа ее возведения, обеспечивающего

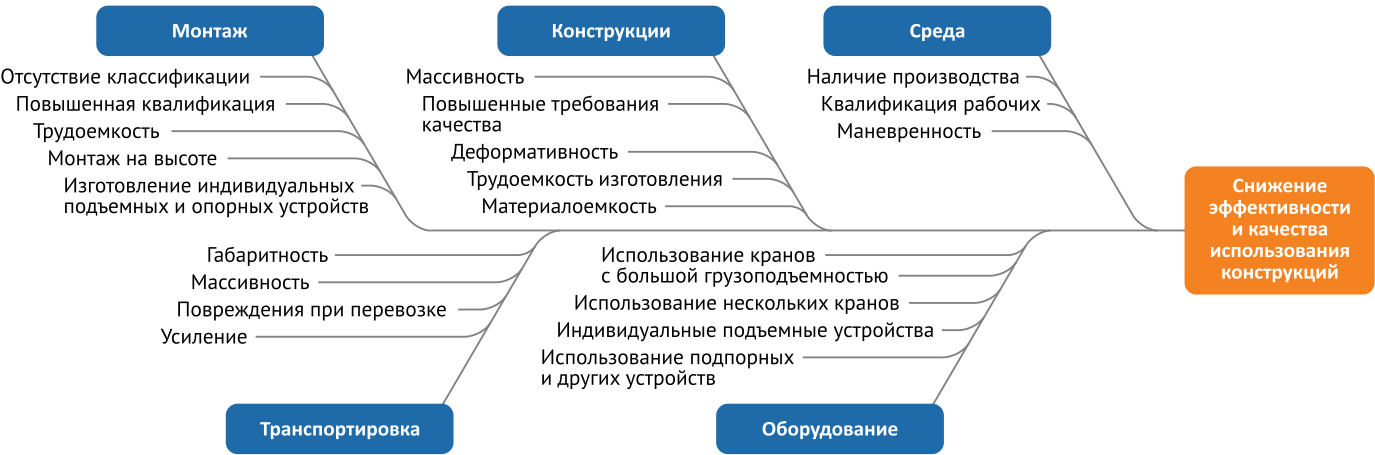


Рис. 1. Разработка новой технологии монтажа большепролетных зданий с помощью диаграммы Исикавы
Fig. 1. Development of a new technology for the installation of large-span buildings using the Ishikawa diagram

снижение трудоемкости, продолжительности и стоимости строительства большепролетных зданий и сооружений по источникам [1–11]. Методами проведенного системного анализа и синтеза на основании выявленных недостатков была разработана новая технология монтажа большепролетных зданий.

Для выявления основных факторов и закономерностей, вызывающих снижение эффективности технологии возведения большепролетных зданий и сооружений, автором исследования была использована и составлена специальная новая диаграмма Исикавы. Метод «диаграмма Исикавы» дает возможность именно комплексного, системного подхода к определению причин, послуживших возникновению проблем [12]. Схема разработанной диаграммы изображена на рисунке 1. Для построения диаграммы Исикавы были осуществлены следующие процессы: сбор и систематизация всех причин, прямо или косвенно влияющих на исследуемую проблему; группировка этих причин по смысловым и причинно-следственным блокам; ранжирование их внутри каждого блока; анализ получившейся картины.

В результате анализа полученной диаграммы Исикавы (рисунок 1) стало возможно выявить ключевые параметры процессов разработки новой технологии монтажа большепролетных зданий, влияющие на характеристики зданий, установить причины проблем процесса и факторы, влияющие на возникновение сложностей в новой технологии монтажа большепролетных зданий. Все главные факторы влияния, формирующие суть в разработке новой технологии, автором систематизированы и разделены на 5 видов:

1. Факторы, связанные со сложностью проводимых ведущих и вспомогательных процессов. Отсутствие подробной систематизации и исследования технологии монтажа большепролетных зданий требует индивидуальной разработки состава и последовательности операций;
2. Факторы, связанные с конкретным повышением величины пролетов конструкций, из-за которых возрастает нагрузка и размеры конструкций, материалоемкость, деформативность. К большепролетным сооружениям предъявляется повышенная ответственность. Конструкции трудоемкие не только

в монтаже, но и в изготовлении;

3. Факторы, связанные с наличием специального точного и надежного производства конструкций, который также может повлиять на выбор оптимальных технологических решений. Требование привлечения высококвалифицированных и уникальных специалистов – технологов, материаловедов, расчетчиков, конструкторов;
4. Факторы транспортировки, которые в некоторых случаях усложняются длинномерностью конструкций. В ходе доставки вероятны повреждения или даже разрушения ферм, рам, колонн. Это требует дополнительных специальных операций по временному усилению конструкции в процессе перевозки и монтажа;
5. Факторы, связанные с невозможностью использовать стандартные и типовые грузоподъемные машины. Требуются краны с большой грузоподъемностью или использование нескольких машин одновременно. Поэтому нужно проектировать и изготавливать специальные подъемные механизмы разового использования или же дополнительные подпорные устройства.

Все это ведет к удорожанию и увеличению сроков строительства. С учетом выявленных факторов влияния и диаграммы процессов монтажа, автором разработаны следующие основные принципы, в комплексе влияющие на оптимальные технологические решения строительства большепролетных зданий:

- максимизация упрощения монтажа ведущих процессов,
- максимизация использования стандартного и имеющегося типового оборудования и машин,
- максимизация укрупнения конструкций ферм, колонн, арок, рам,
- максимизация использования операций по временным усилениям конструкций больших размеров,
- максимизация снижения трудоемкости изготовления и монтажа.

В результате достигается заявленная цель по созданию более усовершенствованной технологии строительства большепролетных зданий, обеспечивающей снижение трудоемкости, продолжительности и стоимости строи-



Рис. 2. Апробация на практике предложенной технологии при монтаже склада усреднения ЖРС
Fig. 2. Approbation in practice of the new technology model during the installation of the iron ore blending warehouse

тельства. Таким образом, были выявлены факторы и методы их учета, способные повлиять на системную эффективность технологии строительства и позволяющие далее разработать уже новые, усовершенствованные технологические решения возведения большепролетных зданий и сооружений.

С учетом изложенного, данные принципы были применены при проектировании, изготовлении, транспортировании и монтаже механизированного склада усреднения железорудного сырья (ЖРС) [12–14] (рисунок 2).

Поясним суть процессов. Склад усреднения ЖРС – однопролетное здание. Ширина здания (пролет А–М) составляет 99 м, шаг цифровых осей – 12 м, длина здания – 540 м, высота в верхней точке арочных ферм +28,860 м. Несущими конструкциями каркаса являются двухшарнирные арки. Затяжки арочных ферм из круглой горячекатаной стали, воспринимающие распор, располагаются в ЖБ-каналах каждая. Опираемость ферм на ростверки – шарнирное по ряду А и через линейно-подвижные опоры по ряду М. Стойки фахверка опираются шарнирно на собственные фундаменты. Новая технология предусматривает использование при монтаже арочных ферм разработанных специальных временных опор ОП1 высотой 20 м (рисунок 3).

Для достижения поставленной цели – снижения трудоемкости и срока работ – были разработаны совместно с И. У. Манаповой следующие новые решения в технологии выполнения работ [13; 14].

1. Металлоконструкции предлагается складировать на площадках, организованных только в крайних осях здания. Проезд автотранспорта – выполнять по существующим автодорогам, имеющим щебеночное основание. Металлоконструкции предлагается подавать на монтаж комплектно: узлы арочных ферм для конкретных цифровых осей, связи по фермам и прогоны покрытия, фахверковые колонны для того шага цифровых осей, в котором намечен монтаж. Монтаж арочных ферм предлагается начинать с середины со связевого шага колонн для создания пространственно не изменяемой части. Далее каркас склада монтировать двумя потоками в направлении крайних осей (рисунок 4).

2. Затяжки арочных ферм из круглой горячекатаной стали Ø150 мм, воспринимающие распор, располагаются в ЖБ-каналах каждая. На стройплощадку поставляются

готовыми к монтажу марками нескольких типоразмеров 12 м, 9 м, 6 м. Масса узла затяжки максимальной длины 12 м составляет 1,8 т. Монтаж марок арочных затяжек предлагается производить после достижения бетоном ЖБ-каналов прочности не менее 70 %. К поэтапному монтажу марок арочных затяжек приступать после приемки ЖБ-каналов по акту, а также их обратной засыпки с оформлением актов на скрытые работы. Перемещение монтажных кранов по верху ЖБ-каналов, в которых уложены арочные затяжки, предлагается производить только после монтажа плит перекрытия каналов (отметка верха 0,000), а также выполнения их засыпки щебнем с последующей планировкой и уплотнением до отметки +0,250 м. При монтаже первых двух арочных ферм в осях 23–24 предлагается использовать специальные временные опоры ОП1 высотой 20 м (4 шт.), попарно связанные между собой связью, оснащенные ступенчатыми площадками под домкраты (их отметки: +21,150 м, 21,500 м, 21,700 м). На перечисленные отметки следует подни-



Рис. 3. Монтаж временных опор
Fig. 3. Installation of temporary supports

маться монтажникам по вертикальным лестницам с дуговым ограждением и площадками отдыха.

3. Временные опоры ОП1 предлагается устанавливать монтажными кранами на четыре ЖБ-плиты каждую. При монтаже использовать автогидроподъемник. Заранее на площадке временных опор ОП1 установить с помощью монтажных кранов гидродомкраты для выверки стыков арочных ферм с последующей установкой высокопрочных болтов. Арочные фермы предлагается монтировать тремя укрупненными узлами массой до 20 тонн каждый. Укрупнение производить на стендах, узлы при укрупнении раскладывать согласно разработанной специальной схеме. Верхние узлы арочных ферм предлагается раскладывать при сборке согласно разработанной специальной схеме, а монтировать – поочередно и кранами. Верхние узлы арочных ферм предлагается держать на крюках указанных кранов до окончания постановки высокопрочных болтов в обоих монтажных стыках соседних ферм. Монтаж связей, распорок, прогонов покрытия производить кранами с автогидроподъемников.

Статистическая обработка результатов хронометража при замерах трудоемкости работ и экономический анализ локальных и сводных смет и стоимости работ на других зданиях показала, что предложенная технология позволяет снизить трудоемкость, сроки и стоимость монтажа зданий на 7–12 % с достоверностью 95 % по сравнению с сопоставимыми аналогами при обеспечении требуемых показателей безопасности и качества работ.

Заключение

Методами системного анализа, диаграммы Исикавы и экономического анализа разработана новая, усовершенствованная технология строительства большепролетных зданий, которая отличается от существующих методов следующей новизной: новой последовательностью и составом монтажных работ, комплексным применением

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черденченко, Т. Ф. Некоторые аспекты модернизации строительства большепролетных сооружений / Т. Ф. Черденченко, В. Д. Тухарели, О. Г. Чеснокова // Материалы и методы инновационных исследований и разработок : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 3 декабря 2016 г. : в 3 ч. Ч. 3. – Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2016. – 221 с.
2. Исакова, Е. А. Новейшие технологии монтажа большепролетных металлических арок: технология «УВМ» / Е. А. Исакова // X Всероссийская молодежная конференция аспирантов, молодых ученых и студентов «Современные технологии в строительстве. Теория и практика». – Пермь, 2018. – С. 12–18.
3. Сысоева, Е. В. Научные подходы к расчету и проектированию большепролетных конструкций / Е. В. Сысоева // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, Вып. 2 (101). – С. 131–141.
4. Перцева, А. Е. Опыт применения большепролетных клееных деревянных конструкций / А. Е. Перцева, Н. С. Хижняк, Н. С. Астафьева // Транспортные сооружения. – 2018. – № 3. – 10 с.
5. Опыт и перспективы применения деревоклееных конструкций / В. Н. Моисеенко, А. Е. Баталов, О. Н. Попов, М. О. Моисеенко // Вестник научных конференций. – 2015. – С. 124–126.
6. Бахмисова, М. А. Архитектурно-конструктивные особенно-

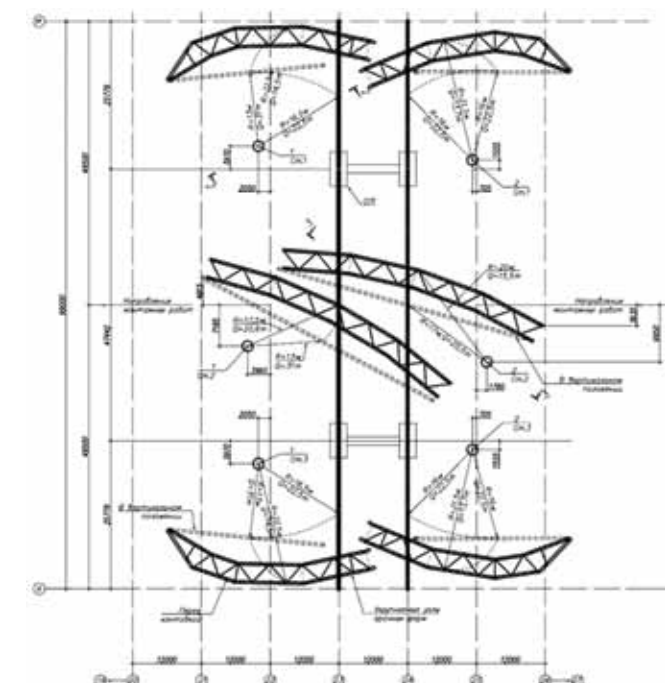


Рис. 4. Усовершенствованная технология монтажа узлов арочных ферм
Fig. 4. Improved technology for mounting arched truss units

разработанных специальных временных опор, ведущим процессом монтажа арочных ферм тремя укрупненными узлами, специальным расчаливанием двумя парами расчалок нижних узлов ферм, опиранием на каждую временную опору поочередно двух нижних узлов соседних арочных ферм. Технологические рекомендации могут быть использованы строительно-монтажными организациями при осуществлении строительного производства, а новая разработанная технология снижает трудоемкость, продолжительность и стоимость монтажа зданий.

- сти современных физкультурно-оздоровительных комплексов пролетом до 60 м / М. А. Бахмисова // Международная научно-практическая конференция «Научные исследования: векторы развития» / Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». – 2018. – 6 с. – URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/471312/discussion_platform.
7. Залатина, Т. В. Использование предварительного напряженного железобетона / Т. В. Залатина // IX Международная научно-практическая конференция «Научное и образовательное пространство: перспективы развития» / Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». – 2018. – 3 с. – URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/472889/discussion_platform.
 8. Khan Shatyr Entertainment Centre / Foster and Partners : [website]. – URL: <http://www.fosterandpartners.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/> (дата обращения: 16.01.2023).
 9. Jewel, N. China Flower Expo Pavilions Resemble Giant Floating Flower Petals / N. Jewel // Inhabitat : [website]. – URL: <http://inhabitat.com/2014-china-flower-expo-pavilions-resemble-giant-floating-flower-petals/> (дата обращения: 18.01.2023).
 10. Dale, N. Waterloo International Terminal / N. Dale // Engineering timelines : [website]. – URL: <http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=243> (дата обращения: 19.02.2023).

11. Управление качеством. Метод «Диаграмма Исикавы» // ForPM : [Электронный ресурс]. – URL: <http://forpm.ru/метод-диаграмма-исикавы/> (дата обращения: 23.01.2023).
12. Манапова, И. У. Совершенствование технологии строительства большепролетных зданий / И. У. Манапова, Ю. Н. Казаков. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – 66 с.
13. Казаков, Ю. Н. Технология реконструкции зданий : монография / Ю. Н. Казаков, Ф. М. Адам. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 120 с.

REFERENCES

1. Cherednichenko, T. F. Nekotorye aspekty modernizatsii stroitel'stva bol'sheproletnykh sooruzhenij [Some aspects of modernization of the construction of large-span structures] / T. F. Cherednichenko, V. D. Tukhareli, O. G. Chesnokova // Materialy i metody innovatsionnykh issledovaniy i razrabotok : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Chelyabinsk, 3 dekabrya 2016 g. : v 3 ch. Ch. 3 [Materials and methods of innovative research and development : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Chelyabinsk, December 3, 2016: in 3 parts. Part 3]. – Ufa : OMEGA SCIENCES, 2016. – 221 p.
2. Isakova, E. A. Novejshie tekhnologii montazha bol'sheproletnykh metallicheskih arok: tekhnologiya «UBM» [The latest technologies for mounting large-span metal arches: UBM technology] / E. A. Isakova // X Vserossiyskaya molodezhnaya konferentsiya aspirantov, molodykh uchenykh i studentov «Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika» [X All-Russian Youth Conference of graduate students, young scientists and students «Modern technologies in construction. Theory and practice»]. – Perm, 2018. – P. 12–18.
3. Syssoeva, E. V. Nauchnye podkhody k raschetu i proektirovaniyu bol'sheproletnykh konstruksij [Scientific approaches to the calculation and design of large-span structures] / E. V. Syssoeva // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2017. – Vol. 12, Iss. 2 (101). – P. 131–141.
4. Pertseva, A. E. Opyt primeneniya bol'sheproletnykh kleenyykh derevyannykh konstruksij [The experience of using large-span glued wooden structures] / A. E. Pertseva, N. S. Khizhnyak, N. S. Astafyeva // Transportnye sooruzheniya [Transport structures]. – 2018. – № 3. – 10 p.
5. Opyt i perspektivy primeneniya derevokleenyykh konstruksij [Experience and prospects of application of wood-glued structures] / V. N. Moiseenko, A. E. Batalov, O. N. Popov, M. O. Moiseenko // Vestnik nauchnykh konferentsij [Bulletin of scientific conferences]. – 2015. – P. 124–126.
6. Bakhmisova, M. A. Arkhitekturno-konstruktivnye osobennosti sovremennykh fizkul'turno-ozdorovitel'nykh kompleksov proleto do 60 m [Architectural and structural features of modern sports and recreation complexes with a span of up to 60 m] / M. A. Bakhmisova // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchnye rassledovaniya: vektory razvitiya» [International scientific and practical conference «Scientific investigations: vectors of development»] / Tsentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus» [Center for Scientific Cooperation «Interactive Plus»]. – 2018. – 6 p. – URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/471312/discussion_platform.
7. Zalatina, T. V. Ispol'zovanie predvaritel'nogo napryazhennogo

14. Казаков, Ю. Н. Многофункциональный анализ конструктивно-технологических систем возведения зданий / Ю. Н. Казаков, О. А. Тимошук, А. С. Антаносян // Технология и организация строительства : Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» / под общ. ред. А. Н. Гайдо ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 182–187.

- zhelezobetona [The use of prestressed reinforced concrete] / T. V. Zalatina // IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchnoe i obrazovatel'noe prostranstvo: perspektivy razvitiya» [IX International scientific and practical conference «Scientific and educational space: prospects of development»] / TSentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus» [Center for Scientific Cooperation «Interactive plus»]. – 2018. – 3 p. – URL: https://interactive-plus.ru/ru/article/472889/discussion_platform.
8. Khan Shatyr Entertainment Centre / Foster and Partners : [website]. – URL: <http://www.fosterandpartners.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/> (accessed: 01/16/2023).
9. Jewel, N. China Flower Expo Pavilions Resemble Giant Floating Flower Petals / N. Jewel // Inhabitat : [website]. – URL: <http://inhabitat.com/2014-china-flower-expo-pavilions-resemble-giant-floating-flower-petals/> (accessed: 01/18/2023).
10. Dale, N. Waterloo International Terminal / N. Dale // Engineering timelines : [website]. – URL: <http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=243> (accessed: 02/19/2023).
11. Upravlenie kachestvom. Metod «Diagramma Isikavy» [Quality management. Method «Ishikawa Diagram»] // ForPM : [Electronic resource]. – URL: <http://forpm.ru/метод-диаграмма-исикавы/> (date of reference: 23.01.2023).
12. Manapova, I. U. Sovershenstvovanie tekhnologii stroitel'stva bol'sheproletnykh zdaniy [Improvement of the technology of construction of large-span buildings] / I. U. Manapova, Yu. N. Kazakov. – St. Petersburg : SPbGASU, 2020. – 66 p.
13. Kazakov, Yu. N. Tekhnologiya rekonstruksii zdaniy : monografiya [Technology of reconstruction of buildings : monograph] / Yu. N. Kazakov, F. M. Adam. – St. Petersburg : Lan, 2022. – 120 p.
14. Kazakov, Yu. N. Mnogofunktsional'nyy analiz konstruktivno-tekhnologicheskikh sistem vozvedeniya zdaniy [Multifunctional analysis of structural and technological systems for the construction of buildings] / Yu. N. Kazakov, O. A. Tymoshchuk, A. S. Antanosyan // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva : Materialy I Vserossiyskoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashhennoj 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» [Technology and organization of construction : Materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department «Construction Production»] / pod obshh. red. A. N. Gajdo ; Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet [under the general editorship of A. N. Gaido ; St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering]. – St. Petersburg, 2020. – P. 182–187.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_71

Риск-ориентированный подход при осуществлении строительного контроля на стадии строительства многоквартирных жилых зданий

Risk-Oriented Approach in the Implementation of Construction Control at the Stage of Construction of Multi-Apartment Residential Buildings

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, lapidus58@mail.ru

Lapidus Azariy Abramovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «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

Ермаков Иван Вячеславович

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

Ermakov Ivan Vyacheslavovich

Postgraduate student of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, ermakovXB@gmail.com

Боровкова Анастасия Евгеньевна

Студент магистратуры, кафедра «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, anastasik24@mail.ru

Borovkova Anastasia Evgenievna

Master student of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, anastasik24@mail.ru

Семенов Денис Владимирович

Студент магистратуры, кафедра «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, SemenovD.00@yandex.ru

Semenov Denis Vladimirovich

Master student of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, SemenovD.00@yandex.ru

Аннотация. На постоянной основе ведется изучение и анализ факторов, способных оказать влияние на конечный результат, что и называется риск-ориентированным менеджментом, основанным на риск-ориентированном подходе (РОП). Целью работы являлась минимизация рисков при проведении строительного контроля на стадии строительства посредством применения РОП. Главными задачами оптимального развития применения РОП при осуществлении строительного контроля жилых зданий явились такие факторы, как:

- анализ факторов, влияющих на РОП при осуществлении строительного контроля;
- анализ применения риск-ориентированного подхода при осуществлении строительного контроля;
- внедрение и применение РОП при строительном контроле жилых зданий.

Abstract. On an ongoing basis, the study and analysis of factors that can influence the final result is carried out, which is called risk-based management based on a risk-based approach (ROP). The aim of the work was to minimize risks during construc-

tion control at the construction stage through the use of ROP. The main objectives for the optimal development of the use of ROP in the implementation of construction control of residential buildings are such factors as:

Ключевые слова: риски в строительстве, риск-ориентированный подход, превентивные меры, строительный контроль, безопасность, эффективность, качество, дефекты.

tion control at the construction stage through the use of ROP. The main objectives for the optimal development of the use of ROP in the implementation of construction control of residential buildings are such factors as:

- analysis of factors influencing ROP during construction control;
- analysis of the application of the risk-based approach of the RPR in the implementation of construction control;
- introduction and application of the ROP in the construction control of residential buildings.

The article presents a study of the main factors that can have one or another influence at each stage of the life cycle of projects for the construction of residential buildings on the final result. All data obtained are systematized and summarized in risk groups.

Введение

Одной из основных потребностей человека всегда была, есть и будет потребность где-то жить. С учетом формирования стоимости квадратного метра и приведенных на него финансовых нагрузок наиболее дешевым является жилье в многоквартирных домах. В связи с этим спрос на подобное жилье всегда стабильно высок во всех странах мира, и Россия в этом не исключение. Строительство многоквартирных жилых зданий является важной сферой строительной деятельности, поэтому необходимость контроля данного вида строительства очень высока. Актуальной проблемой является проблематика строительства многоэтажных жилых домов и необходимости введения РОП в рамках осуществления строительного контроля на объекте. Было выведено единое объективное мнение об эффективности применения РОП как с точки зрения механической безопасности возводимого здания, так и финансовой безопасности застройщика, и, как результат, обеспечение безопасности жизнедеятельности человека как конечного потребителя возводимого объекта [1–3].

Применение РОП позволяет обеспечить ориентированность на элементы, подверженные высокому риску, и тем самым снижать их, уменьшать уровень угроз и финансового ущерба, обеспечивать безопасность жизнедеятельности человека, улучшать качественные показатели [4].

С целью минимизации основных видов риска, связанных с механической, а также экономической безопасностью, согласно ст. 53 Градостроительного кодекса РФ, при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства необходимо осуществление строительного контроля.

Необходимость строительного контроля возникает при возведении объектов любого типа, благодаря чему заказчик может быть уверен, что все работы выполнены надлежащим образом, с соблюдением заявленных сроков, с применением качественных стройматериалов, отвечающим всем стандартам, а расходы соответствуют реальной смете. С учетом массовости жилищной застройки, в частности многоквартирных жилых зданий, в настоящей статье рассмотрены ключевые аспекты применения РОП именно на стадии строительства многоквартирных жилых зданий и отражены основные получаемые эффекты и методы их достижения силами строительного контроля на объектах [5–6].

Материалы и методы

Авторами проведен анализ возможных результатов и эффектов при осуществлении РОП, а также проецирование подобной методологии на жилищное строительство на этапе осуществления строительного контроля возводимого здания. Основным видом риска, возможным в ходе проведения строительно-монтажных работ, является потеря качества и, как следствие, снижение механической и эксплуатационной безопасности конечного объекта, либо

As part of the subsequent consideration of each risk group separately and their detailed analysis, the structure of risk formation and methods for their reduction were identified and studied. The authors of the article developed and formulated a list of preventive measures required in the framework of the introduction of the ROP and a list of expected results from this.

Keywords: risks in construction, risk-based approach, preventive measures, construction control, safety, efficiency, quality, defects.

наступление аварийных ситуаций [7]. В целях управления рисками при осуществлении строительного надзора, государственного надзора надзорный орган относит объекты надзора к одной из следующих категорий риска причинения вреда (ущерба) (рисунок 1).

При строительстве многоквартирных жилых зданий главные вопросы РОП, которые может снимать строительный контроль на объекте, связаны с качеством производства работ, оптимизации технологий и минимизации количества дефектов, допускаемых при строительстве. При строительстве жилых зданий и сооружений допустимо сформировать более точные группы рисков (таблица 1).

Введение РОП является одним из главных пластов в строительной отрасли, содержащей избыточное количество возможных рисков, является актуальным непосредственно в производстве строительно-монтажных работ на любых объектах строительства, в том числе и при строительстве многоквартирных жилых домов. РОП в строительной отрасли начал формироваться уже давно и изначально основывался на проведении на постоянной основе достаточного количества проверок. Их виды приведены в Перечне, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 17.08.2016 № 806, к которым в том числе относится государственный жилищный надзор [8].

С 1 января 2018 года в Положение об осуществлении государственного строительного надзора в РФ внесены изменения, касающиеся внедрения РОП. РОП в устройстве государственного строительного надзора (ГСН) заключается в разделении строительных объектов на категории риска в зависимости от потенциальной опасности

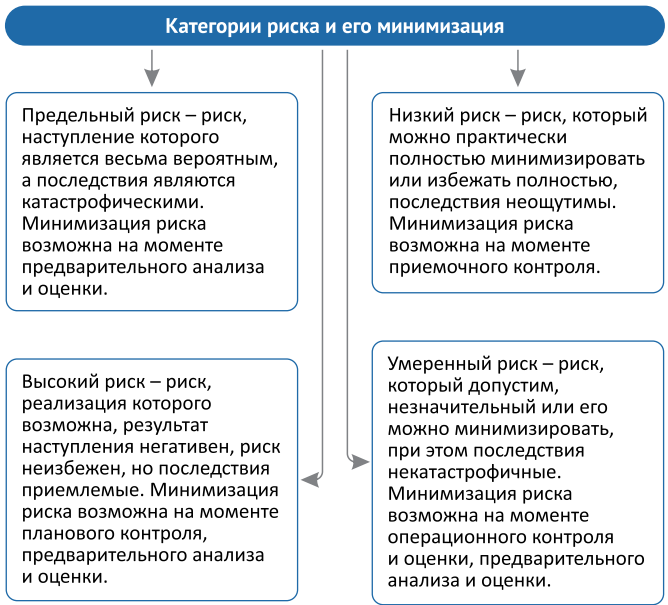


Рис. 1. Категории риска
Fig. 1. Categories of risk

№	Риск дефектов при производстве работ	Риск ошибок в исполнительной документации	Риск ошибок в организационно-технологической документации	Риск травматизма при выполнении СМР
1	Нарушение надежности и долговечности	Ошибки в актах освидетельствования работ (искажение информации, неверная последовательность и т. д.)	Ошибки в проекте организации строительства	Транспортные происшествия
2	Нарушение показателей конструктивности	Расхождение в информации в различных документах исполнительной документации	Ошибки в проекте производства работ	Падение с высоты
3	Нарушение эргономических показателей	Нехватка и отсутствие документов на материалы		Обрушение, обвалы предметов, материалов
4	Нарушение эстетических показателей			Воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей, машин

Табл. 1. Группы рисков
Tab. 1. Risk groups

(вред здоровью и жизни, финансовые затраты в результате потенциальных негативных последствий) и разработке программы проверок каждого объекта в соответствии с установленным для него критерием риска (для каждой категории риска определено максимальное число проверок), когда объекту присваивают соответствующую категорию риска, в зависимости от которой определяется количество проверок [9]. При этом результат проверок носит некий «карательный характер», т. е. за выявленные нарушения и отступления от требований действующей нормативно-технической документации выносятся предписание с требованиями об их устранении и, зачастую, штрафами. Подобные РОП в своей деятельности, вво-

димые застройщиками и подрядными организациями, должны преследовать несколько иные цели – уменьшение любых производственных рисков, и, как следствие, первоочередной целью, преследуемой в данном подходе, является предупреждение и предостережение возникновения рисков при строительстве. Для этого на объектах строительства должен быть максимально усилен строительный контроль, функции которого включают в себя не только приемочный контроль, но и ряд профилактических мероприятий, направленных на недопущение дефектов при возведении объектов.

В связи с этим наиболее правильным подходом к решению данных задач является разработка программ

№	Группа факторов риска	Фактор риска при строительном контроле	Меры, необходимые для минимизации риска	Ожидаемые результаты
1	Риск дефектов при производстве работ	Нарушение надежности и долговечности	Использование качественных материалов, заложенных в утвержденной в установленном порядке проектной документации; соблюдение технологии проведения строительно-монтажных работ; привлечение подготовленных профессиональных кадров; осуществление мониторинга за возведением и работой основных несущих конструкций здания; разработка и реализация проекта комплексной безопасности объекта	Повышение качества конструкций и изделий, соответствие требуемым стандартам и нормам, исключение риска возникновения дефектов, приводящих к аварийным ситуациям и подвергающих опасности жизни людей, исключение риска передельвания работ, остановки строительства или эксплуатации, соблюдение сроков работ в силу тщательного контроля за проведением СМР, повышение производительности проведения СМР, что означает сокращение сроков, положительный экономический эффект за счет исключения затрат на усиление или ремонт конструкций
2		Нарушение показателей конструктивности		
3		Нарушение эргономических показателей		
4	Риск ошибок в исполнительной документации	Нехватка и отсутствие документов на материалы	Внедрение цифровой платформы для упрощения документооборота и слежения за процессом строительства	Объединение участников строительства, повышение согласованности; структурированное хранение документации; простая проверка и согласование; сокращение вероятности потери документов на материалы и дальнейшей их подделки; контроль в реальном времени
5		Ошибки в актах освидетельствования работ (искажение информации, неверная последовательность и т. д.)		
6		Расхождение в информации в различных документах исполнительной документации		
7	Риск ошибок в организационно-технологической документации	Ошибки в проекте организации строительства	Детальная проработка проекта организации строительства, дополнительные проверки соблюдения требований и норм в разрабатываемых документах, точная согласованность продолжительности строительства с заказчиком, составление ППР на основе отчета об оценке профессиональных рисков, корректный выбор метода строительства	Сокращение вероятности простоя производства СМР, повышение производительности, экономический эффект за счет производства СМР в прописанные календарные сроки
8		Ошибки в проекте производства работ		

Табл. 2. Превентивные меры и ожидаемые результаты от внедрения РОП
Tab. 2. Preventive measures and expected results from the implementation of the RPR

и планов профилактических мероприятий, обязательных к внедрению и применению на объектах строительства [10–11].

В случае выявления в ходе профилактических мероприятий признаков совершаемых или готовящихся нарушений обязательных требований, с соответствующих лиц должны браться объяснения, и выдаваться рекомендации о способах осуществления конкретных работ без нарушений, и выдаваться предостережения. Основными профилактическими методами строительного контроля на объекте являются:

- постоянный 100-процентный визуально-инструментальный контроль выполняемых работ;
- систематические профилактические беседы с руководителями работ на объекте.

В ходе профилактической работы по предостережению исполнителей от возникновения возможных рисков, представители строительного контроля должны делать основной акцент на необходимости четкого и неукоснительного соблюдения требований действующих на территории РФ нормативно-технических документов и точного соблюдения требований проектного решения, утвержденного «в производство работ».

В настоящее время в области контроля качества строительных процессов на нормативном уровне не разработано методик или рекомендаций, которые устанавливают подходы к расчету рисков при выявлении дефектов строительных конструкций. Однако наибольшее влияние имеет фактор риска – нарушение надежности и долговечности, а также нарушение показателей конструктивности [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топчий, Д. В. Разработка организационно-технологической модели осуществления строительного контроля при возведении многоэтажных жилых зданий / Д. В. Топчий, В. А. Скакалов // Научное обозрение. – 2017. – № 11. – С. 97–100.

2. Урявина, Л. В. Анализ правовых нормативных актов по контролю и надзору в строительстве / Л. В. Урявина, Т. Н. Прахова // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 1 (45). – С. 43–47.

3. Луныаков, М. А. Риск-ориентированный подход при осуществлении регионального государственного строительного надзора / М. А. Луныаков, А. С. Старовойтов // Недвизимость: экономика, управление. – 2018. – № 1. – С. 15–20.

4. Луныаков, М. А. Применение риск-ориентированного подхода при организации регионального государственного строительного надзора применительно к объектам спортивного назначения, реализуемым по государственной программе города Москвы «Спорт Москвы» / М. А. Луныаков, М. В. Минаева // Вестник науки и образования. – 2019. – № 10-2 (64). – С. 57–60.

5. Алексеев, А. О. Пример применения риск-ориентированного подхода в строительстве / А. О. Алексеев, В. С. Пашковец, В. А. Житлова // Master’s Journal. – 2018. – № 1. – С. 87–95.

6. Лапидус, А. А. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика / А. А. Лапидус, А. Н. Макаров // Вестник МГСУ. – 2022. – № 2. – С. 232–241.

7. Лапидус, А. А. Риск-ориентированный строительный кон-

Результаты

Введение РОП позволяет повысить эффективность работы строительного контроля и надзорных органов за счет рационального распределения внутренних ресурсов и выставления приоритетности контроля в зависимости от сложности и ответственности конструкций и участков, что, в свою очередь, способствует снижению рисков аварий, чрезвычайных происшествий, получения некачественной строительной продукции. Этот подход повышает эффективность контрольно-надзорной деятельности в жилищном строительстве при оптимальном использовании материальных, финансовых и кадровых ресурсов, повышает качество работ по строительству. РОП предполагает концентрацию ограниченных ресурсов в зонах максимального риска. Авторами разработан и структурирован перечень превентивных мер и ожидаемых результатов от внедрения РОП (таблица 2).

Заключение

Актуальность применения риск-ориентированного подхода по сравнению с классическим контролем состоит в том, что РОП ориентирован на элементы, подверженные высокому и наибольшему риску. Авторами был разработан и сформулирован перечень превентивных мер, необходимых в рамках введения РОП при осуществлении строительного контроля на стадии строительства многоквартирных жилых зданий, и выведен перечень ожидаемых от этого результатов. Самый важный фактор применения РОП – это снижение рисков, уровня угроз и финансового ущерба, обеспечение безопасности жизнедеятельности человека и улучшение качественных показателей контрольно-надзорной деятельности в целом.

троль технического заказчика / А. А. Лапидус, А. Н. Макаров, Р. В. Волков // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 2–5.

8. Вильданов, Р. А. Актуальность разработки методов осуществления функций государственного строительного надзора в жилищном строительстве при риск-ориентированном подходе / Р. А. Вильданов, Т. К. Кузьмина // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 144–149.

9. Воробинская, Л. И. Специальная оценка условий охраны труда как информационная база для внедрения риск-ориентированного подхода в сфере охраны труда / Л. И. Воробинская, В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2. – С. 18–21.

10. Калинина, А. А. Актуальность риск-ориентированного подхода в инвестиционно-строительной сфере / А. А. Калинина // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 1 (126). – С. 687–690.

11. Определение квалиметрических параметров строительных объектов в ходе осуществления государственного строительного надзора при риск-ориентированном подходе / А. Я. Токарский, А. С. Воробьев, М. Н. Данилошкин, Д. В. Топчий // Строительное производство. – 2019. – № 1. – С. 70–74.

12. Лапидус, А. А. Идентификация и анализ технических рисков при строительстве малоэтажных жилых зданий / А. А. Лапидус, А. С. Воробьев // Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 2–7.

tion of construction control in the construction of multi-storey residential buildings] / D. V. Topchy, V. A. Skakalov // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. – 2017. – № 11. – P. 97–100.

2. Uryavina, L. V. Analiz pravovykh normativnykh aktov po kontrolyu i nadzoru v stroitel'stve [Analysis of legal regulations

for control and supervision in construction] / L. V. Uryavina, T. N. Prakhova // Privolzhskij nauchnyj zhurnal [Privolzhsky scientific journal]. – 2018. – № 1 (45). – P. 43–47.

3. Lunyakov, M. A. Risk-orientirovannyj podkhod pri osushhestvlenii regional'nogo gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora [Risk-based approach in the implementation of regional state construction supervision] / M. A. Lunyakov, A. S. Starovoitov // Nedvizhimost': ehkonomika, upravlenie [Real estate: economics, management]. – 2018. – № 1. – P. 15–20.

4. Lunyakov, M. A. Primenenie risk-orientirovannogo podkhoda pri organizatsii regional'nogo gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora primenitel'no k ob'ektam sportivnogo naznacheniya, realizuemym po gosudarstvennoj programme goroda Moskvy «Sport Moskvy» [Application of a risk-based approach in the organization of regional state construction supervision in relation to sports facilities implemented under the state program of the city of Moscow «Sport of Moscow»] / M. A. Lunyakov, M. V. Minaeva // Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of Science and Education]. – 2019. – № 10-2 (64). – P. 57–60.

5. Alekseev, A. O. Primer primeneniya risk-orientirovannogo podkhoda v stroitel'stve [An example of the application of a risk-based approach in construction] / A. O. Alekseev, V. S. Pashkovets, V. A. Zhitlova // Master's Journal [Master's Journal]. – 2018. – № 1. – P. 87–95.

6. Lapidus, A. A. Primenenie risk-orientirovannogo podkhoda pri vypolnenii funktsij stroitel'nogo kontrolya tekhnicheskogo zakazchika [Application of a risk-based approach in the performance of construction control functions of a technical customer] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – № 2. – P. 232–241.

7. Lapidus, A. A. Risk-orientirovannyj stroitel'nyj kontrol' tekhnicheskogo zakazchik[Risk-based construction control of a technical customer] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov, R. V. Volkov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 2. – P. 2–5.

8. Vildanov, R. A. Aktual'nost' razrabotki metodov osushhestv-

УДК 165:316.77: 643.01

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_75

Использование наилучших доступных технологий при формировании функционального наполнения здания на этапах его жизненного цикла

The Use of the Best Available Technologies in the Formation of the Functional Content of the Building at the Stages of Its Life Cycle

Мохов Андрей Игоревич

Доктор технических наук, профессор, председатель правления Совета по экологическому строительству, Россия, 105066, Москва, переулок Токмаков, 16, anmokhov@mail.ru

Mokhov Andrey Igorevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chairman of the Board of the Green Building Council, Russia, 105066, Moscow, pereulok Tokmakov, 16, anmokhov@mail.ru

Абросимова Иванна Александровна

Старший преподаватель кафедры «Общая и прикладная физика», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, AbrosimovaIA@mgsu.ru

Abrosimova Ivanna Aleksandrovna

Senior Lecturer of the Department «General and Applied Physics», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, AbrosimovaIA@mgsu.ru

Аннотация. Жизненный цикл здания определяется этапами строительного и эксплуатационного процессов, а также последовательностью включения специалистов, технологий и материалов на каждом из этапов. Данное соотношение технологий с этапами жизненного цикла показывает свою эффективность, но

leniya funktsij gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora v zhilishhnom stroitel'stve pri risk-orientirovannom podkhode [The relevance of developing methods for implementing the functions of state construction supervision in housing construction with a risk-based approach] / R. A. Vildanov, T. K. Kuzmina // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 2. – P. 144–149.

9. Vorobinskaya, L. I. Spetsial'naya otsenka uslovij okhrany truda kak informatsionnaya baza dlya vnedreniya riskorientirovannogo podkhoda v sfere okhrany truda [Special assessment of labor protection conditions as an information base for the introduction of a risk-oriented approach in the field of labor protection] / L. I. Vorobinskaya, V. A. Ftnochenko, T. A. Finochenko // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya [Proceedings of the Rostov State University of Communications]. – 2020. – № 2. – P. 18–21.

10. Kalinina, A. A. Aktual'nost' risk-orientirovannogo podkhoda v investitsionno-stroitel'noj sfere [The relevance of the risk-based approach in the investment and construction sector] / A. A. Kalinina // Ehkonomika i predprinimatel'stvo [Economics and entrepreneurship]. – 2021. – № 1 (126). – P. 687–690.

11. Opredelenie kvalimetricheskikh parametrov stroitel'nykh ob'ektov v khode osushhestvleniya gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora pri risk-orientirovannom podkhode [Determination of qualimetric parameters of construction objects in the course of state construction supervision with a risk-based approach] / A. Ya. Tokarsky, A. S. Vorobyev, M. N. Danilochkin, D. V. Topchy // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2019. – № 1. – P. 70–74.

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

существующая тенденция на повышение качества строительства, а также его экологичность, требует внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) как в процессы строительства, так и эксплуатации зданий. Причем последовательность применения НДТ при реализации этапов жизненного цикла требует ис-

пользования интегральных критериев в процессе отбора этих технологий. Внедрение технологий, в свою очередь, приводит к корректировке подходов к определению критериев отнесения технологий к «наилучшим» и «доступным» для всех этапов жизненного цикла. Авторы предлагают применять для наглядного сравнения технологий в их «доступности» двухуровневую систему наложения эталонной композиционной модели и практически достигаемой композиционной модели используемых технологий.

Построение модели осуществлено с применением одиннадцати критериев, которыми руководствуются предприятия после принятия решения о внедрении новой технологии на этапах жизненного цикла. В рамках интеллектуального анализа разработанный аппарат оценки позволяет одновременное многоуровневое сравнение композиционных моделей с «эталоном»,

Abstract. The life cycle of a building is determined by the stages of the construction and operational processes, as well as the sequence of inclusion of specialists, technologies and materials at each stage. This correlation of technologies with life cycle stages shows its effectiveness, but the current trend towards improving the quality of construction, as well as its environmental friendliness, requires the introduction of Best Available Technologies (BAT) in both construction and building operation processes. Moreover, the sequence of application of BAT in the implementation of life cycle stages requires the use of integral criteria in the process of selecting these technologies. The introduction of technologies, in turn, leads to an adjustment in approaches to determining the criteria for classifying technologies as «best» and «affordable» for all stages of the life cycle. The authors propose to apply for a visual comparison of technologies in their «accessibility» a two-level system of superposition of a reference compositional model and a practically achievable compositional model of the technologies used. The model was built using eleven criteria

что позволяет уменьшить время на принятие решения, а значит, увеличить эффективность строительного и эксплуатационного процессов и повысить качество функционирования здания. Для реализации данных возможностей предложено применить полученные закономерности интеграции НДТ в процессе формирования жизненного цикла зданий, что приводит к необходимости составления модели жизненного цикла объекта строительства на основе комплексного подхода, а также внедрения организационно-технологических циклов производственного и эксплуатационного процессов.

Ключевые слова: жизненный цикл, наилучшие доступные технологии, организационно-технологический цикл, композиционная модель, интеллектуальный анализ, зеленое строительство, автоматизированный анализ, индустрия 4.0, интеллектуальный мониторинг.

that guide enterprises after making a decision to introduce a new technology at the stages of the life cycle. Within the framework of intellectual analysis, the developed evaluation apparatus allows simultaneous multi-level comparison of composite models with the «standard», which allows reducing the time for decision-making, which means increasing the efficiency of construction and operational processes and improving the quality of the building's functioning. To implement these opportunities, it is proposed to apply the obtained regularities of BAT integration in the process of forming the life cycle of buildings, which leads to the need to draw up a model of the life cycle of a construction object based on an integrated approach, as well as to introduce organizational and technological cycles of production and operational processes.

Keywords: life cycle, best available technologies, organizational and technological cycle, compositional model, intellectual analysis, green building, automated analysis, industry 4.0, intelligent monitoring.

НДТ, которая на каждом из этапов будет предлагать наиболее эффективное и оптимальное решение поставленной задачи.

Несмотря на широкую разработанность проблемы и внедрение большого количества регламентирующих документов, все еще остается открытым вопрос об определении критериев, согласно которым технология становится НДТ, в особенности критериев «доступности» и «наилучшей технологии». Именно эти важные аспекты лежат в основе необходимости интеграции и подтверждения необходимости внедрения НДТ в жизненный цикл объекта строительства. В ГОСТ Р 56828.32-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Методологии идентификации» вопрос определения НДТ рассмотрен только лишь со стороны обеспечения экологичности процесса, вопрос технологичности рассматривается достаточно косвенно [6].

Для определения критерия «доступности» была произведена выборка среди параметров, которыми руководствуются предприятия после принятия решения о внедрении новой технологии. Согласно данной выборке, удалось получить математическое выражение критерия «доступности» (Д), по которому происходит отбор наилучшей доступной технологии (НДТ) с применением интеллектуального анализа, формируется следующими показателями:

$$\int f(a...n)ds \rightarrow \max,$$

где а – среднее время безотказной работы орудий труда, применяемых в технологии;

б – наличие сервиса поддержки работоспособности орудий труда, применяемых в технологии;



Рис. 1. Типовая модель жизненного цикла объекта строительства
Fig. 1. Typical model of the life cycle of a construction object

в – стоимость применения технологии;
г – наличие информационного обеспечения использования технологии;
д – возможность подстройки технологии к условиям ее применения;
е – легкость интеграции с другими технологиями предприятия, использующего НДТ;
ж – наличие сервиса безопасности применения технологии;
з – наличие регламентной документации внедряемой технологии;
и – потенциал развития технологии;
к – возможность автоматизации технологии;
л – наглядность технологии.

Совокупность критериев доступности удобнее представлять на композиционной модели описания НДТ набором показателей доступности (рисунок 2). Описывая данную модель, мы видим, что внешняя сторона модели описывает «идеальную комбинацию параметров» – эталонная модель, внутренняя фигура (отмеченная штри-

ховкой) отражает нормативные параметры по каждой конкретной технологии. Ввод данного аппарата позволяет произвести ранжирование задач, связанных с определением «наилучшей» технологии. Новизной данного предложения является переход на трехуровневую градацию, позволяющую в рамках интеллектуального анализа выбрать наилучшую для проекта технологию.

Критерий «доступность» НДТ характеризуется тремя состояниями показателей:

- показатели стремятся к нулю;
- показатели стремятся к максимуму;
- показатели стремятся к какому-либо промежуточному состоянию.

Действующая модель строительства в описании НДТ имеет различное качество доступности конкретных показателей, причем количественная оценка качества каждого из показателей может быть представлена длиной отрезка на соответствующих векторах внутри окружности, представляющей собой приведенные к единице нормы эталонной модели строительства для каждого показателя.

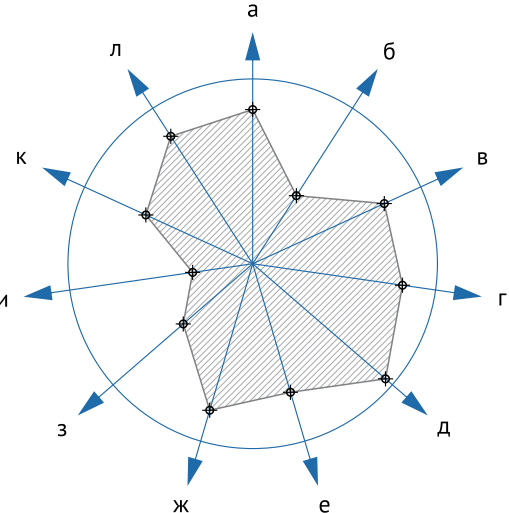


Рис. 2. Композиционная модель для оценки показателей доступности НДТ при действующей модели строительства
Fig. 2. Compositional model for assessing BAT availability indicators under the current construction model

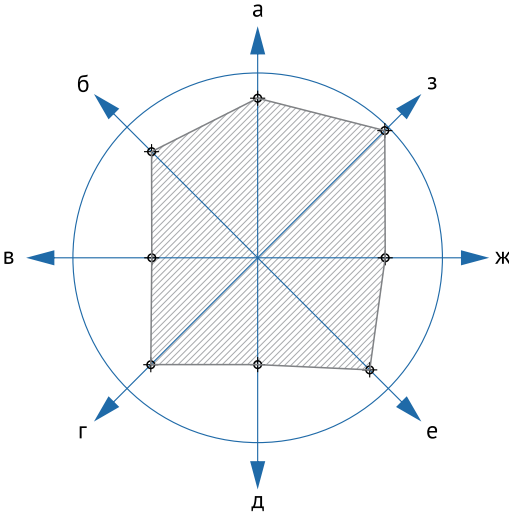


Рис. 3. Композиционная модель для оценки показателей доступности НДТ при нормативной модели
Fig. 3. Compositional model for assessing BAT accessibility indicators under the normative model

Критерий			Project Point	Платформа nanoCAD	Renga Structure
А	Среднее время безотказной работы орудий труда, применяемых в технологии	Наличие постоянной сетевой лицензии	1	1	0,75 (ограничено число пользователей)
Б	Наличие сервиса поддержки работоспособности орудий труда, применяемых в технологии		1	1	1
В	Стоимость применения технологии	Эталонная стоимость ПО 500 000 руб.	400 000 руб./0,8	460 000 руб./0,92	270 000 руб./0,54
Г	Наличие информационного обеспечения использования технологии	Наличие обучающих демо-версий	0,75	1	1
Д	Возможность подстройки технологии к условиям ее применения	Наличие специальных условий пользования	0,25	0	0
Е	Легкость интеграции с другими технологиями предприятия, использующего НДТ		0,75	1	0,75
Ж	Наличие сервиса безопасности применения технологии	Безопасность данных	1	1	1
З	Наличие регламентной документации внедряемой технологии		1	1	1
И	Потенциал развития технологии	Выход обновлений	1	1	1
К	Возможность автоматизации технологии	Наличие библиотеки готовых решений	0,5	1	1
Л	Наглядность технологии		1	1	1

Табл. 1. Сравнение наиболее часто используемых программных комплексов по 11 критериям
Tab. 1. Comparison of the most commonly used software by 11 criteria

Заметим, что только при достижении указанного норматива качества можно судить об эффективности различных НДТ по критерию их доступности. Если же НДТ № 1 не достигла заданного норматива качества или ее показатели хуже, чем у НДТ № 2, но при этом НДТ № 1 имеет лучший показатель степени использования резервов доступности по сравнению с показателем НДТ № 2, то эффективность НДТ № 1 следует считать ниже эффективности НДТ № 2.

Результаты

Наглядно рассмотреть эффективность данной модели можно на примере подбора программного обеспечения для работы в организации с целью разработки BIM-проекта для создания цифровой информационной модели здания. В связи с уходом с российского рынка большого количества зарубежных аналогов компании вынуждены переходить на российское программное обеспечение, которое сможет взаимодействовать с уже существующими программными комплексами, в которые

смогут интегрировать готовые проекты, а также проекты, находящиеся на стадии выполнения строительства. Выборка производилась на основании данных «Реестра программного обеспечения». Далее из всех рекомендуемых вариантов были выбраны наиболее востребованные среди инженеров-конструкторов программные продукты, далее данные подбирались, опираясь на данные с официального интернет-сайта каждого из производителей программного обеспечения.

В таблице 1 приведено сравнение трех наиболее используемых среди инженеров-конструкторов программных комплексов. В данном случае отрезок на композиционной модели принимается за 1, соответствие технологии измеряется в 100 %.

По полученным результатам в таблице 1 были построены на рисунке 4 композиционные модели каждого из программных продуктов относительно «эталонной» единичной окружности.

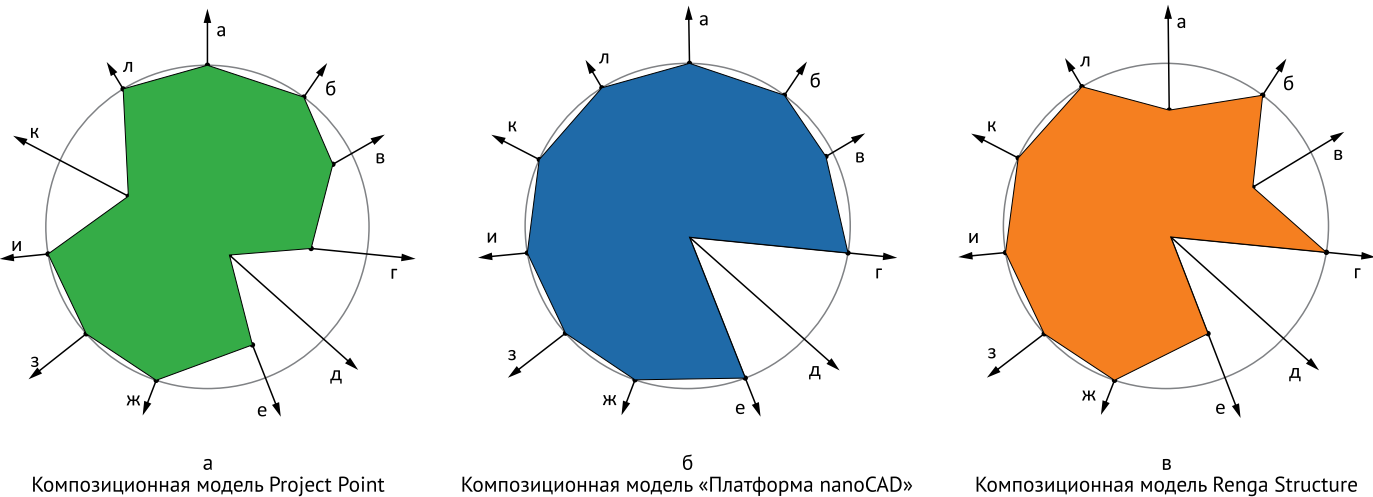


Рис. 4. Композиционные модели программного обеспечения, построенные по результатам сравнения с «эталонной» моделью
Fig. 4. Compositional software models built based on the results of comparison with the «reference» model

Вид ПО	Площадь вписанной фигуры
Project Point	2,044
Платформа nanoCAD	2,4289
Renga Structure	1,9832

Табл. 2. Полученные результаты
Tab. 2. Results

Далее, используя формулу Герона, вычислим площадь каждой из вписанных фигур и сравним их с площадью «эталонной» единичной окружности, полученные результаты приведены в таблице 2.

Из полученных результатов в таблице 2 видно, что площадь композиционной модели «Платформа nanoCAD» наиболее приближена к «эталонной» модели, значит, данная модель является наиболее «доступной», а значит, она является наилучшей к применению.

Обсуждение

Оценка использования НДТ в объектах строительства может быть сведена к решению задачи функционального наполнения объекта строительства, рассмотренной с точки зрения оценки затрат наполнения объекта новой функцией [7; 8]. Для этого на всем множестве параметров объекта строительства P зададим область $G(F) \in P$, внутри которой объект может выполнять желаемую функцию F с качеством $K(G)$. Находя минимальное значение затрат на такое изменение параметров здания (точка X в пространстве P), при котором качество выполнения желаемой функции $K(X)$ не меньше заданного K' , получаем решение поставленной задачи (рисунок 5).

Однако в реальных приложениях мы не располагаем ни зависимостью затрат на переход от одной точки в пространстве параметров P к другой, ни самой функцией качества $K(G)$ и терминальным значением K' , ни самой областью $G(F)$. Да и осуществление длительных расчетов в многомерном пространстве параметров объектов строительства P будет непреодолимо даже для современной вычислительной техники. Нахождение указанных функций является само по себе сложной нетривиальной задачей, но использование полученных знаний на практике натолкнется также на то, что попытка получить подробное описание приведет к увеличению размерности либо в пространстве параметров P , а это ведет к степенному росту сложности задачи [9; 10].

Для решения проблемы может быть использована следующая модель. Будем искать решение проблемы в условиях, когда область параметров $G(F)$ задана фреймом, т. е. структурированной информацией, определяю-

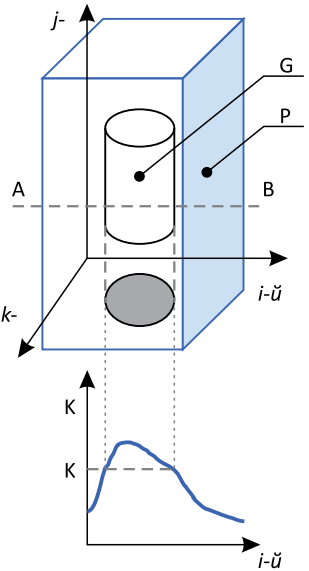


Рис. 5. Графическое представление постановки задачи оценки затрат наполнения объекта новой функцией
Fig. 5. Graphical representation of the problem statement for estimating the costs of filling an object with a new function

щей объект, в простейшем случае – списком требований к заданию, а функция качества $K(G)$ является ступенчатой, принимающей значение 1 на $G(F)$ и 0 вне этой области.

Заключение

Новизной предложенной градации является переход на трехуровневую структуру сравнения композиционных моделей, который позволяет в рамках интеллектуального анализа выбрать наиболее «доступное» организационно-технологическое решение для проекта. Непосредственное применение данного способа затрудняется из-за необходимости перебора большого количества вариантов, что увеличивает время анализа полученных данных, а значит, и время принятия решения.

Для устранения данного недостатка предложено применить полученные закономерности интеграции НДТ в процессе формирования жизненного цикла зданий, что приводит к необходимости составления модели жизненного цикла объекта строительства на основе комплексного подхода. Главное отличие уже существующего системного подхода от комплексного подхода к описанию жизненного цикла заключается в учете различных осознанных потребностей, целей проекта, количества подциклов в системе организационно-технологического цикла и продолжительности реализации соответствующих организационно-технологических циклов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова, А. В. Интеллектуальный город как технология цифровой экономики / А. В. Максимова, А. И. Мохов, П. Д. Челышков // Государственное управление и развитие России: глобальные угрозы и структурные изменения : Сборник статей международной конференц-сессии, Москва, 1 октября 2020. – 2020. – Том 1. – С. 122–132.

2. Абросимова, И. А. Коэффициент «зеленые технологии» в жизненном цикле здания и сооружения / И. А. Абросимова // Зеленые технологии в жизненном цикле зданий и сооружений : Сборник докладов научно-технического семинара, Москва, 15 марта 2022. – 2022. – С. 17–25.

3. Mokhov, A. I. Information model of intelligent support for effective decisions / A. I. Mokhov, N. M. Komarov, I. A. Abrosimova // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – P. 191–198.

4. Debrah, C. Artificial intelligence in green building / C. Debrah, A. P. C. Chan, A. Darko // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 137. – P. 104192.

5. Critical success factors for green building promotion: A systematic review and meta-analysis / L. Chen, A. P. C. Chan, E. K. Owusu, A. Darko // Building and Environment. – 2022. – Vol. 207. – P. 108452.

6. Оганесян, Е. С. Численные показатели для устойчивого развития: особенности разработки критериев для использования в строительстве / Е. С. Оганесян, А. Б. Семенов // Зеленые технологии в жизненном цикле зданий и сооружений : Сборник материалов Всероссийской конференции, Москва, 25 мая 2022. – 2022. – С. 72–88.

7. Gandomi, A. H. Machine learning technologies for big data

analytics / A. H. Gandomi, F. Chen, L. Abualigah // Electronics. – 2022. – Vol. 11, № 3. – P. 421.

8. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals / V. Litvinenko, I. Bowbrik, I. Naumov, Z. Zaitseva // Journal of Cleaner Production. – 2022. – № 338 (7645). – P. 130530.

9. Процесс информационного моделирования зданий на всех

REFERENCES

1. Maksimova, A. V. Intellekтуал'nyj gorod kak tekhnologiya tsifrovoy ehkonomiki [Smart city as a digital economy technology] / A. V. Maksimova, A. I. Mokhov, P. D. Chelyshkov // Gosudarstvennoe upravlenie i razvitie Rossii: global'nye угрозы i strukturnye izmeneniya : Sbornik statej mezhdunarodnoj konferents-sessii, Moskva, 1 oktyabrya 2020 [Public administration and development of Russia: global threats and structural changes : Collection of articles of the international conference session, Moscow, October 1, 2020]. – 2020. – P. 122–132.

2. Abrosimova, I. A. Koehfftsient «zelenye tekhnologii» v zhiznennom tsikle zdaniya i sooruzheniya [«Green technologies» coefficient in the life cycle of buildings and structures] / I. A. Abrosimova // Zelyonye tekhnologii v zhiznennom tsikle zdaniy i sooruzhenij : Sbornik dokladov nauchno-tehnicheskogo seminar, 15 marta Moskva, 2022 [Green technologies in the life cycle of buildings and structures : Collection of reports of the scientific and technical seminar, Moscow, March 15, 2022]. – 2022. – P. 17–25.

3. Mokhov, A. I. Information model of intelligent support for effective decisions / A. I. Mokhov, N. M. Komarov, I. A. Abrosimova // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – P. 191–198.

4. Debrah, C. Artificial intelligence in green building / C. Debrah, A. P. C. Chan, A. Darko // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 137. – P. 104192.

5. Critical success factors for green building promotion: A systematic review and meta-analysis / L. Chen, A. P. C. Chan, E. K. Owusu, A. Darko // Building and Environment. – 2022. – Vol. 207. – P. 108452.

этапах жизненного цикла / М. С. Димитриев, А. Д. Пестрикова, М. А. Панферов, И. Л. Ципурский // Научный формат. – 2019. – № 2 (2). – С. 171–176.

10. A decision-making framework for Industry 4.0 technology implementation: The case of FinTech and sustainable supply chain finance for SMEs / G. Soni, S. Kumar, R. Mahto, S. K. Mangla // Technological Forecasting and Social Change. – 2022. – Vol. 180. – P. 121686.

6. Oganessian, E. S. Chislennye pokazateli dlya ustojchivogo razvitiya: osobennosti razrabotki kriteriev dlya ispol'zovaniya v stroitel'stve [Numerical indicators for sustainable development: features of the development of criteria for use in construction] / E. S. Oganessian, A. B. Semenov // Zelyonye tekhnologii v zhiznennom tsikle zdaniy i sooruzhenij : Sbornik materialov Vserossijskoj konferentsii, Moskva, 25 maya 2022 [Green technologies in the life cycle of buildings and structures : Collection of materials of the All-Russian Conference, Moscow, May 25, 2022]. – 2022. – P. 72–88.

7. Gandomi, A. H. Machine learning technologies for big data analytics / A. H. Gandomi, F. Chen, L. Abualigah // Electronics. – 2022. – Vol. 11, № 3. – P. 421.

8. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals / V. Litvinenko, I. Bowbrik, I. Naumov, Z. Zaitseva // Journal of Cleaner Production. – 2022. – № 338 (7645). – P. 130530.

9. Dimitriev, M. S. Protsess informatsionnogo modelirovaniya zdaniy na vsekh etapakh zhiznennogo tsikla [Building information modeling process at all stages of the life cycle] / M. S. Dimitriev, A. D. Pestrikova, M. A. Panferov, I. L. Tsipursky // Nauchnyj format [Scientific format]. – 2019. – № 2 (2). – P. 171–176.

10. A decision-making framework for Industry 4.0 technology implementation: The case of FinTech and sustainable supply chain finance for SMEs / G. Soni, S. Kumar, R. Mahto, S. K. Mangla // Technological Forecasting and Social Change. – 2022. – Vol. 180. – P. 121686.

Аннотация. В последние годы значительное внимание уделяется применению искусственного интеллекта (ИИ) в реконструкции и реставрации культурного наследия. Для обучения моделей ИИ в этих целях необходимо создать базу данных, содержащую большой и разнообразный набор изображений и данных, относящихся к объектам культурного наследия. Эта база данных должна включать различные типы изображений, такие как фотографии, эскизы и 3D-модели, а также текстовые данные, такие как исторические документы и археологические отчеты. Создание такой базы данных сопряжено с рядом трудностей, включая необходимость обеспечения точности и полноты данных, а также их соответствия конкретному изуча-

Abstract. In recent years, considerable attention has been paid to the use of artificial intelligence (AI) in the reconstruction and restoration of cultural heritage. To train AI models for this purpose, it is necessary to create a database containing a large and diverse set of images and data related to cultural heritage. This database should include various types of images, such as photographs, sketches, and 3D models, as well as textual data, such as historical documents and archaeological reports. The creation of such a database involves a number of difficulties, including the need to ensure the accuracy and completeness of the data, as well as their relevance to the particular object of cultural heritage un-

Введение

Цифровая трансформация затронула все отрасли деятельности человека, не обошло это и строительную отрасль. Объектом исследования строительной отрасли выступает объект капитального строительства, где важными являются вопросы управления его жизненным циклом. Данному аспекту посвящено значительное количество работ [1–4], отдельно стоит отметить публикации, которые рассматривают использование технологий Индустрии 4.0 для решения вопросов реставрации и реконструкции объектов, в том числе объектов культурного наследия [5–6].

Интересными являются работы, посвященные вопросам использования искусственного интеллекта в строительстве и восстановлении объектов [7–8].

Создание базы данных для обучения искусственного интеллекта (ИИ) реконструкции и реставрации культурного наследия требует сбора большого и разнообразного набора изображений и данных, связанных с объектами культурного наследия. Рассмотрим основные этапы при создании такой базы данных:

- Определение различных типов объектов культурного наследия, которые ИИ будет обучен реконструировать или восстанавливать.
- Сбор большого количества изображений каждого типа объектов из различных источников, таких как геоинформационные системы, архивы и частные данные. Эти изображения должны быть высокого качества и разрешения, чтобы ИИ мог уловить как можно больше деталей.
- Сбор метаданных для каждого изображения, включая тип объекта, архитектора, дату, местоположение и любую другую необходимую информацию. Эти метаданные помогут ИИ понять вид объекта и его историческое значение.
- Разметка изображений информацией о конкретных областях, требующих реконструкции или восстановления. Например, если фасад поврежден, места повреждений должны быть помечены, чтобы ИИ

емому объекту культурного наследия. Кроме того, база данных должна включать разнообразные примеры повреждений или разрушений, которые могут иметь место на объектах культурного наследия, чтобы модели искусственного интеллекта могли точно определять и решать эти проблемы. После создания база данных может служить ценным ресурсом для исследователей и практиков, работающих в области реконструкции и реставрации культурного наследия, способствуя разработке новых инструментов и методов на основе ИИ для сохранения и восстановления нашего общего культурного наследия.

Ключевые слова: строительство, информационные технологии, реставрация, искусственный интеллект, базы данных.

der study. In addition, the database should include a variety of examples of damage or destruction that may occur on cultural heritage sites so that artificial intelligence models can accurately identify and solve these problems. Once created, the database can serve as a valuable resource for researchers and practitioners working in the field of cultural heritage reconstruction and restoration, facilitating the development of new AI-based tools and methods for the preservation and restoration of our common cultural heritage.

Keywords: construction, Information Technology, restoration, artificial intelligence, data base.

мог научиться визуализировать их первоначальное состояние.

- Предварительная обработка изображения, чтобы удалить шум, исправить цвет и освещение, а также выровнять их по размеру и разрешению. Этот шаг поможет ИИ сосредоточиться на важных деталях и особенностях объектов.
- Расширение набора данных, применение к изображениям преобразования, такие как вращение, переворачивание и масштабирование, чтобы увеличить вариативность данных и помочь ИИ научиться распознавать и восстанавливать различные типы объектов.
- Разделение набора данных на обучающий, проверочный и тестовый наборы, так, чтобы каждый набор содержал репрезентативную выборку различных типов объектов и различных видов повреждений или порчи.
- Обучение ИИ на обучающем наборе данных, с использованием методов глубокого обучения, таких как сверточные нейронные сети (CNN) и генеративные состязательные сети (GAN). Требуется постоянно оценивать производительность ИИ на проверочном наборе данных и при необходимости корректировать модель.
- Тестирование ИИ на тестовом наборе данных, чтобы оценить его способность точно реконструировать и восстанавливать различные типы объектов культурного наследия.

Следуя этим шагам, можно создать базу данных для обучения ИИ реконструкции и реставрации объектов культурного наследия.

Материалы и методы

Выбор базы данных для проекта по обучению ИИ реконструкции и реставрации объектов культурного наследия зависит от нескольких факторов, таких как размер набора данных, сложность данных и требования к масштабируемости проекта. Ниже приведены некоторые варианты баз данных, которые можно рассмотреть.

УДК 69.001.5

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_80

Разработка базы данных отбора и экспертной проверки объектов культурного наследия для обучения искусственного интеллекта

Development of a Database for the Selection and Expert Verification of Cultural Heritage Objects for Training Artificial Intelligence

Адамцевич Любовь Андреевна

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

Adamtsevich Liubov Andreevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Informational Systems, Technology and Automatization in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, AdamtsevichLA@mgsu.ru

Пиляй Андрей Игоревич

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

Pilyay Andrey Igorevich

Senior Lecturer of the Department «Informational Systems, Technology and Automatization in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, PilyayAI@mgsu.ru

- Реляционные базы данных. Реляционные базы данных, такие как MySQL и PostgreSQL, широко используются для управления большими наборами данных и подходят для структурированных данных, таких как метаданные и метки. Они предоставляют мощные возможности для составления запросов и поддерживают транзакции, что делает их надежным выбором для сложных проектов.
- Базы данных NoSQL. Базы данных NoSQL, такие как MongoDB и Cassandra, предназначены для обработки больших объемов неструктурированных данных и подходят для хранения больших объемов изображений и видеоданных. Они обладают высокой масштабируемостью и обеспечивают быстрые запросы, что делает их хорошим выбором для проектов, требующих обработки больших объемов данных.
- Объектное хранение. Объектные системы хранения данных, такие как Amazon S3 и Google Cloud Storage, предназначены для хранения больших объемов неструктурированных данных, таких как изображения и видео. Они обеспечивают высокую доступность и долговечность, а также могут быть интегрированы с другими облачными сервисами, что делает их популярным выбором для облачных проектов.
- Графовые базы данных. Графовые базы данных, такие как Neo4j и JanusGraph, предназначены для хранения и запроса данных в формате графа. Они подходят для проектов, требующих сложных взаимосвязей и сетевого анализа, что делает их хорошим выбором для проектов культурного наследия, связанных с изучением взаимосвязей между различными объектами.

Реляционная модель может быть хорошим выбором для управления и организации данных для проекта, включающего обучение ИИ для реконструкции и восстановления культурного наследия, по нескольким причинам:

- Структурированные данные. Реляционная модель хорошо подходит для управления структурированными данными, такими как метаданные и метки. Данные могут быть организованы в таблицы, каждая из которых содержит определенные поля данных, а между таблицами могут быть установлены

- связи для создания полной и согласованной структуры данных.
- Возможности запросов. Реляционные базы данных обеспечивают мощные возможности запросов, которые позволяют пользователям легко извлекать данные и манипулировать ими. SQL (язык структурированных запросов) является широко используемым языком для запросов к реляционным базам данных и обеспечивает стандартизированный синтаксис, который может быть легко понятен разработчикам и аналитикам.
 - Целостность данных. Реляционные базы данных обеспечивают целостность данных, позволяя использовать ограничения и правила для обеспечения последовательности и точности данных, хранящихся в базе данных. Это помогает предотвратить ошибки и несоответствия в данных, которые могут повлиять на точность моделей ИИ, обученных на этих данных.
 - Поддержка транзакций. Реляционные базы данных поддерживают транзакции, которые позволяют пользователям вносить множество изменений в данные за одну операцию. Транзакции обеспечивают последовательное и атомарное внесение изменений и могут быть отменены, если во время операции возникли ошибки.
 - Зрелая технология (Mature technology). Реляционные базы данных используются уже несколько десятилетий и являются устоявшейся технологией. Это означает, что существует большое сообщество разработчиков, аналитиков и администраторов, знакомых с этой технологией, а также множество инструментов и ресурсов для поддержки разработки и управления реляционными базами данных.

В целом, реляционная модель может обеспечить прочную и надежную основу для управления данными в проекте, включающем обучение ИИ для реконструкции и восстановления культурного наследия. Она обеспечивает структурированный и последовательный подход к управлению данными и предлагает мощные возможности для формирования запросов, которые могут помочь обеспечить точность и надежность моделей ИИ, обученных на этих данных.

Плюсы	Минусы
Структурированные данные: реляционная модель хорошо подходит для управления структурированными данными, такими как метаданные и метки	Менее гибкая: реляционные базы данных менее гибкие, чем другие модели баз данных, что затрудняет хранение неструктурированных данных, таких как изображения и видео
Возможности запросов: реляционные базы данных предоставляют мощные возможности запросов, которые позволяют пользователям легко получать данные и манипулировать ими	Ограниченная масштабируемость: реляционные базы данных могут иметь ограничения в плане масштабируемости, особенно для очень больших наборов данных
Целостность данных: реляционные базы данных обеспечивают целостность данных, позволяя использовать ограничения и правила для обеспечения последовательности и точности данных, хранящихся в базе данных	Более сложная настройка: настройка реляционной базы данных может быть сложнее, чем других моделей баз данных, и может потребовать специальных знаний или опыта
Поддержка транзакций: реляционные базы данных поддерживают транзакции, которые обеспечивают последовательное и атомарное внесение изменений и могут быть отменены, если в процессе работы возникли ошибки	Более ресурсоемкие: реляционные базы данных могут быть более ресурсоемкими, чем другие модели баз данных, требуя больше вычислительной мощности и памяти
Стандартизация: SQL является стандартизированным языком для запросов к реляционным базам данных, что облегчает работу с данными для разработчиков и аналитиков	Более высокая стоимость: реляционные базы данных могут быть более дорогими в реализации и обслуживании, особенно для больших наборов данных или более сложных проектов

Табл. 1. Использование реляционной модели
Tab. 1. Using the relational model

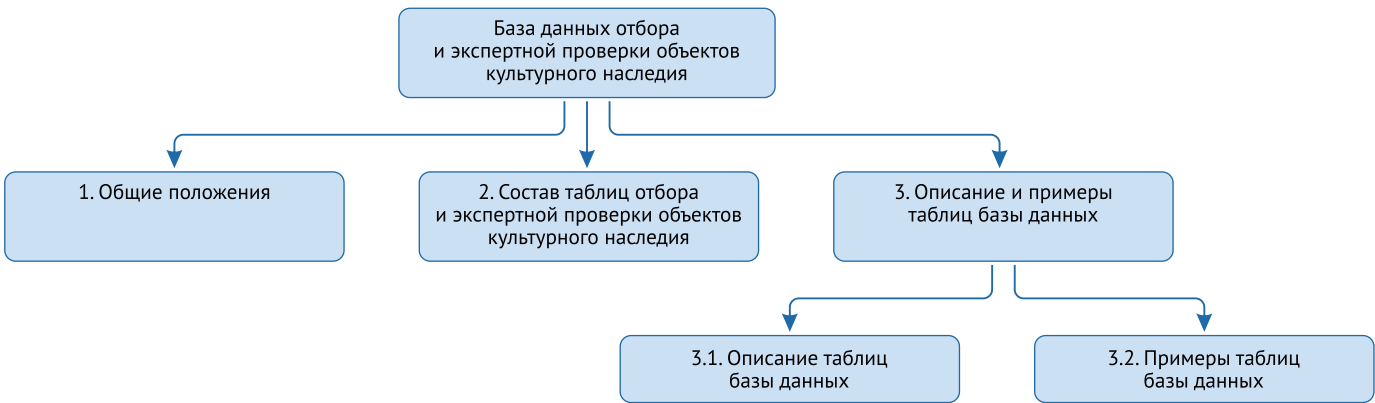


Рис. 1. Структурная схема базы данных
Fig. 1. Database block diagram

Ниже приведена таблица 1 с описанием плюсов и минусов использования реляционной модели для проекта, включающего обучение искусственного интеллекта для реконструкции и реставрации объектов культурного наследия.

Таким образом, реляционная модель может быть хорошим выбором для управления и организации данных для проекта, включающего обучение ИИ для реконструкции и восстановления культурного наследия, особенно если данные в основном структурированы и требуют мощных возможностей для запросов. Однако есть и потенциальные недостатки использования реляционной модели, такие как ограниченная масштабируемость, более высокая стоимость и необходимость в более специализированных знаниях или опыте. Важно тщательно рассмотреть конкретные потребности проекта, а также сильные и слабые стороны различных моделей баз данных, прежде чем принимать решение.

Результаты

Можно присвоить зданиям характеристики объектов культурного наследия на уровне базы данных, включив метаданные и обозначив их соответствующим статусом, что позволит отличить их от других объектов в базе данных и предоставить информацию для моделей ИИ.

Некоторые примеры метаданных, которые могут быть использованы для идентификации здания как объекта культурного наследия, включают:

- Историческая значимость может включать информацию о возрасте здания, важных событиях или

людях, связанных с ним, архитектурном стиле или дизайне.

- Культурная значимость может включать информацию о важности здания для определенной культуры или общины, об его религиозном или духовном значении, о художественных или культурных ценностях, хранящихся в нем.
- Состояние сохранности может включать информацию о предыдущих мерах по сохранению здания или о текущих мерах по поддержанию и сохранению, которые предпринимаются для защиты здания.
- Местоположение здания также может быть использовано для идентификации его как объекта культурного наследия, особенно если оно расположено в районе с богатой историей или культурным значением.

Включение метаданных такого типа в базу данных и обозначение зданий как объектов культурного наследия поможет обеспечить обучение моделей ИИ на полном и разнообразном наборе данных, который точно отражает уникальные характеристики и сложность объектов культурного наследия. Это, в свою очередь, может помочь повысить точность и эффективность моделей ИИ для реконструкции и восстановления объектов культурного наследия.

Также возможно подключить экспертный анализ к базе данных для реконструкции и реставрации культурного наследия. Это можно сделать путем создания системы,

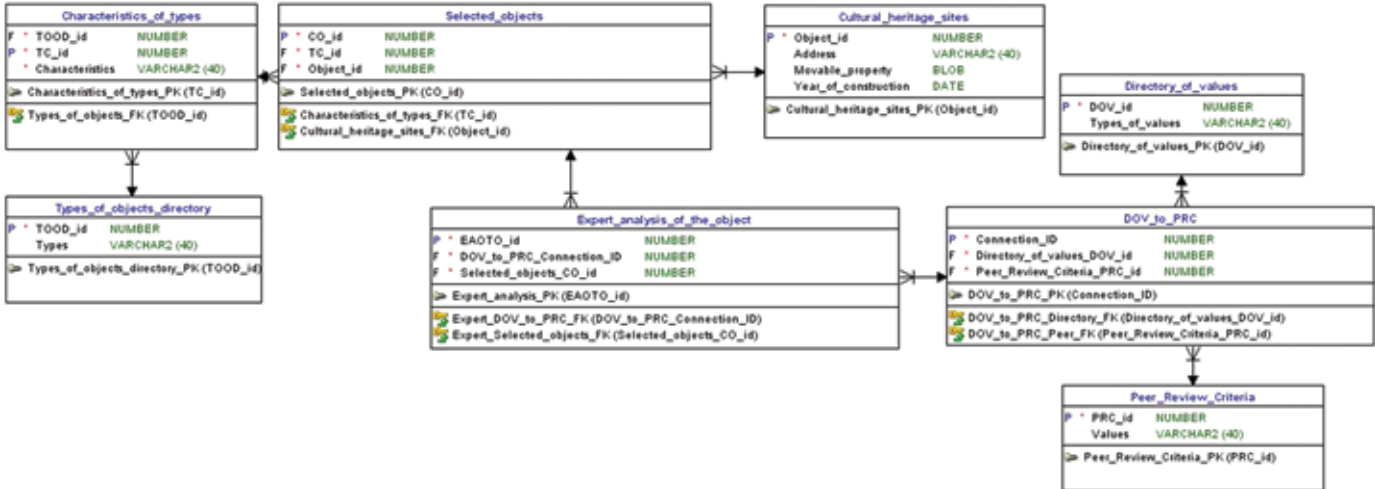


Рис. 2. Состав таблиц отбора объектов культурного наследия
Fig. 2. The composition of the tables for the cultural heritage objects selection

позволяющей экспертам просматривать и предоставлять отзывы о реконструкциях и реставрациях ИИ-моделей, которые затем могут быть включены в базу данных для будущего обучения и анализа.

Одним из способов реализации этого является создание пользовательского интерфейса, позволяющего экспертам просматривать и анализировать реконструкции и реставрации, выполненные моделями ИИ, наряду с оригинальными изображениями и видео. Этот интерфейс может включать инструменты для аннотирования и выделения конкретных областей реконструкции или реставрации, которые требуют дальнейшего анализа или внимания. После завершения экспертного анализа отзывы и аннотации могут быть сохранены в базе данных вместе с исходными изображениями и видео. Для этого можно использовать поля метаданных, в которые заносится информация об экспертном анализе, например, имя эксперта, дата проведения анализа, а также все сделанные примечания и комментарии. Экспертный анализ может быть использован для повышения точности и эффективности моделей ИИ для будущих реконструкций и реставраций. Например, отзывы могут выявить области, в которых модели ИИ нуждаются в корректировке или улучшении,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов, Л. А. Подход к управлению жизненным циклом строительного объекта на основе BIM-технологий / Л. А. Шилов, Л. А. Шилова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 2. – С. 86.
2. Ильинова, В. В. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве / В. В. Ильинова, В. Д. Мицевич // Российский внешнеэкономический вестник. – 2021. – № 6. – С. 79–93.
3. Лосев, К. Ю. Состав данных для информационной поддержки строительного объекта в его жизненном цикле / К. Ю. Лосев // Сборник материалов Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании», Москва, 16–17 ноября 2016 года. – Москва : МГСУ, 2017. – С. 441–444.
4. Стифеева, О. А. Исследование современного состояния жилищного фонда российской федерации / О. А. Стифеева // Научное обозрение. – 2016. – № 24. – С. 51–56.

REFERENCES

1. Shilov, L. A. Podkhod k upravleniyu zhiznennym tsiklom stroitel'nogo ob'ekta na osnove BIM-tekhnologij [Approach to the life cycle management of a construction object based on BIM technologies] / L. A. Shilov, L. A. Shilova // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region]. – 2019. – № 2. – P. 86.
2. Ilyinova, V. V. Mezhdunarodnyj opyt ispol'zovaniya BIM-tekhnologij v stroitel'stve [International experience in the use of BIM technologies in construction] / V. V. Ilyinova, V. D. Mitsevich // Rossijskij vneshneehkonomicheskij vestnik [Russian Foreign Economic Bulletin]. – 2021. – № 6. – P. 79–93.
3. Losev, K. Yu. Sostav dannykh dlja informatsionnoj podderzhki stroitel'nogo ob'ekta v ego zhiznennom tsikle [The data scope for product lifecycle management of a construction object] / K. Yu. Losev // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii «Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noj nauke i obrazovanii», Moskva, 16–17 noyabrya 2016 goda [Collection of materials of the International Scientific Conference "Integration, partnership and innovation in construction science and education", Moscow, November 16–17, 2016]. – Moscow : MGSU, 2017. – P. 441–444.

или выделить конкретные особенности или детали, требующие дальнейшего анализа или внимания.

В целом, подключение экспертного анализа к базе данных для реконструкции и реставрации объектов культурного наследия сможет обеспечить точность и надежность моделей ИИ и создать высококачественные реконструкции и реставрации, которые сохраняют и защитят культурное наследие для будущих поколений. Структурная схема базы данных представлена на рисунке 1.

Диаграмма структуры базы данных, также известная как схема базы данных, – это визуальное представление организации и структуры базы данных. Она показывает связи между различными таблицами, столбцами и типами данных, составляющими базу данных. Реализация в виде ER-модели представлена на рисунке 2.

Заключение

В заключение следует отметить, что представленная база данных объединяет в себе отбор объектов культурного наследия в соответствии с формальными параметрами и данные об экспертах и экспертном анализе в рамках ручной проверки выбранных объектов.

База данных может использоваться в качестве исходных данных для обучения модели обнаружению поврежденных участков культурного наследия.

5. Kazarova, A. Restoration of the historically valuable town-forming object «Shevaldyshevskoe courtyard, the second half of XVIII century» using building information modeling / A. Kazarova, L. Shilov, L. Adamtsevich // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – P. 103–112.
6. Experimental investigation of the deformability of the masonry vault in church historical building / E. Khorkov, E. Mindubaev, V. Pavlov, I. Mirsayaapov, R. Ibragimov, A. R.G. Azevedo // Case studies in construction materials. – Vol. 18 (15). – P. 01833.
7. Pang, H. E. 3D building reconstruction from single street view images using deep learning / H. E. Pang, F. Biljecki // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – № 112. – P. 102859.
8. Syed, I. S. Integrating Experience-Based Knowledge Representation and Machine Learning for Efficient Virtual Engineering Object Performance / I. S. Syed, C. Sanin, E. Szczebicki // Procedia Computer Science. – 2021. – Vol. 192. – P. 3955–3965.

4. Stifeeva, O. A. Issledovanie sovremennogo sostojaniya zhilishhnogo fonda rossijskoj federatsii [Investigation of the current state of the housing stock of the Russian Federation] / O. A. Stifeeva // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. – 2016. – № 24. – P. 51–56.
5. Kazarova, A. Restoration of the historically valuable town-forming object «Shevaldyshevskoe courtyard, the second half of XVIII century» using building information modeling / A. Kazarova, L. Shilov, L. Adamtsevich // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – P. 103–112.
6. Experimental investigation of the deformability of the masonry vault in church historical building / E. Khorkov, E. Mindubaev, V. Pavlov, I. Mirsayaapov, R. Ibragimov, A. R.G. Azevedo // Case studies in construction materials. – Vol. 18 (15). – P. 01833.
7. Pang, H. E. 3D building reconstruction from single street view images using deep learning / H. E. Pang, F. Biljecki // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – № 112. – P. 102859.
8. Syed, I. S. Integrating Experience-Based Knowledge Representation and Machine Learning for Efficient Virtual Engineering Object Performance / I. S. Syed, C. Sanin, E. Szczebicki // Procedia Computer Science. – 2021. – Vol. 192. – P. 3955–3965.

УДК 658.51: 69.009

Детерминированные и стохастические риски строительной системы

Deterministic and Stochastic Risks of the Construction System

Сафарян Геворг Борисович

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

Safaryan Gevorg Borisovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research University Moscow University of Civil Engineering Russia (NRU MGSU), 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, info.safaryan@gmail.com

Аннотация. Строительная система является сложной многофакторной структурой. На надежность и качество ее реализуемого продукта в виде объекта недвижимости на всех этапах жизненного цикла оказывают воздействие многочисленные факторы. В общем эти факторы можно разделить на внешние и внутренние, детерминированные и стохастические. В статье проводится обобщенный анализ и классификация этих факторов с целью дальнейшей систематизации расчетных параметров.

Детерминированные риски – это риски, которые можно предсказать с высокой степенью достоверности, связанные обычно с этапами проектирования и учитывающие нормативно-техническую базу, технологические аспекты реализации проекта, а также эмпирические данные. Стохастические риски

Abstract. The construction system is a complex multifactorial structure. Numerous factors have an impact on its reliability and the quality of the realized product in the form of a real estate object at all stages of the life cycle. In general, these factors can be divided into external and internal, deterministic and stochastic. The article presents a generalized analysis and classification of these factors in order to further systematize the calculated parameters.

Deterministic risks are risks that can be predicted with a high degree of certainty, usually associated with the stages of design and taking into account the regulatory and technical framework, technological aspects of project implementation, as well as em-

Введение

Участниками строительной системы является множество различных сторон, не все из которых связаны непосредственно с самой отраслью. Государственные (федеральные, региональные и муниципальные) органы выполняют роль заказчика на государственных объектах и опосредованных участников – на частных, оказывая влияние на систему через надзорные и правовые аспекты строительства. Помимо строителей, проектировщиков, поставщиков, заказчиков, конечных потребителей и рисков, связанных с их деятельностью в рамках строительной системы, также необходимо учитывать макроэкономические и геополитические факторы, которые могут повлиять на все этапы жизненного цикла, например, введение санкций или пандемия. Другие участники экономической отрасли, такие как банки и страховые компании, также могут оказывать влияние на жизненный цикл строительной системы, несмотря на то, что не являются непосредственными участниками отрасли [1].

Воздействие различных негативных факторов (рисков, сбоев) на строительную систему осуществляется как внутренне – непосредственными участниками строитель-

непредсказуемы и связаны в значительной степени с внешними факторами, такими как погода, колебания рынка и непредвиденные события.

В статье рассматриваются различные методы выявления, оценки и управления обоими типами рисков, включая анализ рисков, стратегии снижения рисков и нивелирования влияния рисков. Понимая природу возникновения и потенциальное влияние этих рисков, участники строительной отрасли смогут принимать более релевантные решения на всех этапах жизненного цикла объекта, что в конечном итоге повысит качество и надежность реализации проектов.

Ключевые слова: жизненный цикл, надежность, строительная система, строительство, детерминированные риски, стохастические риски.

pirical data. Stochastic risks are unpredictable and related largely to external factors such as weather, market fluctuations, and unforeseen events.

This article discusses various methods for identifying, assessing, and managing both types of risks, including risk analysis, risk mitigation strategies, and levelling the impact of risks. By understanding the nature and potential impact of these risks, construction industry participants will be able to make more relevant decisions at all stages of the project life cycle, which will ultimately improve the quality and reliability of project implementation.

Keywords: life cycle, reliability, construction system, construction, deterministic risks, stochastic risks.

ства и их деятельностью, так и внешне – глобальными или иными факторами, не связанными непосредственно с реализацией конкретного строительного объекта или строительной системы в целом.

Кроме того, внешние и внутренние риски можно подразделять на детерминированные (предсказуемые, предопределенные) и стохастические (случайные, неопределенные).

В строительной системе детерминированными являются риски, которые предсказуемы и имеют ясную причинно-следственную связь. Они могут быть выявлены путем тщательного анализа и планирования, и зачастую их можно смягчить или вовсе избежать с помощью соответствующих мер. Устранение детерминированных рисков является важным аспектом успешного управления строительными проектами и требует активного и комплексного подхода к выявлению, оценке и снижению рисков. Детерминированные риски исследованы достаточно подробно как отечественными [2–7], так и зарубежными учеными [8–10].

Стохастические риски, также известные как случайные риски, являются непредсказуемыми и могут возни-

катель из-за различных обстоятельств (например, экстремальное ухудшение погодных условий, геополитические и макроэкономические события). Стохастические риски оказывают значительное влияние на строительную систему, поэтому руководителям проектов важно выявить, оценить и смягчить эти риски заблаговременно, чтобы минимизировать их потенциальное воздействие.

Автором предлагается систематизация возможных рисков на всем жизненном цикле объекта строительства как части строительной системы, что позволит при проведении дальнейших расчетов и математического моделирования корректно учитывать воздействие на строительную систему ее участников и результатов их деятельности. Подобный подход позволит производить более точные расчеты и обеспечить надежность реализации проекта.

Материалы и методы

Для анализа детерминированных и стохастических факторов строительной системы на всех этапах жизненного цикла объекта строительства применены следующие методы научного исследования: анализ, синтез и моделирование. В статье были проанализированы отдельные факторы отдельных этапов жизненного цикла объекта и выявлены риски, связанные с ними, а также в рамках комплексного подхода предложена модель оценки надежности строительной системы.

Результаты

Автором предложена модель строительной системы, включающая в себя всех ее участников – как непосредственно реализующих и эксплуатирующих объект, так и опосредованно участвующих или влияющих на его реализацию и эксплуатацию. Исследования на эту тему фокуси-

№	Характер рисков	Детерминированные риски	Стохастические риски
	Источник рисков		
1	Внешние факторы	X_{11}	X_{12}
2	Внутренние факторы	X_{21}	X_{22}

Примечание: X_{11} – внешние детерминированные риски строительной системы, X_{12} – внешние стохастические риски, X_{21} – внутренние детерминированные риски, X_{22} – внутренние стохастические факторы

Табл. 1. Общая структура рисков в строительной системе
Tab. 1. General structure of risks in the construction system

руются на конкретных процессах или объектах [1], но не учитывают их связь с другими участниками строительного процесса. На рисунке 1 представлена обобщенная модель строительной системы с учетом всех этапов жизненного цикла объекта, внешних и внутренних ее участников, учитывающая связи между всеми участниками строительного процесса и внешними факторами и их влиянием, что обеспечивает более эффективную и надежную реализацию объектов.

Далее необходимо рассмотреть основные этапы жизненного цикла объекта: техническое задание, изыскания, проектирование, производство строительных материалов, логистику, строительство, эксплуатацию, реконструкцию и демонтаж. Останавливаться подробно на каждой из них нецелесообразно в рамках данной статьи. Вопрос был освещен достаточно подробно в других исследованиях отечественных и зарубежных ученых.

В рамках настоящей статьи более значимой является систематизация в отношении рисков, возникающих на всех этапах жизненного цикла объекта. В таблице 1 пред-

ставлена общая структура факторов риска (сбоев), возникающих в строительной системе.

Данная матрица может быть использована в качестве первичного инструмента организации и анализа различных факторов, влияющих на надежность строительной системы, и определения потенциальных проблемных областей, требующих более пристального внимания.

Примерами детерминированных рисков в системе строительства могут быть ошибки проектирования, некорректный расчет объемов работ и материалов, некорректный расчет несущей способности, нерелевантные материалы или оборудование, нехватка квалифицированной рабочей силы, а также ошибки планирования или бюджетирования. При отсутствии надлежащего управления эти риски могут привести к существенному нарушению сроков, перерасходу средств, угрозе безопасности или к полному провалу проекта. Детерминированные риски нивелируются контролирующими мероприятиями, например, дополнительным аудитом проектной документации. Однако зачастую значительная часть этих рисков учтена нормативно-технической или научной и учебной литературой. Учет этих рисков обусловлен лишь компактностью и квалификацией лиц, принимающих решения в рамках реализации конкретных проектов.

Дополнительно для устранения детерминированных рисков строительные компании могут использовать такие инструменты управления рисками, как программы контроля качества, программное обеспечение для управления проектами и комплексные протоколы безопасности. Кроме того, тесное сотрудничество различных сторон строительной системы, включая проектировщиков, поставщиков, подрядчиков и контролирующие органы, способно обеспечить соблюдение соответствующих норм и требований проекта.

В контексте строительной системы стохастические риски могут возникать из различных источников, таких как:

1. Погодные условия: экстремальные погодные явления, такие как ураганы, наводнения и землетрясения, предсказание которых в рамках классической климатологии не предусмотрено нормативными источниками;
2. Геополитические и макроэкономические события: введение санкций, экономический кризис, пандемия или иные глобальные события влияют на стро-

№	Тип рисков	X_{11}	X_{12}	X_{21}	X_{22}
	Стадия ЖЦ ОС				
1	Техническое задание			+	+
2	Изыскания	+	+	+	+
3	Проектирование	+	+	+	+
4	Производство	+	+	+	+
5	Логистика	+	+	+	+
6	Строительство	+	+	+	+
7	Эксплуатация	+	+	+	+
8	Реконструкция	+	+	+	+
9	Демонтаж	+	+	+	+

Примечание: X_{11} – внешние детерминированные риски строительной системы, X_{12} – внешние стохастические риски, X_{21} – внутренние детерминированные риски, X_{22} – внутренние стохастические факторы

Табл. 2. Матрица рисков на всех этапах жизненного цикла объекта строительства
Tab. 2. Matrix of risks at all stages of the life cycle of the construction project

тельную систему в общем и на отдельные этапы жизненного цикла объекта строительства в частности;

3. Нарушение цепочки поставок: задержки или нехватка поставок материалов, оборудования или высококвалифицированной, узкоспециализированной рабочей силы могут нарушить график строительства и увеличить стоимость проекта. На примере периода пандемии или введенных санкций данный фактор особенно ощутим в современных реалиях;
4. Человеческий фактор: ошибки, несчастные случаи или неправомерные действия рабочих, подрядчиков или субподрядчиков могут привести к проблемам качества, угрозам безопасности и юридическим последствиям;
5. Проектные ошибки: недостаточная проработка или ошибки в проекте могут привести к серьезным последствиям, задержкам сроков и перерасходу средств;
6. Технологические изменения: изменение нормативно-технических требований (например, в части пожарной безопасности), изменения, вносимые заказчиком в техническое задание и т. п.

Для оценки вероятности и влияния стохастических рисков на график производства работ, стоимость реализации проекта и качество можно использовать такие методы, как Монте–Карло. Объединенным параметром, описывающим соответствие ожидаемому сроку, стоимости и качеству, является надежность.

Выявление и управление рисками в рамках жизненного цикла строительного объекта включают в себя идентификацию, оценку, контроль и управление рисками на всех этапах реализации объекта, начиная с технического задания и заканчивая эксплуатацией объекта. На каждой стадии жизненного цикла возникают свои сбои (риски), которые могут повлиять на последующие стадии.

Матрица рисков на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) объекта строительства (ОС), учитывая источник и характер рисков, представлена в таблице 2.

Плюсами обозначаются риски, возникающие на конкретном рассматриваемом этапе. Количественные параметры определяются на основании анализа статистических данных, а вероятность – методом Монте–Карло и иными методами имитационного моделирования аналогично апробированной автором методике [2]. Вероятность возникновения рисков должна оцениваться как совокупность вероятностей по формуле 1:

$$P(R) = \bigcup F(X_{ik}),$$
 (1)

где $P(R)$ – вероятность возникновения риска; $F(X_{ik})$ – функция риска.

Однако рассмотрение в качестве объединения множества рисков в рамках комплексного подхода может уменьшить чувствительность системы ко всем рискам. Кроме того, отсутствуют временной фактор и учет этапа проведения расчетов, то есть учет общего количества компонентов системы и количества корректно работающих компонентов. Поэтому допускается расчет функции рисков по следующей формуле 2:

$$P(R) = \prod_{i=1}^k [1 - F(t)]^N,$$
 (2)

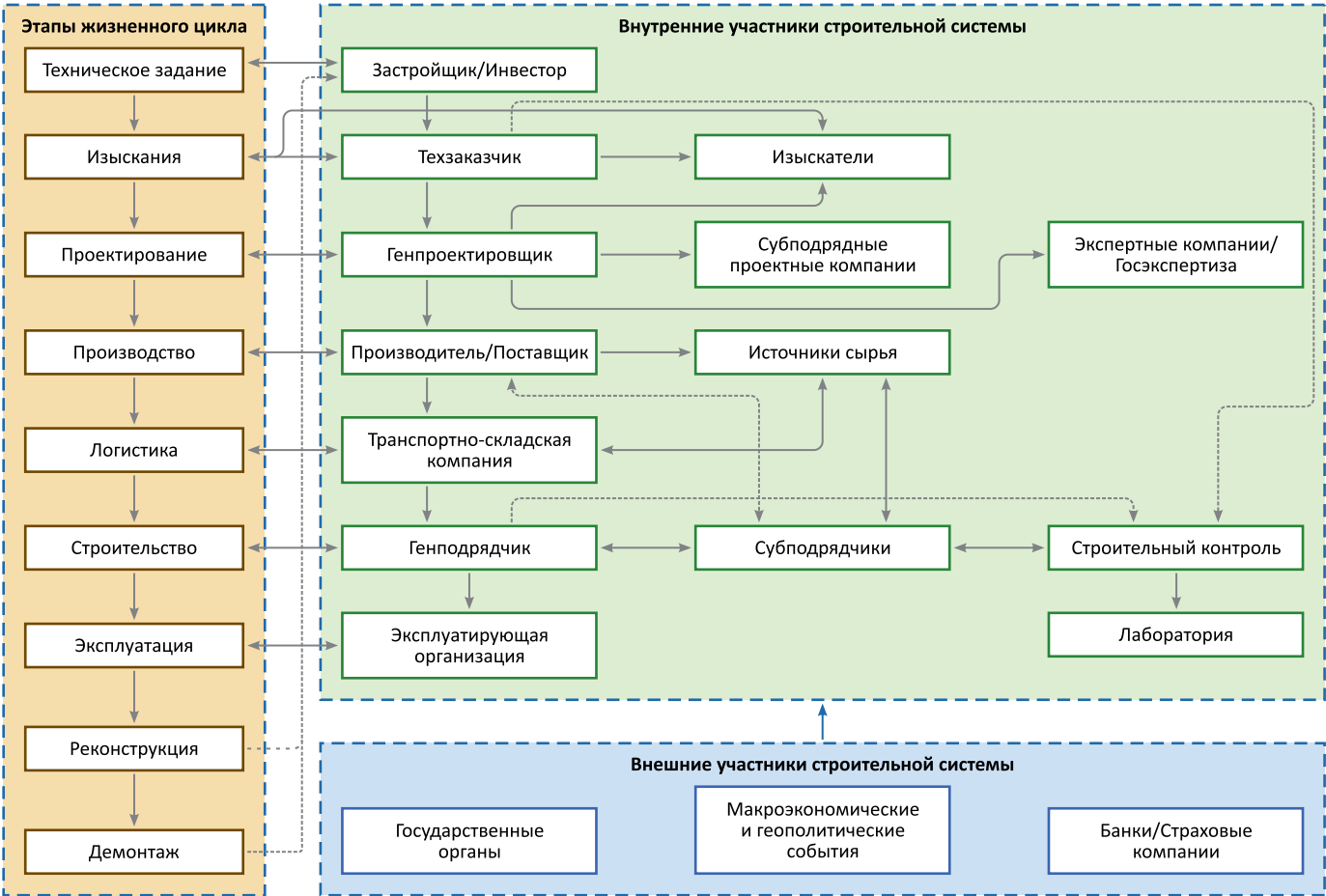


Рис. 1. Обобщенная модель строительной системы и жизненного цикла объекта
Fig. 1. Generalized model of the construction system and building life cycle

где $P(R)$ – вероятность возникновения риска; $F(t)$ – вероятность отказа в момент времени t ; N – общее количество компонентов в системе; n – количество компонентов в системе, которые должны функционировать должным образом, чтобы система обеспечила ожидаемую надежность.

На базе расчетов функций риска рассчитывается надежность системы. Существует несколько вариантов оценки надежности. Надежность строительной системы может быть представлена в виде расчета вероятности отсутствия отказов в течение заданного периода времени в определенных условиях эксплуатации. При этом расчет осуществляется аналогично формуле (2) с небольшим отличием (обратная величина). Второй вариант расчета более примитивен (формула 3):

$$H = 1 - P(R). \quad (3)$$

Еще одним методом расчета надежности является «анализ режима отказа и последствий» (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) [11], который представляет собой системный метод идентификации потенциальных режимов отказа, оценки потенциальных последствий каждого режима отказа и определения вероятности возникновения каждого режима отказа. Кроме того, также может быть использован «анализ дерева отказов» (Fault Tree Analysis), который представляет собой дедуктивный анализ отказов «сверху вниз», при котором нежелательное состояние системы анализируется с использованием булевой логики для объединения серии событий более низкого уровня [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафарян, Г. Б. Критический анализ обобщенной модели строительной системы / Г. Б. Сафарян // Строительство: наука и образование. – 2021. – № 11. – С. 41–47.
2. Сафарян, Г. Б. Надежность производственно-логистических процессов при организации строительства жилых зданий : дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Сафарян Геворг Борисович; МГСУ. – Москва, 2019. – 162 с.
3. Дубовкина, А. В. Информационное моделирование производственно-логистических процессов в строительстве с использованием инструментария управления рисками : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.02.22 / Дубовкина Алла Викторовна; МГСУ. – Москва, 2015. – 23 с.
4. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург и др. – Москва : SvR-Argus, 1994. – 472 с.
5. Строительные риски и возможности их минимизации / С. Н. Богачев, А. А. Школьников, Р. Э. Розентул, Н. А. Климова // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 88–92.
6. Просветов, Г. И. Управление рисками. Задачи и решения / Г. И. Просветов. – Москва : Альфа-Пресс, 2008. – 416 с.
7. Скиба, А. А. Анализ риска в инвестиционно-строительном проекте / А. А. Скиба, А. В. Гинзбург // Вестник МГСУ. – 2012. –

REFERENCES

1. Safaryan, G. B., Kriticheskij analiz obobshhennoj modeli stroitel'noj sistemy [A generalized model of a building system: a critical analysis] // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2021. – № 11. – P. 41–47.
2. Safaryan, G. B. Nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov pri organizatsii stroitel'stva zhilykh zdaniy : diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [Reliability of production and logistics processes in the organization of construction of resi-

Обсуждение

На сегодняшний день отсутствуют полноценные исследования, позволяющие учесть весь комплекс проблематики строительной системы, которая влияет на жизненный цикл и затрудняет управление или реализацию объекта с ожидаемой надежностью.

Дальнейшие исследования позволят провести более детальный анализ влияния детерминированных и стохастических рисков на надежность строительной системы и отдельные этапы жизненного цикла объекта.

Заключение

Своевременное выявление рисков и их превентивное устранение или нивелирование последствий их возникновения является значимой задачей строительной отрасли, решение которой позволит обеспечить надежность при реализации объектов. Классификация рисков является первым шагом к данному решению. Анализ нормативно-технической и учебной литературы, общей строительной практики позволяет безошибочно выявить все детерминированные внутренние риски, а при более неординарном подходе – и внешние. При этом возникновение этих рисков зачастую обусловлено нежеланием участников строительной деятельности соблюдать регламентные процедуры, нормативные и проектные требования. Однако все еще остается недостаточной проработка учета стохастических рисков и их влияния на строительную систему. При этом учет внешних стохастических факторов позволит значительно обезопасить как инвесторов и заказчиков строительства, так и подрядчиков и конечных пользователей объектов.

№ 12. – С. 276–281.

8. Green, S. D. Narratives of Project Risk Management: From Scientific Rationality to the Discursive Nature of Identity Work / S. D. Green, I. Dikmen // Project Management Journal. – 2022. – N 53 (6). – P. 608–624. – URL: <https://doi.org/10.1177/87569728221124496>.
9. Financial risk management in the construction projects / A. Shibani, D. Hasan, J. Saaifan, H. N. Sabboubeh, M. Eltaip, M. Saidani, N. Gherbal // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. – 2022, may. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2022.05.001>.
10. Using cased based reasoning for automated safety risk management in construction industry / Y. Lu, L. Yin, Y. Deng, G. Wu, Ch. Li // Safety Science. – 2023. – Vol. 163. – P. 106113. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106113>.
11. Von Ahsen, A. Sustainability Failure Mode and Effects Analysis – A systematic literature review / A. von Ahsen, L. Petruschke, N. Frick // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 363 (9). – P. 132413. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132413>.
12. Ruijters, E. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools / E. Ruijters, M. Stoelinga // Computer Science Review. – 2015. – Vol. 15–16. – P. 29–62. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2015.03.001>.

dential buildings : diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.02.22] / Safaryan Gevorg Borisovich; MGSU. – Moscow, 2019. – 162 p.

3. Dubovkina, A. V. Informatsionnoe modelirovanie proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov v stroitel'stve s ispol'zovaniem instrumentariya upravleniya riskami : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.22 [Information modeling of production and logistics processes in the construction using risk management tools : abstract of the dissertation ...Candidate

of Technical Sciences : 05.02.22] / Dubovkina Alla Viktorovna; MGSU. – Moscow, 2015. – 23 p.

4. Gusakov, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadyozhnost' stroitel'stva [Organizational and technological reliability of construction] / A. A. Gusakov, S. A. Veremeenko, A. V. Ginzburg etc. – Moscow : SvR-Argus, 1994. – 472 p.
5. Stroitel'nye riski i vozmozhnosti ikh minimizatsii [Construction risks and the possibilities of their minimization] / S. N. Bogachev, A. A. Shkolnikov, R. E. Rosenthal, N. A. Klimova // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]. – 2015. – № 1. – P. 88–92.
6. Prosvetov, G. I. Upravlenie riskami. Zadachi i resheniya [Risk management. Tasks and solutions] / G. I. Prosvetov. – Moscow : Alfa-Press, 2008. – 416 p.
7. Skiba, A. A. Analiz riska v investitsionno-stroitel'nom proekte [Risk analysis in an investment and construction project] / A. A. Skiba, A. V. Ginzburg // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – № 12. – P. 276–281.
8. Green, S. D. Narratives of Project Risk Management: From Scientific Rationality to the Discursive Nature of Identity Work / S. D. Green, I. Dikmen // Project Management Jour-

УДК 658.5:69.009

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_89

Проблемы управления проектированием объектов тепловой энергетики

Problems of Managing the Design of Thermal Power Facilities

Воронков Иван Евгеньевич

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

Voronkov Ivan Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State Civil Engineering University (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, VoronkovIE@mgsu.ru

Кожевников Дмитрий Георгиевич

Кандидат технических наук, генеральный директор Инжиниринговой компании «КВАДРО ПРОЕКТ», Россия, 109316, Москва, Волгоградский проспект, 45, строение 1, KozhevnikovDG@kvadroproekt.ru

Kozhevnikov Dmitry Georgievich

Candidate of Technical Sciences, General Director of the Engineering company «QUADRO PROJECT», Russia, 109316, Moscow, Volgogradsky prospect, 45-1, KozhevnikovDG@kvadroproekt.ru

Островский Роман Вадимович

Ведущий специалист Управления мониторинга и контроля сроков АО «Атомстройэкспорт» (АО АСЭ), Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 2, строение 1, chkp@rambler.ru

Ostrovskii Roman Vadimovich

Leading specialist of the Monitoring and Timing Control Department, Atomstroyexport, JSC (ASE JSC), Russia, 129337, Moscow, Dmitrovskoe shosse, 2-1, chkp@rambler.ru

Гамов Богдан Андреевич

Эксперт отдела строительного-монтажных работ, филиал АО «Атомстройэкспорт» в Народной Республике Бангладеш, 6622, Бангладеш, Пабна, Пакши, Gamov.com@yandex.ru

Gamov Bogdan Andreevich

Expert of Civil Department, Branch office in the Peoples Republic of Bangladesh, JSC ASE, People's Republic of Bangladesh, Pabna, Pakshi, Gamov.com@yandex.ru

Аннотация. Реализация инвестиционно-строительных проектов в области энергетики является сложным и капиталоемким процессом, участниками которого выступают крупные проектные, строительные и монтажные организации. Находясь на ранней стадии жизненного цикла объекта строительства, процесс проектирования принципиальным образом влияет на

качество, стоимость и скорость реализации проекта. Принятые технические, объемно-планировочные и конструктивные решения закладывают основу будущего строительного объекта, что предопределяет высокую значимость обоснованного, качественного и своевременного выполнения проектных работ.

9. Financial risk management in the construction projects / A. Shibani, D. Hasan, J. Saaifan, H. N. Sabboubeh, M. Eltaip, M. Saidani, N. Gherbal // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. – 2022, may. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2022.05.001>.
10. Using cased based reasoning for automated safety risk management in construction industry / Y. Lu, L. Yin, Y. Deng, G. Wu, Ch. Li // Safety Science. – 2023. – Vol. 163. – P. 106113. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106113>.
11. Von Ahsen, A. Sustainability Failure Mode and Effects Analysis – A systematic literature review / A. von Ahsen, L. Petruschke, N. Frick // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 363 (9). – P. 132413. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132413>.
12. Ruijters, E. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools / E. Ruijters, M. Stoelinga // Computer Science Review. – 2015. – Vol. 15–16. – P. 29–62. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2015.03.001>.

цессов разработки Институтом «Теплоэлектропроект» проектной продукции на предпроектной, проектной, рабочей стадиях, прохождения государственной экспертизы, а также взаимодействия исполнителей со структурами заказчика и генерального подрядчика. По результатам анализа выявлены проблемные аспекты процесса проектирования объектов энергетики, которые были классифицированы и отнесены к одной из четырех групп: организационной, управленческой, технологической и операционной.

Выявление конкретных проблемных аспектов проектирования в энергетическом строительстве открывает возможности для предметного изучения потенциала, способов и средств со-

Abstract. The implementation of investment and construction projects in the field of energy is a complex and capital-intensive process involving large design, construction and installation organizations. Being at the early stage of the life cycle of a construction project, the design process fundamentally affects the quality, cost and speed of project implementation. The accepted technical, space-planning and constructive decisions lay the foundation of the future building object that predetermines a high importance of reasonable, qualitative and timely performance of design works. Within the framework of the research, the authors analyzed the processes of development of design products by Institut Teploelektroproyekt JSC at the pre-project, design, working stage, passing state expertise, as well as interaction of contractors with the customer and general contractor structures. According to the results of the analysis the problem aspects of the energy facilities

Введение

По итогам 2020–2022 гг. доля строительства в совокупном ежегодном ВВП РФ составила более 5 %, при этом единичная стоимость наиболее масштабных инвестиционно-строительных проектов (ИСП) в строительстве за последние десять лет могла составлять до нескольких триллионов рублей, а сроки реализации – достигать десяти лет (стоимость реализации в 2012–2022 гг. проекта «Ямал СПГ» составила порядка 2 трлн руб.).

Подобное положение строительной отрасли обуславливает высокую значимость, теоретическую и практическую целесообразность разработки передовых научно-обоснованных принципов организации и управления техническими и социальными системами на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) строительного объекта.

Выполнение проектных работ является неотъемлемой частью строительства и в значительной степени предопределяет стоимость, трудоемкость, материалоемкость, продолжительность, а также организационно-техническую сложность производства строительно-монтажных работ.

Проектные работы занимают один из начальных этапов ЖЦ строительного объекта, чем обуславливают свою стратегическую важность для задач успешной реализации ИСП в целом [1].

Составляя сравнительно небольшую долю в общей стоимости ИСП, проектные работы формируют теоретическую модель будущего объекта, определяют характеристики его качества, надежности, стоимости, таким образом, можно утверждать, что совершенствование системы управления проектными работами позволит, помимо всего прочего, обеспечить на ранней стадии реализации проектов повышение качества и прогнозируемости сроков реализации ИСП в целом, снижение их материалоемкости, трудоемкости, а также рост технико-экономических и эксплуатационных характеристик объектов строительства.

вершенствования процессов разработки проектной продукции в строительстве с использованием современных управленческих, организационно-технических, математических, аналитических, информационных инструментов, а также позволяет перейти к поиску системного решения проблемных аспектов отдельной области или совокупности областей, одним из которых может являться выбор, проектирование, реализация или трансформация организационных структур нового типа.

Ключевые слова: управление проектированием, проблемы управления проектированием, проектирование в энергетике, инвестиционно-строительный проект, энергетическое строительство.

design process were identified, which were classified and referred to one of four groups: organizational, managerial, technological and operational.

Identification of specific problematic aspects of design in energy construction opens up opportunities for substantive study of the potential, ways and means of improving the processes of development of design products in construction using modern management, organizational and technical, mathematical, analytical, information tools, and also allows you to go to the search for a system solution to the problem aspects of a separate area or set of areas, one of which may be the choice, designed.

Keywords: design management, design management problems, design in the energy sector, investment and construction project, energy construction.

Материалы и методы

На протяжении последних лет взгляд исследователей в области технологии, организации и управления процессами в строительном проектировании прикован к изучению вопросов их автоматизации, цифровизации и информатизации. Освоение в последние годы технологий информационного моделирования (ТИМ) [2] дает широкую практическую базу для верификации выработанных ранее теоретических положений и практических инструментов, а также детального изучения отдельных аспектов дальнейшего совершенствования ТИМ, однако информационное моделирование является не единственным, пусть и весьма значимым, направлением, теоретические и прикладные исследования в области которого могут принципиальным образом повлиять на существующий технологический и организационный уровень развития процессов производства проектной продукции в строительстве.

По мнению ряда отечественных ученых, наибольший интерес в области проектной и проектно-технической деятельности в настоящее время представляют вопросы использования облачных технологий [3], цифровизации процессов подготовки и согласования исполнительной документации [4], изменения методологий управления проектами путем внедрения гибкого управления проектами (Agile) [5], внедрения адаптивной системы управления [6]. Однако, как можно заметить, для представленных направлений характерна направленность от «инструмента к результату». Другим словами, большинство современных исследовательских работ посвящены решению задач приложения апробированных управленческих, организационно-технических, математических, аналитических, информационных и прочих инструментов смежных областей к решению актуальных практических задач проектных и строительных компаний.

Данный подход не может считаться универсальным и может быть дополнен альтернативным взглядом на

Тип проекта	Проект	Стадия проектирования		
		Предпроектная документация	Проектная документация	Рабочая документация
Новое строительство	Амурская ТЭС (1-я очередь)	Нет	Нет	Да
	Артемовская ТЭЦ-2	Нет	Да	Да
	Котельная Балтийского ГХК	Нет	Да	Да
	Новочеркасская ГРЭС	Да	Да	Да
	Якутская ГРЭС-2 (2-я очередь)	Нет	Да	Да
	Норильская ТЭЦ-3	Да	Да	Нет
	Переходный пункт 500 кВ Агорта	Да	Да	Нет
Модернизация / реконструкция / техническое перевооружение	Киришская ГРЭС	Нет	Да	Да
	Нижекамская ТЭЦ	Нет	Да	Да
	Сургутская ГРЭС-1	Нет	Да	Да

Табл. 1. Исследуемые объекты и стадии проектирования АО «Институт Теплоэлектропроект»
Tab. 1. Investigated objects and stages of design of Institut Teploelektroproyekt JSC

процесс поиска средств и механизмов повышения организационно-технической надежности (ОТН) [7], организационно-технологического потенциала [8], а также экономической и профессиональной состоятельности проектных организаций строительной отрасли. В рамках данного исследования авторами предлагается сместить фокус с инструментов преобразования на выявление, декомпозицию и анализ конкретных проблем, решение которых в наибольшей степени позволит повысить экономическую и техническую состоятельность организаций-проектировщиков как участников инвестиционно-строительных проектов [9].

Другими словами, предлагается дедуктивно выявить отдельные проблемные аспекты в области строительного проектирования, классифицировать и сгруппировать их, а затем индуктивно сформировать предложения по разработке и внедрению инструментов и институтов (правил), направленных на комплексное решение выявленных проблемных аспектов.

Предметной областью данного исследования была определена деятельность проектных организаций энергетического профиля. В связи с этим в 2020–2023 годах проводился детальный анализ проектной организации, задачами которого являлись выявление, декомпозиция и группировка проблем, с которыми сталкиваются организации, основным видом деятельности которых является производство проектной продукции в области энергетического строительства.

В качестве организации-объекта исследования был выбран АО «Институт Теплоэлектропроект» (ТЭП), основанный в 1918 г. В настоящее время ТЭП является одним из ведущих проектных институтов энергетического профиля в России, обладающим фундаментальным кадровым и техническим потенциалом. «По разработкам института построены почти все тепловые и многие атомные электростанции, расположенные на территории России и стран СНГ» [10].

В рамках исследования выполнялся анализ процессов получения исходных данных, проектирования, прохождения экспертизы проектных решений, а также взаимодействия на каждой из представленных стадий исполнителей со структурами заказчика и генерального подрядчика (при наличии). Изучению подвергались работы, выполняемые с 2020 по 2023 годы по проектам, предусматривающим как новое строительство объектов тепловой генерации и электросетевого хозяйства, так и модернизацию, реконструкцию, техническое перевооружение аналогич-

ных объектов. Полный перечень объектов с указанием стадии проектирования представлен в таблице 1.

Общий объем проектных работ по представленным проектам в исследуемом интервале времени (38 месяцев) составил около 7254 чел.*мес. С учетом затрат времени на деятельность, не относящуюся к выполнению проектных работ по какому-либо проекту (ежегодные отпуска, больничные, руководство подразделениями, обучение, общепроизводственные совещания и др.), составивших по статистике за этот период 21,5 % от общего фонда рабочего времени, выполнение проектных работ потребовало вовлечения в процесс проектирования вышеперечисленных объектов усредненного количества сотрудников производственных отделов в размере 243 человек.

Таким образом, можно утверждать, что исследованием был охвачен достаточный объем выполняемых проектных работ, стадийность выполняемых работ включала в себя факт выполнения работ по всем трем стадиям: предпроектной, проектной, рабочей, – а вовлеченность основного производственного персонала учреждения в проектную деятельность по выбранным объемам составляла более 85 %.

Результаты

Проведенный анализ процессов выполнения проектных работ АО «Институт Теплоэлектропроект» позволил выявить совокупность проблемных аспектов, принципиальным образом повлиявших на качество, скорость, своевременность и себестоимость выполнения проектной продукции. В зависимости от характера аспекта, он был отнесен к одной из четырех областей: управленческой, организационной, технологической и операционной. Классификация проблемных аспектов в строительном проектировании энергетических объектов на основании анализа деятельности АО «Институт Теплоэлектропроект» в 2020–2023 гг. представлена в таблице 2.

Обсуждение

Выполненный анализ процесса и результатов производства ТЭП проектной продукции позволил выявить локальные проблемные аспекты, решение каждого из которых должно рассматриваться, с одной стороны, как самостоятельная исследовательская и практическая задача, а с другой – как составная часть теоретической работы по проектированию системы мероприятий, направленных на решение целой проблемной области или совокупности нескольких областей.

Любой из разрабатываемых в настоящее время инструментов развития проектной деятельности строитель-

ключевых участников ИСП на предмет выявления формальных и неформальных правил функционирования проектных организаций строительного профиля, следование которым может принципиальным образом повлиять как на технологическую и экономическую состоятельность отдельной организации, так и на успешность реализации ИСП в целом.

2. Изучение фундаментальных закономерностей функционирования проектных строительных организаций как участников инвестиционно-строительных проектов на отдельных этапах их жизненного цикла, обусловленных выбором, проектированием, реализацией и трансформацией организационных структур нового типа.
3. Институциональный анализ среды взаимодействия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voronkov, I. E. Evaluation and improvement of the reliability of organizational structures of ICP by the method of hierarchy analysis / I. E. Voronkov. – DOI 10.1088/1757-899X/365/6/062035 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 365, Iss. 6. – P.062035.

2. Макиша, Е. В. Подготовка файлов информационных моделей для передачи в программы выявления коллизий / Е. В. Макиша, К. С. Семенова. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_7 // Строительное производство. – 2022. – № 4. – С. 73–80.

3. Вилисова, А. Д. Совершенствование управления строительным проектированием на базе облачных технологий в условиях цифровизации экономики / А. Д. Вилисова. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9 // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3 (37). – С. 5–9.

4. Цопа, Н. В. О совершенствовании исполнительной документации в условиях цифровизации строительной отрасли / Н. В. Цопа, А. С. Карпушкин, А. К. Авакян. – DOI 10.37279/2519-4453-2021-2-98-109 // Экономика строительства и природопользования. – 2021. – № 2 (79). – С. 98–109.

5. Ильина, О. Н. Управление проектами с использованием технологий информационного моделирования (BIM) при проектировании, строительстве и эксплуатации промышленных объектов / О. Н. Ильина // Недвижимость: экономика, управление. – 2017. – № 2. – С. 72–75.

REFERENCES

1. Voronkov, I. E. Evaluation and improvement of the reliability of organizational structures of ICP by the method of hierarchy analysis / I. E. Voronkov. – DOI 10.1088/1757-899X/365/6/062035 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 365, Iss. 6. – P.062035.

2. Makisha, E. V. Podgotovka fajlov informatsionnykh modelej dlya peredachi v programmy vyyavleniya kollizij [Preparation of information model files for transmission to collision detection programs] / E. V. Makisha, K. S. Semenova. – DOI 10.54950/26585340_2022_4_7 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4. – P. 73–80.

3. Vilisova, A. D. Sovershenstvovanie upravleniya stroitel'nykh proektirovaniem na baze oblachnykh tekhnologij v usloviyakh tsifrovizatsii ehkonomiki [Improving the management of construction design based on cloud technologies in the conditions of digitalization of the economy] / A. D. Vilisova. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9 // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. – 2021. – № 3 (37). – P. 5–9.

4. Tsopa, N. V. O sovershenstvovanii ispolnitel'noy dokumentatsii v usloviyakh tsifrovizatsii stroitel'noy otrasli [On improving executive documentation in the conditions of digitalization of the construction industry] / N. V. Tsopa, A. S. Karpushkin, A. K. Avakian. – DOI 10.37279/2519-4453-2021-2-98-109 // Ehkonomika stroitel'stva i prirodogopol'zovaniya [Economics of construction and environmental management]. – 2021. – № 2 (79). – P. 98–109.

5. Ilyina, O. N. Upravlenie projektami s ispol'zovaniem tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya (BIM) pri proektirovanii, stroitel'stve i ehkspluatatsii promyshlennykh ob'ektov [Project management using information modeling technologies

(BIM) in the design, construction and operation of industrial facilities] / O. N. Ilyina // Nedvizhimost': ehkonomika, upravlenie [Real estate: economics, management]. – 2017. – № 2. – P. 72–75.

6. Sozдание adaptivnoy modeli upravleniya stroitel'nykh proektirovaniem [Creation of an adaptive model of construction design management] / L. B. Zelentsov, D. V. Pirko, I. G. Triputa, M. S. Shogenov, N. G. Hakobyan. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_100 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 1. – P. 100–103.

7. Bolotova, A. S. Formirovanie modeli bazy dannykh dlya povysheniya organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti monolitnogo stroitel'stva [Formation of a database model to improve the organizational and technological reliability of monolithic construction] / A. S. Bolotova. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.9.1061-1069 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2017. – Vol. 12, № 9 (108). – P. 1061–1069.

8. Lapidus, A. A. Organizational and technologic potential of setting of enclosing structures for residential buildings / A. A. Lapidus, P. A. Govorukha // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – P. 40946–40949.

9. Voronkov, I. Integrated project program management in the nuclear-power engineering as a driver for the interindustrial development of export-based contractors of the Russian Federation / I. Voronkov, C. Muñoz. – DOI 10.1088/1757-899X/869/6/062026 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869, № 6. – P. 062026.

10. Institut «Teploehlektroproekt» na rubezhe svoego 100-letiya [Institute «Teploehlektroproekt» on the verge of its 100th anniversary] / I. S. Zagretidinov, V. V. Kuchеров, Y. V. Zakharov, I. I. Shabanov // Energetik [Energetik]. – 2018. – № 11. – P. 46–48.

Проблемная область	Проблемный аспект
УПРАВЛЕНЧЕСКАЯ	Управление ценообразованием в рассматриваемой области проектирования
	Разработка документов стратегического планирования проектной организации в контексте текущих и перспективных проектов
	Маркетинг и поиск перспективных проектов
	Прогнозирование трудоемкости, длительности и стоимости проектных работ (формирование бюджета) по перспективным проектам до заключения договора на проектирование
	Разработка и согласование механизмов и инструментов управления проектом по линии заказчик – инжиниринговая компания (при наличии) – проектная организация
	Управление качеством и скоростью выполнения проектных работ
	Управление структурой проектных работ в части общепроизводственных, общепроектных работ, выполнения проектных работ нулевых и ненулевых ревизий
	Управление вознаграждением исполнителей
ОРГАНИЗАЦИОННАЯ	Формирование и системное преобразование организационной структуры проектной организации
	Поддержание пропорциональности штатного расписания проектной организации в контексте деления на производственный и непроизводственный персонал
	Кадровое обеспечение проектной организации, а также адаптационное сопровождение персонала
	Выбор и реализация формата осуществления производственной деятельности (рабочий офис, удаленный офис, гибридные форматы)
	Совершенствование и внедрение передовых разработок в области технического нормирования проектной деятельности
	Внедрение и реализация инструментов календарно-сетевого и производственного планирования
	Организация процессов согласования принимаемых решений и сопровождения экспертизы проекта
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ	Создание и обеспечение функционирования механизмов трансферта технологий и передового опыта в предметной области
	Внедрение передовых методов и способов осуществления проектной деятельности
	Обеспечение современным и информационно безопасным программным обеспечением, высокопроизводительным оборудованием
	Оценка и повышение квалификации персонала
ОПЕРАЦИОННАЯ	Совершенствование инструментов и сред взаимодействия исполнителей
	Мониторинг качества, скорости, достаточности выполнения производственных задач
	Учет, агрегирование и анализ детальных и интегрированных показателей выполнения производственных задач
	Контроль производственной дисциплины исполнителей

Табл. 2. Классификация проблемных аспектов в строительном проектировании энергетических объектов на основании анализа деятельности АО «Институт Теплоэлектропроект» в 2020–2023 гг.

Tab. 2. Classification of problematic aspects in the construction design of energy facilities based on the analysis of Institut Teploelektroproyekt JSC activities in 2020–2023

ных компаний может быть наложен на сформированный перечень проблемных аспектов и проанализирован на предмет широты и качества влияния на тот или иной аспект и проблемную область. Это позволит, с одной стороны, оценить потенциальный функционал инструмента в части изменения качества и скорости производственной деятельности, а с другой стороны, оценить риски внедрения данного инструмента и сформировать систему поддерживающих факторов.

Также можно отметить, что сформированная классификация проблемных аспектов формирует поле исследования, в рамках которого приоритет должен отдаваться поиску инструментов и институтов, направленных не на решение отдельных задач в их отрыве от всей совокупности управленческих, организационных, технологических и операционных проблем, а на совокупность проблемных областей. При этом необходимая ширина охвата проектируемого инструмента неизбежно повлечет теоретическое усложнение процесса поиска и проектирования инструмента или института развития, а с другой стороны, позволит сформировать более обоснованные и комплексные предложения, внедрение которых в деятельность проектных организаций строительного профиля позволит достичь положительного эффекта одновременно на микроуровне (уровень отдельной проектной организации),

мезоуровне (уровне крупного ИСП с большим количеством участников) и макроуровне (на уровне отрасли).

Заклучение

Выполненная идентификация и классификация проблем, выявленных при проектировании объектов энергетики и электросетевого хозяйства в рамках деятельности АО «Институт Теплоэлектропроект», позволяет охарактеризовать и детализировать текущее состояние предметной области, что, в свою очередь, дает основание осуществить переход от теоретического сопряжения идей управленческого, организационного, технологического совершенствования проектной деятельности в строительстве к взаимоувязанному рассмотрению отдельных проблемных аспектов и актуальных для их решения инструментов и институтов.

По мнению авторов, приоритетным направлением дальнейших исследований являются:

1. Многовариантная и комплексная проработка способов и механизмов приложения апробированных управленческих, организационно-технических, математических, аналитических, информационных инструментов к решению выявленных проблемных аспектов деятельности проектных строительных организаций энергетического профиля.

УДК 658.2

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_94

Оценка уровня кадрового потенциала строительных предприятий и его использование в повышении эффективности строительного производства

Assessment of the Level of Personnel Potential of Construction Enterprises and Its Use in Improving the Efficiency of Construction Production

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 «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

Шепелев Александр Львович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и строительного производства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», Россия, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17, a.shepelev@narfu.ru

Shepelev Aleksandr Lvovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Automobile Roads and Construction Production», Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Russia, 163002, Arkhangelsk, naberezhnaya Severnoj Dviny, 17, a.shepelev@narfu.ru

Швец Наталья Сергеевна

Аспирант кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129377 Москва, Ярославское шоссе, 26, lam@nsergeevna.ru

Shvets Natalia Sergeevna

Postgraduate student of the Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, lam@nsergeevna.ru

Аннотация. Целью данной статьи является определение подходов к оценке кадрового потенциала строительных предприятий. Были исследованы теоретические аспекты подходов к определению кадрового потенциала, в том числе в строительной отрасли. Дано определение цикла производственного пути работника – как процессной модели, состоящей из ключевых событий, которые проходит каждый человек, получивший статус работника строительного предприятия, с особым вниманием к вопросам входного контроля профессиональной квалификации и подготовки персонала для работы на зарубежных площадках, получения смежных профессий и потенциальных ротаций. Определены ключевые аспекты и индикаторы интегрального показателя кадрового потенциала, включающие в себя квалификационный, личностный, психофизиологический,

Abstract. The purpose of this article is to determine approaches to assessing the human resources potential of construction enterprises. Theoretical aspects of approaches to the definition of human resources, including in the construction industry, were investigated. The definition of the cycle of an employee's production path is given – as a process model, consisting of key events that each person who has received the status of an employee of a construction company passes through, with special attention to the issues of entrance control of professional qualifications and training of personnel to work at foreign sites, obtaining related professions and potential rotations. The key aspects and indicators of the integral indicator of personnel potential are identified, including qualification, personal, psychophysiological, social,

социальный, мультикультурный, мотивационный, кадровый, управленческий аспекты, а также аспекты обеспечения безопасности, стажа и возраста работников, затрат на персонал, показателей безопасности и экономических критериев эффективности с определением удельного веса для каждого индикатора. Сформирован механизм определения уровня эффективности, с оценкой фактического и оптимального кадрового потенциала, позволяющий оценить его уровень в динамике времени. Были сделаны выводы о возможности адаптации и применения предложенного подхода к оценке кадрового потенциала на предприятиях различных производственных отраслей.

Ключевые слова: кадровый потенциал, профессиональная квалификация, конкурентоспособность, входной контроль квалификации, АЭС, мультинациональные коллективы.

multicultural, motivational, personnel, managerial aspects, as well as aspects of ensuring safety, length of service and age of employees, personnel costs, safety indicators and economic performance criteria with the determination of the specific weight for each indicator. A mechanism has been formed to determine the level of efficiency, with an assessment of the actual and optimal personnel potential, which allows to assess its level in the dynamics of time. Conclusions were drawn about the possibility of adapting and applying the proposed approach to the assessment of human resources at enterprises of various industrial sectors.

Keywords: personnel potential, professional qualifications, competitiveness, entrance qualification control, NPP, multinational team.

Введение

Развитие атомной энергетики в самых разных регионах мира, постоянный рост количества сооружаемых атомных электростанций, возрастающие требования к качеству строительства и обеспечению безопасности объектов ставят на повестку дня вопросы совершенствования методов определения и использования кадрового потенциала строительных организаций.

Контракты на строительство объектов атомной энергетики за рубежом содержат условия по привлечению местного населения к сооружению объекта – в объеме порядка 60–70 % всего персонала, осуществляющего работы на площадке. Самая многочисленная категория – строительномонтажный персонал, за период строительства станции его численность достигает нескольких десятков тысяч человек.

Для компаний, занимающихся строительством АЭС, данные требования означают необходимость в предельно сжатые сроки выработать механизмы оценки и эффективности использования кадрового потенциала как одного из ключевых факторов повышения конкурентоспособности, при этом обеспечив необходимый уровень производственной культуры, отличающий объекты атомного строительства, с фокусом внимания на обеспечение безопасности на всех этапах жизненного цикла – как безусловного приоритета при формировании стратегии конкурентоспособности. В атомной отрасли сформирован и применяется соответствующий производственной культуре термин «культура безопасности», определение которому дано в НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций», а именно под культурой безопасности понимается набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что вопросам обеспечения безопасности АЭС, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [1].

В последние годы Росатом активно реализует политику устойчивого развития, разделяя принципы социальной ответственности и способствуя развитию экономики и инфраструктуры стран присутствия, обеспечивая устойчивую и долгосрочную загрузку высокотехнологичных производств. При этом Госкорпорация «Росатом» обладает самым большим в мире одновременно реализуемым портфелем заказов на строительство АЭС на зарубежных площадках. Удержание текущих объемов сооружения и расширение доли рынка сооружения АЭС с учетом гарантии качественной и безопасной, безаварийной работы вызывает необходимость оценки кадрового потенциала для целей повышения конкурентоспособности строительных предприятий Корпорации.

Материалы и методы

Определения термина «кадровый потенциал» даны в большом количестве исследований авторов-ученых и практиков, таких как О. Р. Скороходова [2], А. А. Кузьмина и С. А. Орехов [3], К. Г. Кречетников [4] и др.

Вместе с ними Г. А. Швидкая дает определение кадровому потенциалу предприятия – как общей (количественной и качественной) характеристике персонала как одного из видов ресурсов, связанной с выполнением возложенных на него функций и достижением целей перспективного развития предприятия; это имеющиеся и потенциальные возможности работников как целостной системы (коллектива), которые используются и могут быть использованы в определенный момент времени [5].

Коллектив авторов под руководством М. А. Назаренко под кадровым потенциалом подразумевает совокупность способностей или возможностей персонала, которые ис-

пользуются в трудовой деятельности для достижения поставленных целей [6].

В. Я. Афанасьев, Н. В. Воронцов, О. В. Байкова обобщают и укрупняют в своем исследовании некоторые ранее предложенные в исследованиях формулировки и предлагают для кадрового потенциала организации следующее определение: общая (количественная и качественная) характеристика персонала, соответствующая организационно-техническим условиям деятельности и связанная с выполнением должностных обязанностей для достижения целей функционирования и развития. С одной стороны, кадровый потенциал представляет собой один из важнейших ресурсов организации, а с другой – непосредственную часть ее экономического потенциала [7].

Авторы З. И. Иванова, Л. В. Власенко, В. Л. Воробьева [8] рассматривают кадровый потенциал в строительной отрасли с точки зрения определения потребности отрасли в представителях тех или иных строительных профессий, а также требуемых компетенций у будущих выпускников профильных учебных заведений.

А. М. Букринский, в свою очередь, рассматривает роль кадрового потенциала в управлении безопасностью АЭС через призму организационного и административного управления с необходимостью поддержания культуры безопасности, формирующей позицию людей и организации в целом в отношении безопасности таким образом, чтобы обеспечение безопасности АЭС являлось приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность [9].

Как видно из приведенных примеров, понятие «кадрового потенциала предприятия» является отражением неустановившегося представления о сущности данного явления. Авторы данной статьи понимают кадровый потенциал предприятия как сумму неиспользованных воз-

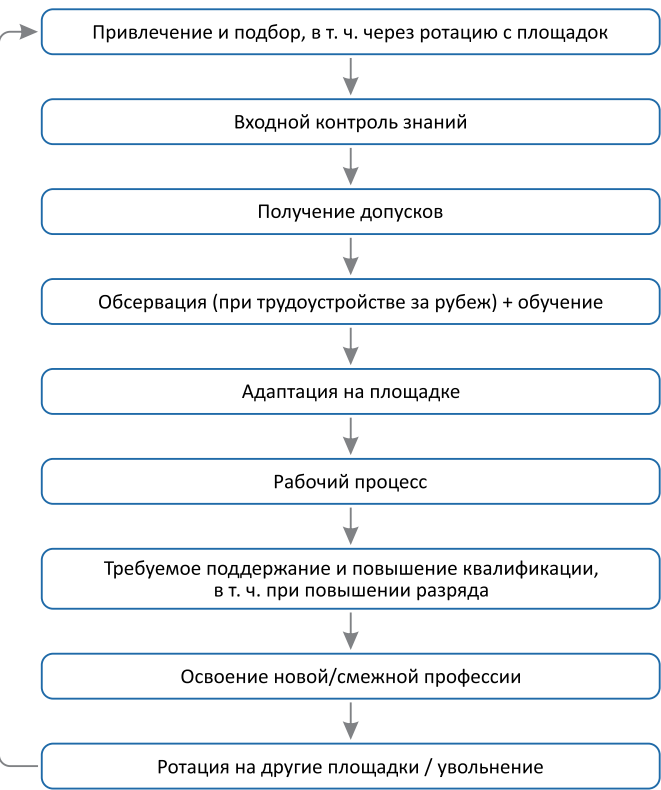


Рис. 1. Цикл производственного пути работника строительного предприятия атомной отрасли

Fig. 1. The cycle of the production path of an employee of a construction company in the nuclear industry

№	Наименование элементов	Ед. измерения	Уд. вес
Качественные аспекты			
Квалификационные			
1	Уровень образования (Уо): руководителей и ИТР, рабочих	Уровень по шкале	0,5
2	Уровень профессиональных трудовых навыков (Уптн)	Уровень по шкале	0,3
3	Профессиональная инновационность (Пи)	Ед.	0,2
Обеспечение безопасности и повышение уровня зрелости культуры безопасности			
4	Повышение уровня зрелости культуры безопасности относительно результатов предыдущей независимой оценки/самооценки (Кб)	Уровень по шкале	0,6
5	Результаты реализации ИПР по итогам экзаменов по требованиям безопасности (ИПРб)	Да/Нет	0,4
Личностные			
6	Дисциплинированность (Дисц)	Ед.	0,25
7	Отождествление с ценностями компании (Ценн)	Уровень по шкале	0,35
8	Приверженность здоровому образу жизни (ЗОЖ)	Уровень по шкале	0,4
Социальные			
9	Семейное положение (СП)	Да/Нет	0,2
10	Наличие детей (НД)	Да/Нет	0,2
11	Релевантный опыт работы в промышленном строительстве (РО)	Да/Нет	0,25
12	Уровень владения родным языком (для локального персонала) (Увлад)	Уровень по шкале	0,35
Психофизиологические			
13	Оценка состояния здоровья (Сздор)	Уровень по шкале	0,5
14	Освоение профессии по итогам обучения с 1 раза (Проф)	Да/Нет	0,2
15	Получение смежной профессии (Смпроф)	Да/Нет	0,1
16	Перевыполнение плановых показателей (работоспособность) (Работ)	Уровень по шкале	0,2
Мультикультурные			
17	Результаты прохождения подготовки ИТР по межкультурным коммуникациям (Межкульт)	Уровень по шкале	0,4
18	Охват ИТР знанием английского языка на уровне не ниже Intermediate (Англ)	%	0,6
Мотивационные			
19	Работники занимали призовое место в производственном соревновании «Лучшая бригада» (Лбриг)	Уровень по шкале	0,4
20	Оценка результата опроса вовлеченности и удовлетворенности персонала (Вовл)	Уровень по шкале	0,3
21	Оценка влияния нематериальной мотивации на результаты работы (Нематм)	Уровень по шкале	0,3
Управленческие			
22	Оценка стилистики управления в коллективах (Оцстил)	Уровень по шкале	0,6
23	Степень развития управленческих навыков ИТР (ИПРупр)	Уровень по шкале	0,4
Количественные аспекты			
Кадровые показатели работы с персоналом			
24	Укомплектованность (по видам работ и по категориям) (Ук)	%	0,3
25	Текучесть в первые 3 месяца (Тек)	%	0,3
26	Средний квалификационный разряд (Срр)	Уровень по шкале	0,15
27	Доля работников, подтверждающих заявленный разряд по итогам входного контроля при приеме (Подтвр)	%	0,25
Стаж работы в компании и возрастной состав			
28	Доля сотрудников, работающих в компании более 3 лет (Сотр3+)	%	0,4
29	Доля сотрудников, продолжающих работу в компании на 2 проектах и более (Сотр2+)	%	0,3
30	Средний возраст руководителей (СрвозРУК)	Уровень по шкале	0,15
31	Средний возраст СМП (СрвозСМП)	Уровень по шкале	0,15
Затраты на персонал			
32	Доля расходов на обучение и развитие от ФОТ (Обуч)	%	0,5
33	Доля расходов на СИЗ для работников (СИЗ)	%	0,5
Показатели безопасности			
34	LTIFR и снижение тяжести травматизма на объектах предприятий, включая подрядчиков (LTIFR)	Ед.	0,25
35	Количество несчастных случаев за период (НС), в т. ч.: – смертельные, – тяжелые, – средней тяжести	Ед.	0,25
36	Количество ППУ, поданных работниками за отчетный период в области улучшений для безопасности / среднесписочная численность (ППУ)	Ед.	0,1
37	Доля сотрудников, не имеющих просроченных удостоверений и допусков (Удост)	%	0,1
38	Доля руководителей (ГД и ГД-1, -2), успешно прошедших проверку знаний в области безопасности, от общего количества руководителей данной категории (ГД)	%	0,15
39	Доля сотрудников, прошедших обучение по культуре безопасности, от общего количества работников (Кб)	%	0,15
Экономические			
40	Выработка в расчете на 1 сотрудника (Выр)	Тыс. руб.	0,5
41	ФОТ в расчете на 1 сотрудника (ФОТ)	Тыс. руб.	0,25
42	Среднемесячная заработная плата на 1 сотрудника (Срзп)	Тыс. руб.	0,25

Табл. 1. Ключевые аспекты и индикаторы интегрального показателя кадрового потенциала строительного предприятия атомной отрасли

Tab. 1. Key aspects and indicators of the integral indicator of the human resources potential of a construction company in the nuclear industry

№	Индикаторы, оказывающие влияние на эффективность кадрового потенциала	Подход к расчету
1	Квалификационные (Кв)	$Kв = (Уо*0,5) + (Уптн*0,3) + (Пи*0,2)$
2	Обеспечение безопасности и повышение уровня зрелости культуры безопасности (Об)	$Об = (Кб*0,6) + (ИПРб*0,4)$
3	Личностные (Лич)	$Лич = (Дисц*0,25) + (Ценн*0,35) + (ЗОЖ*0,4)$
4	Социальные (Соц)	$Соц = (СП*0,2) + (НД*0,2) + (РО*0,25) + (Увлад*0,35)$
5	Психофизиологические (Пс)	$Пс = (Сздор*0,5) + (Проф*0,2) + (Смпроф *0,1) + (Работ *0,2)$
6	Мультикультурные(Мульт)	$Мульт = (Межкульт*0,4) + (Англ*0,6)$
7	Мотивационные (Мотив)	$Мотив = (Лбриг*0,4) + (Вовл*0,3) + (Нематм*0,3)$
8	Управленческие (Упр)	$Упр = (Оцстил*0,6) + (ИПРупр*0,4)$
9	Кадровые показатели работы с персоналом (Кадр)	$Кадр = (Ук*0,3) + (Тек*0,3) + (Срр*0,15) + (Подтвр*0,25)$
10	Стаж работы в компании и возрастной состав (Сраб)	$Сраб = (Сотр3+*0,4) + (Сотр2+*0,3) + (СрвозРУК*0,15) + (СрвозСМП*0,15)$
11	Затраты на персонал (Затр)	$Затр = (Обуч*0,5) + (СИЗ*0,5)$
12	Показатели безопасности (Пбез)	$Пбез = (LTIFR*0,25) + (НС*0,25) + (ППУ*0,1) + (Удост*0,1) + (ГД*0,15) + КБ*0,15)$
13	Экономические (Эк)	$Эк = (Выр*0,5) + (ФОТ*0,25) + (Срзп *0,25)$

Табл. 2. Механизм определения уровня кадрового потенциала
Tab. 2. Mechanism for determining the level of human resources

можностей участников производственного процесса, которые могут быть выявлены и использованы в повышении эффективности промышленного производства.

Рядом с понятием о кадровом потенциале предприятия стоит понятие о рабочей силе, которая представляет собой созидательный компонент промышленной деятельности. В этой связи логично говорить о кадровой мощности предприятия как о сумме не реализованных возможностей работников с уже реализуемыми в производственном процессе.

Преобразование потенциальных возможностей кадров в реальные способности практической деятельности производственного процесса – одна из главных задач системы управления персоналом в современной конкурентной борьбе.

Оценка кадрового потенциала строительного предприятия, основанная на соответствующих индикаторах качества строительного персонала, способна играть существенную роль в повышении конкурентоспособности предприятия.

Динамика кадрового потенциала неразрывно связана с процессами жизненного цикла сооружения ОИАЭ, определенного требованиями Федерального закона 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» [10].

Так, в главе 7 выделены этапы жизненного цикла, ключевым из которых является этап сооружения. Если более детально обратиться к нему через призму оценки кадрового потенциала, то логичным будет рассмотреть цикл производственного пути работника строительного предприятия на данном этапе как основу для определения индикаторов состояния кадрового потенциала строительного предприятия.

Под циклом производственного пути работника строительного предприятия атомной отрасли нами понимается процессная модель, состоящая из ключевых событий, которые проходит каждый человек, получающий статус работника строительного предприятия, обеспечивающих непрерывность и сбалансированность производственного процесса.

На схеме (рисунок 1) представлено графическое изображение цикла производственного пути работника строительного предприятия атомной отрасли. Исходя из того, что безопасность признана ключевой ценностью Госкорпорации «Росатом», особое внимание в нем уделено вопросам подтверждения заявленной в документах квалификации, этапу обсервационной подготовки при отправке за рубеж, включающей в себя как полноценное медицинское обследование, так и профессиональную подготовку персонала, возможность перемещения персонала на дру-

гие площадки сооружения в зависимости от направления деятельности (общестроительное/тепломонтажное), а также от этапов жизненного цикла ОИАЭ.

В связи с тем, что 80 % портфеля выручки компании составляют зарубежные проекты с участием локального персонала, цикл производственного пути адаптирован как для работников из Российской Федерации, так и для персонала из стран, в которых осуществляется сооружение АЭС.

Результаты

Для формирования аспектов и индикаторов интегрального показателя кадрового потенциала строительного предприятия атомной отрасли (таблица 1) необходимо рассмотреть две ключевые категории, охватывающие как все категории задействованного в сооружении АЭС персонала, так и элементы всех этапов цикла производственного пути сотрудника.

Для целей повышения кадрового потенциала строительных предприятий атомной отрасли в условиях минимизации издержек и сокращения затрат предлагается к применению одобренный отраслевыми экспертами перечень количественных (5 единиц) и качественных (8 единиц) аспектов с использованием метода экспертных оценок, а также балльного метода и инструментов экономического анализа. С применением метода фокус-групп были определены весовые коэффициенты, определяющие удельный вес элементов интегрального показателя кадрового потенциала строительного предприятия. Механизм определения уровня кадрового потенциала представлен в таблице 2. Результирующий коэффициент кадрового потенциала (Кэkp) нами предлагается определять по следующей формуле:

$$Кэkp = Kв + Об + Лич + Соц + Пс + Мульт + Мотив + Упр + Кадр + Сраб + Затр + Пбез + Эк.$$

При апробационных расчетах с использованием данного коэффициента важно оценивать фактический и оптимальный кадровый потенциал строительного предприятия, рассчитанный при помощи экспертных оценок, а также с учетом среднеотраслевых и нормативных показателей.

Заключение

Таким образом, предложенная методика расчета кадрового потенциала строительного предприятия атомной отрасли позволяет не только оценить и сопоставить коэффициенты кадрового потенциала различных предприятий, но и видеть динамику их изменений во времени, что позволяет кадровым службам повышать уровень работы с персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций : НП-001-15 : Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522 : введены в действие с 15 февраля 2016 г. / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Москва, 2016.

2. Скороходова, О. Р. Кадровый потенциал: понятие, сущность, основные характеристики / О. Р. Скороходова // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития / Сборник материалов XXIV Международной научно-практической конференции, г. Новосибирск, 30 октября 2015 г.; под общ. ред. С. С. Чернова. – Новосибирск, 2015. – № 24. – С. 67–71. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kadrovyy-potentsial-ponyatie-suschnost-osnovnye-harakteristiki> (дата обращения: 07.02.2023).

3. Кузьмина, А. А. Современные направления развития кадрового потенциала региональных рынков РФ / А. А. Кузьмина, С. А. Орехов // Транспортное дело России. – 2009. – № 8. – С. 149–151. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-napravleniya-razvitiya-kadrovogo-potentsiala-regionalnyh-rynkov-rf> (дата обращения: 07.02.2023).

4. Кречетников, К. Г. Смысл и содержание понятия «Кадровый потенциал» / К. Г. Кречетников // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2014. – № 27. – С. 96–100. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/smysl-i-soderzhanie-ponyatiya-kadrovyy-potentsial> (дата обращения: 12.02.2023).

REFERENCES

1. Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsij : NP-001-15 : Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii [General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants : NP-001-15 : Federal Norms and Rules in the field of atomic energy use] : utverzhdenny prikazom Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 17 dekabrya 2015 g. № 522 : vvedeny v dejstvие s 15 fevralya 2016 g. [approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 17, 2015 No. 522 : put into effect from February 15, 2016] / Federal'naya sluzhba po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision and nuclear supervision]. – Moscow, 2016.

2. Skorokhodova, O. R. Kadrovyy potentsial: ponyatie, sushhnost', osnovnyye kharakteristiki [Personnel potential: concept, essence, main characteristics] / O. R. Skorokhodova // Ekonomika i upravlenie v XXI veke: tendentsii razvitiya [Economics and Management in the XXI century: development trends] / Sbornik materialov XXIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Novosibirsk, 30 oktyabrya 2015 g. pod obshh. red. S. S. Chernova [Collection of materials of the XXIV International Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, October 30, 2015; edited by S. S. Chernov]. – Novosibirsk, 2015. – N 24. – P. 67–71. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kadrovyy-potentsial-ponyatie-suschnost-osnovnye-harakteristiki> (accessed: 07.02.2023).

3. Kuzmina, A. A. Sovremennye napravleniya razvitiya kadrovogo potentsiala regional'nykh rynkov RF [Modern trends in the development of the personnel potential of the regional markets of the Russian Federation] / A. A. Kuzmina, S. A. Orekhov // Transportnoe delo Rossii [Transport business of Russia]. – 2009. – N 8. – P. 149–151. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-napravleniya-razvitiya-kadrovogo-potentsiala-regionalnyh-rynkov-rf> (accessed: 07.02.2023).

4. Krechetnikov, K. G. Smysl i sodержanie ponyatiya «Kadrovyy potentsial» [The meaning and content of the concept of «Personnel potential»] / K. G. Krechetnikov // Sovremennye tendentsii v ehkonomike i upravlenii: novyy vzglyad [Modern trends in economics and management: a new look]. – 2014. – N 27. – P. 96–100. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/smysl-i-soderzhanie-ponyatiya-kadrovyy-potentsial> (date of application: 12.02.2023).

5. Швидкая, Г. А. Оценка кадрового потенциала организации / Г. А. Швидкая // Студенческий научный форум – 2015 / VII Международная студенческая научная конференция, Саратов, 15 февраля – 31 марта 2015 г. – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015012373> (дата обращения: 25.07.2022).

6. Оценка кадрового потенциала организации / М. А. Назаренко, И. А. Горькова, Т. А. Алябьева, Е. С. Горшкова, Е. В. Ковалева, Э. Г. Никонов, А. Б. Тукачёва, М. М. Фетисова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4 – С. 178–179.

7. Афанасьев, В. Я. Анализ и оценка кадрового потенциала персонала организации на современном этапе / В. Я. Афанасьев, Н. В. Воронцов О. В. Байкова // Вестник университета. – 2020. – № 7. – С. 5–13.

8. Иванова, З. И. Кадровый потенциал строительной отрасли России (по материалам социологических исследований) : монография / З. И. Иванова, Л. В. Власенко, В. Л. Воробьева. – Москва : МГСУ, 2014. – 72 с.

9. Букринский, А. М. Безопасность атомных станций по федеральным нормам и правилам России и стандартам МАГАТЭ. (Сравнение основных принципов и требований по обеспечению безопасности) : монография / А. М. Букринский ; Ростехнадзор, ФБУ «НТЦ ЯРБ». – 3-е обнов. изд. – Москва : НТЦ ЯРБ, 2019. – 196 с.

10. Об использовании атомной энергии : Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ (с изменениями и дополнениями) / Собрание законодательства. – 1995. – № 48. – Ст. 4552. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (дата обращения: 02.02.2022).

5. Shvidkaya, G. A. Otsenka kadrovogo potentsiala organizatsii [Assessment of personnel potential of the organization] / G. A. Shvidkaya // Studencheskij nauchnyj forum – 2015 [Student Scientific Forum – 2015] / VII Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferentsiya, Saratov, 15 fevralya – 31 marta 2015 g. [VII International Student Scientific Conference, Saratov, February 15 – March 31, 2015]. – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015012373> (accessed: 25.07.2022).

6. Otsenka kadrovogo potentsiala organizatsii [Assessment of the personnel potential of the organization] / M. A. Nazarenko, I. A. Gorkova, T. A. Alyabyeva, E. S. Gorshkova, E. V. Kovaleva, E. G. Nikonov, A. B. Tukacheva, M. M. Fetisova // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2014. – N 4. – P. 178–179.

7. Afanasyev, V. Ya. Analiz i otsenka kadrovogo potentsiala personala organizatsii na sovremennom eh tape [Analysis and evaluation of the personnel potential of the organization's personnel at the present stage] / V. Ya. Afanasyev, N. V. Vorontsov O. V. Baykova // Vestnik universiteta [Bulletin of the University]. – 2020. – N 7. – P. 5–13.

8. Ivanova, Z. I. Kadrovyy potentsial stroitel'noj otrasli Rossii (po materialam sotsiologicheskikh issledovanij) : monografiya [Personnel potential of the construction industry of Russia (based on the materials of sociological research) : monograph] / Z. I. Ivanova, L. V. Vlasenko, V. L. Vorobyova. – Moscow : MGSU, 2014. – 72 p.

9. Bukrinsky, A. M. Bezopasnost' atomnykh stantsij po federal'nym normam i pravilam Rossii i standartam MAGATEH. (Srvnenie osnovnykh printsipov i trebovanij po obespecheniyu bezopasnosti) : monografiya [Safety of nuclear power plants according to federal norms and rules of Russia and IAEA standards (Comparison of the basic principles and requirements for safety) : monograph] / A. M. Bukrinsky ; Rostekhnadzor, FBU «NTC NRS». – 3rd edition – Moscow : NTC NRS, 2019. – 196 p.

10. Ob ispol'zovanii atomnoj ehnergii [On the use of atomic energy] : Federal'nyj zakon ot 21.11.1995 № 170-FZ (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Federal Law No. 170-FZ of 21.11.1995 (with amendments and additions)] / Sbranie zakonodatel'stva [Collection of Legislation]. – 1995. – N 48. – Article 4552. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (accessed: 02.02.2022).

УДК 721.021.23, 69

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_99

Методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности

Methodology for Developing an Information Model Based on Modular Elements of Maximum Availability

Рыбакова Ангелина Олеговна

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

Rybakova Angelina Olegovna

Senior Lecturer, Postgraduate student of the Department «Information Systems, Technologies and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, angelinaribakova@yandex.ru

Аннотация. Автором в статье проведен анализ особенностей модульного проектирования на основе технологий информационного моделирования, рассмотрены основные задачи и функции данной концепции. Проанализировано влияние реализации модульного проектирования на весь жизненный цикл объекта. Целью данного исследования является изучение основных этапов разработки информационной модели модульного объекта как на предпроектном этапе, так и на этапе проектирования. Задачами – формирование основных задач модульного проектирования в рамках информационного моделирования с учетом вспомогательных действий и требований, а также анализ предварительных этапов предпроектного этапа для модульных проектов. В основе исследования лежат базовые положения модульного проектирования, информационного моделирования и жизненного цикла объекта. В данной статье рассмотрены не только практические особенности раз-

Abstract. The author of the article analyzes the features of modular design based on information modeling technologies, considers the main tasks and functions of this concept. The influence of the implementation of modular design on the entire life cycle of the object is analyzed. The purpose of this study is to study the main stages of the development of an information model of a modular object at the pre-project stage and at the design stage. Tasks – formation of the main tasks of modular design within the framework of information modeling, taking into account auxiliary actions and requirements, analysis of the preliminary stages of the pre-project stage for modular projects. The research is based on the basic principles of modular design, information modeling and life cycle. This article discusses the practical features of the development of the model, as well as organizational ones within

Введение

Модульное строительство – это одна из разновидностей строительства, которая заключается в максимальном производстве здания или сооружения за пределами строительной площадки: в заводских условиях с использованием стандартных материалов и конструкций, в рамках установленных правовых норм и правил [1]. Распространение модульного строительства привело к развитию подходов модульного проектирования – разработки проектной документации на основе ранее подготовленных элементов. Для наиболее удобной реализации модульного проектирования целесообразно использовать инструменты технологий информационного моделирования (BIM), что позволяет представлять модульные элементы в виде BIM-модели [2].

Модульный элемент максимальной готовности в строительстве (МЭМГ) – это заранее изготовленный из различных материалов полноценный элемент строительства, обладающий наивысшей степенью готовности для монтажа. Модуль включает в себя необходимые архитек-

работки модели, но и организационные – в рамках рассматриваемого этапа. В результате представлена методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности на этапе проектирования. Рассмотрен этап оценки рациональности применения модульного проектирования для конкретного объекта. Определены положения модульного проектирования на основе информационного моделирования, предварительные задачи предпроектного этапа, а также сформулированы направления дальнейших исследований с целью повышения эффективности работы.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, управление жизненным циклом объекта капитального строительства, BIM-технологии, модульные элементы максимальной готовности, комплексно-блочное проектирование, автоматизация проектирования, организация строительства, модульные конструкции.

the framework of the considered stage. As a result, a methodology for developing an information model based on modular elements of maximum readiness at the design stage is presented. The stage of evaluation of the rationality of the use of modular design for a specific object is considered. The provisions of modular design based on information modeling, preliminary tasks of the pre-project stage are defined, and directions for further research are formulated in order to improve the efficiency of work.

Keywords: digitalization of the construction industry, information modeling technology, life cycle management of a capital construction object, BIM technologies, modular elements of maximum readiness, prefabricated design, design automation, construction management, modular structures.

турные и конструктивные характеристики, инженерные решения, оборудование и, при необходимости, варианты внутренней и наружной отделки [3–4].

Модульный BIM-блок, или BIM-модуль, – это цифровая модель комплексной структурной единицы, которая аккумулирует в себе свойства и характеристики нескольких элементов строительных конструкций, выполненных в среде информационного моделирования. Главная характеристика BIM-модуля – это представление всех составляющих в одной структурной единице, т. е. в виде блока в любом представлении. Информационная модель МЭМГ (ИМЭМГ) – фундаментальная базовая единица модульного информационного моделирования, которая представлена в BIM-модуле [5–6].

На сегодняшний день анализ интеграции модульного строительства и технологий информационного моделирования не представлен в достаточном объеме. Следовательно, необходимо изучить возможность и целесообразность объединения двух концепций с точки зрения практической реализации, а также важно исследовать влияние на

другие этапы жизненного цикла объекта капитального строительства [7].

Целью данного исследования является изучение основных этапов разработки информационной модели модульного объекта на этапе проектирования. Задачами – формирование основных задач модульного проектирования в рамках информационного моделирования с учетом вспомогательных действий и требований, а также анализ предварительных этапов предпроектного этапа для модульных проектов.

Материалы и методы

Работа по разработке информационной модели начинается задолго до непосредственного моделирования объекта. Прежде чем приступить к моделированию даже низкого уровня детализации, необходимо выполнить несколько предварительных действий по подготовке данных для будущей модели для принятия проектных решений, а также по минимизации потенциальных ошибок [8]. В настоящей работе рассматривается методика разработки информационной модели с момента утверждения технического задания.

Прежде чем приступать к выполнению модульного проектирования, необходимо сначала выяснить, насколько данный объект целесообразно реализовывать таким образом. Если не предполагается повторения объемно-планировочных узлов объекта, то модульное проектирование не будет эффективным [8–9]. На данном этапе необходимо проанализировать по следующим критериям, насколько нужно использовать модульный подход: назначение, количество этажей, общая площадь, климатический пояс [10].

В случае положительного решения разработка информационной модели выполняется в два этапа: разработка типовых моделей МЭМГ и формирование итоговой модели. Этап моделирования МЭМГ для различных комплексных моделей может частично совпадать, так как одни и те же МЭМГ могут быть повторно использованы в других итоговых моделях [11–12]. На втором этапе выполняется формирование сводной модели, которая является определенной комбинацией МЭМГ из библиотеки. Количество, габариты и наименование определяется специалистами с учетом специфики объекта на основе требований технического задания [13].

С момента принятия решения об использовании модульного проектирования дальнейшие действия выполняются в соответствии с особенностями и принципами модульности [14]. Происходит влияние на способ и инструменты решения практических задач, так и на принятие проектных решений и организацию работы. Каждый этап работы основывается на предыдущем с учетом BIM-функций [15].

Результаты

Методика разработки информационной модели на основе МЭМГ базируется на рассмотренных ранее положениях и включает в себя следующие этапы [6–7; 15]. Ниже представлено описание содержания каждого из этапов методики разработки информационной модели на основе МЭМГ в виде трех составляющих: входные материалы или информация, инструменты и алгоритмы, задействованные на данном этапе, выходные материалы или информация.

1. Анализ основных характеристик объекта согласно техническому заданию.

Исходными данными для первого этапа является техническое задание, которое включает в себя требования к

будущему объекту строительства. В результате положительного анализа выполняется переход к следующему этапу, в противоположном случае необходимо выполнить доработку технического задания [6–7; 15].

2. Оценка рациональности применения модульного проектирования.

На основе данных технического задания по части выполняются соответствующие этапы алгоритма оценки рациональности. Целью данного этапа является определение возможности разработки проектной документации на основе модульного подхода для конкретного объекта строительства [6–7; 15].

В результате выполнения расчета рациональности формируется показатель – индекс рациональности, по которому можно определить, к какому из трех уровней применения относится рассматриваемый объект. На основе выявленного уровня применения принимается решение о дальнейшей работе над проектированием объекта.

3. Оценка эффективности использования МЭМГ.

После принятия решения о выполнении работ в рамках модульного проектирования необходимо определить уровень предполагаемой эффективности данного подхода. Цель данного этапа заключается в определении индекса использования как среднего арифметического индексов необходимости и эффективности для каждой ключевой задачи модульного подхода и инструментов информационного моделирования для решения этой задачи. В результате выполнения данного этапа формируется перечень задач, которые целесообразно выполнять средствами информационного моделирования [6–7].

4. Разработка геометрического эскиза расположения будущих МЭМГ.

Данный этап выполняется на основе всех данных, полученных на предыдущих этапах, и является промежуточным. Цель данного этапа – разработка локальных технических заданий для моделирования всех требуемых для модели МЭМГ. В результате выполнения данного этапа формируется перечень необходимых концептуальных МЭМГ с указанием базовых объемно-планировочных требований – локальных технических заданий. На данном этапе определяется количество дублированных блоков [7].

5. Определение необходимых типовых моделей МЭМГ на основе классификации. Работа с библиотекой ИМЭМГ.

С учетом информации, полученной на предыдущем этапе и в рамках классификации МЭМГ, определяются ИМЭМГ для будущей комплексной модели.

Данная методика предусматривает непосредственное взаимодействие с библиотекой ИМЭМГ, которая аккумулирует в себе типовые модели МЭМГ различными способами. Цель функционирования библиотеки – максимальное повторное использование ИМЭМГ, систематизация и хранение, буферная зона между этапами одного проекта или различными проектами [6–7; 15]. На данном этапе определяется перечень конкретных ИМЭМГ в рамках библиотеки (в отличие от концептуальных ИМЭМГ предыдущего шага), которые обладают более полноценными и конкретными характеристиками и свойствами. Определение параметров ИМЭМГ выполняется на основе структуры блока информационного моделирования.

6. Подготовка (разработка или корректировка) блоков информационного моделирования для ИМЭМГ.

Блоки информационного моделирования – экземпляры ИМЭМГ, определенные на предыдущем этапе, под-

вергаются дополнительному анализу на соответствие требованиям основного технического задания и локальным техническим заданиям каждого ИМЭМГ.

В случае отсутствия необходимого типового ИМЭМГ необходимо выполнить комплекс работ по подготовке нового ИМЭМГ. Выходными материалами данного этапа являются блоки моделей МЭМГ в среде информационного моделирования – ИМЭМГ. Множество ИМЭМГ уже не требует дополнительных корректировок и полностью готово для дальнейшей интеграции в итоговую модель [6–7; 15].

7. Формирование комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ.

Входными материалами данного этапа являются финальные экземпляры ИМЭМГ, подготовленные на предыдущих этапах согласно требованиям технических заданий.

Дальнейшие действия по формированию комплексной информационной модели выполняются в соответствии с этапом II алгоритма формирования модели. Цель данного этапа – скомпоновать все подготовленные ИМЭМГ в определенном порядке (расположение, направление и уровень) в виде итоговой модели.

Выходной материал этапа – комплексная информационная модель объекта капитального строительства на основе модульных элементов максимальной готовности.

8. Проверка соответствия модели техническому заданию.

На данном этапе выполняется первоначальная проверка разработанной на предыдущем этапе комплексной информационной модели на соответствие базовым требованиям технического задания, рассмотренным на этапах 1 и 2. В случае возникновения несоответствий необходимо выполнить корректировку модели или определенных ИМЭМГ – этапы 6 и 7. После получения корректной ин-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sacks, R. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech / R. Sacks, M. Girolami, I. Brilakis. – DOI 10.1016/j.dibe.2020.100011 // Developments in the Built Environment. – 2020. – P. 100011.
2. Chen, Ch. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance / Ch. Chen, L. Tang. – DOI 10.1016/j.autcon.2019.102944 // Automation in Construction – 2019. – Vol. 107. – P. 102944.
3. Miettinen, R. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling / R. Miettinen, S. Paavola // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 43. – P. 84–91. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>.
4. Meijer, F. Quality control of constructions: European trends and developments / F. Meijer, H. Visscher. – DOI 10.1108/IJLBE-02-2017-0003 // International Journal of Law in the Built Environment. – 2017. – Vol. 9 (2). – P. 143–161.
5. Heravi, G. Applying Artificial Neural Networks for Measuring and Predicting Construction-Labor Productivity / G. Heravi, E. Eslamdoost // Journal of Construction Engineering and Management. – 2015. – Vol. 141 (10), № 04015032 – P. 1–11.
6. Rybakova, A. Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis / A. Rybakova. – DOI 10.1007/978-3-030-96206-7_22 // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 231. – P. 211–219.
7. Рыбакова, А. О. Оценка эффективности проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности / А. О. Рыбакова. – DOI 10.22227/2305-5502.2022.3.9 // Строительство: наука и образование. – 2022. – Т. 12, Вып. 3 (45). –

формационной модели дальнейшие действия по верификации, дополнению или оформлению документации выполняются по аналогии с моделью, разработанной классическим способом. Таким образом, работа по проектированию на основе модульных элементов максимальной готовности заканчивается. На дальнейших этапах жизненного цикла использование данной модели предусматривается в качестве задания на изготовление и данных для технического надзора и мониторинга строительства.

Обсуждение

Итоги данного исследования теоретически и практически значимы для деятельности в области модульного строительства и информационного моделирования. Эффективность методики разработки комплексной информационной модели позволяет повысить качество как проектной документации, так и информационной модели, одновременно ускорить и упростить трудоемкие процессы, что в итоге оказывает положительное влияние на последующие этапы работы. А также в методике рассмотрен этап оценки рациональности применения модульного проектирования для рассматриваемого объекта.

Заключение

Таким образом, рассматриваемая тема разработки комплексной информационной модели на основе типовых модульных элементов максимальной готовности выполняется на базе алгоритма, который аккумулирует в себе фундаментальные аспекты модульного метода строительства и технологий информационного моделирования. Использование представленной методики позволяет учитывать не только практические особенности разработки модели, но и организационные – в рамках каждого рассматриваемого шага. Несмотря на применение методики только на этапе проектирования, ее влияние распространяется и на другие этапы жизненного цикла.

C. 137–150.

8. Kasperzyk, C. Automated re-prefabrication system for buildings using robotics / C. Kasperzyk, M. Kim, I. Brilakis. – DOI 10.1016/J.AUTCON.2017.08.002 // Automation in Construction. – 2017. – Vol. 83. – P. 184–195.
9. Клевцова, К. С. Инновационное модульное строительство / К. С. Клевцова // Молодой ученый. – 2017. – № 3 (137). – С. 103–105. – URL: <https://moluch.ru/archive/137/38562/> (дата обращения: 26.07.2022).
10. BIM-based life-cycle environmental assessment of prefabricated buildings / Y. Ji, K. Qi, Y. Qi, Y. Li, H. X. Li, Z. Lei, Y. Liu. – DOI 10.1108/ECAM-01-2020-0017 // Engineering, Construction and Architectural Management. – Vol. 27, № 8. – P. 1703–1725.
11. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: an analytical framework / W. Lu, K. Chen, F. Xue, W. Pan. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.07.319 // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 201. – P. 236–245.
12. Поняев, А. Н. Проблемы проектирования в строительстве, их решение / А. Н. Поняев, Ю. Я. Дворников, Д. О. Абрамова // Техника. Технологии. Инженерия. – 2019. – № 3 (13). – С. 13–17.
13. Андреева, А. Б. Актуальность Использования технологий информационного моделирования на всех этапах «жизненного цикла» объекта капитального строительства / А. Б. Андреева // Уральский научный вестник. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 63–66.
14. Goh, M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes / M. Goh, Y. M. Goh. – DOI 10.1016/j.autcon.2018.12 // Automation in Construction. – 2019. – Vol. 101. – P. 227–244.
15. Каган, П. Б. Работа службы технического заказчика при ис-

пользовании модульных элементов на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства /

REFERENCES

1. Sacks, R. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech / R. Sacks, M. Girolami, I. Brilakis. – DOI 10.1016/j.dibe.2020.100011 // Developments in the Built Environment. – 2020. – P. 100011.

2. Chen, Ch. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance / Ch. Chen, L. Tang. – DOI 10.1016/j.autcon.2019.102944 // Automation in Construction – 2019. – Vol. 107. – P. 102944.

3. Miettinen, R. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modelling / R. Miettinen, S. Paavola // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 43. – P. 84–91. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>.

4. Meijer, F. Quality control of constructions: European trends and developments / F. Meijer, H. Visscher. – DOI 10.1108/IJLBE-02-2017-0003 // International Journal of Law in the Built Environment. – 2017. – Vol. 9 (2). – P. 143–161.

5. Heravi, G. Applying Artificial Neural Networks for Measuring and Predicting Construction-Labor Productivity / G. Heravi, E. Eslamdoost // Journal of Construction Engineering and Management. – 2015. – Vol. 141 (10), № 04015032 – P. 1–11.

6. Rybakova, A. Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis / A. Rybakova. – DOI 10.1007/978-3-030-96206-7_22 // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 231. – P. 211–219.

7. Rybakova A. O. Otsenka ehffektivnosti proektirovaniya na osnove modul'nykh ehlementov maksimal'noj gotovnosti [Evaluation of design efficiency based on modular elements of maximum readiness] / A. O. Rybakova. – DOI 10.22227/2305-5502.2022.3.9 // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2022. – Vol. 12, Iss. 3 (45). – P. 137–150.

8. Kasperzyk, C. Automated re-prefabrication system for buildings using robotics / C. Kasperzyk, M. Kim, I. Brilakis. – DOI

П. Б. Каган, А. О. Рыбакова, В. И. Титенко // Строительное производство. – 2022. – № 3. – С. 34–40.

10.1016/J.AUTCON.2017.08.002 // Automation in Construction. – 2017. – Vol. 83. – P. 184–195.

9. Klevtsova, K. S. Innovatsionnoe modul'noe stroitel'stvo [Innovative modular construction] / K. S. Klevtsova // Molodoj uchenyj [Young scientist]. – 2017. – № 3 (137). – P. 103–105. – URL: <https://moluch.ru/archive/137/38562/> (accessed: 26.07.2022).

10. BIM-based life-cycle environmental assessment of prefabricated buildings / Y. Ji, K. Qi, Y. Qi, Y. Li, H. X. Li, Z. Lei, Y. Liu. – DOI 10.1108/ECAM-01-2020-0017 // Engineering, Construction and Architectural Management. – Vol. 27, № 8. – P. 1703–1725.

11. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: an analytical framework / W. Lu, K. Chen, F. Xue, W. Pan. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.07.319 // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 201. – P. 236–245.

12. Ponyaev, A. N. Problemy proektirovaniya v stroitel'stve, ikh reshenie [Problems of design in construction, their solution] / A. N. Ponyaev, Yu. Ya. Dvornikov, D. O. Abramova // Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya [Technic. Technologies. Engineering]. – 2019. – № 3 (13). – P. 13–17.

13. Andreeva, A. B. Aktual'nost' Ispol'zovaniya tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya na vseh etapakh «zhiznennogo tsikla» ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [The relevance of Using information modeling technologies at all stages of the «life cycle» of a capital construction object] / A. B. Andreeva // Ural'skij nauchnyj vestnik [Ural Scientific Bulletin]. – 2019. – Vol. 3, № 2. – P. 63–66.

14. Goh, M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes / M. Goh, Y. M. Goh. – DOI 10.1016/j.autcon.2018.12 // Automation in Construction. – 2019. – Vol. 101. – P. 227–244.

15. Kagan, P. B. Rabota sluzhby tekhnicheskogo zakazchika pri ispol'zovanii modul'nykh ehlementov na protyazhenii zhiznennogo tsikla ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [The work of the technical customer service when using modular elements throughout the life cycle of capital construction projects] / P. B. Kagan, A. O. Rybakova, V. I. Titenko // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 3. – P. 34–40.

Аннотация. Осуществление мониторинга технического состояния строительных конструкций, расположенных на опасных производственных объектах, является необходимым требованием для их устойчивой и непрерывной работы. В этой связи актуальной проблемой становится разработка интеллектуальных систем мониторинга, способных осуществлять детектирование и классификацию эксплуатационных дефектов конструкций по классам опасности. Целью исследования является разработка подхода к оценке надежности строительных систем на опасных производственных объектах в процессе их эксплуатации. В результате исследования предложен способ оценки класса опасности, основанный на гибридной нейронной сети глубокого обучения. Он заключается в одновременном применении двухмерной сверточной нейронной сети и сети LSTM, позволяющей учитывать тренды в данных временных рядов акустической эмиссии. В сочетании с предложенным

Abstract. Monitoring the technical condition of building structures located at hazardous production facilities is a necessary requirement for their sustainable and continuous operation. In this regard, the development of intelligent monitoring systems capable of detecting and classifying operational defects in structures by hazard classes becomes an urgent problem. The aim of the study is to develop an approach to assessing the reliability of building systems at hazardous production facilities during their operation. As a result of the study, a method for assessing the hazard class based on a hybrid deep learning neural network is proposed. It consists in the simultaneous application of a 2D convolutional neural network and an LSTM network, which allows taking into account trends in acoustic emission time series data. In combination with the method proposed in the article for multi-

Введение

Осуществление мониторинга технического состояния строительных конструкций, расположенных на опасных производственных объектах, является необходимым требованием для их устойчивой и непрерывной работы. В этой связи актуальной проблемой становится разработка интеллектуальных систем мониторинга, способных осуществлять детектирование и классификацию эксплуатационных дефектов конструкций по классам опасности [1].

Во многих отраслях, связанных с осуществлением технической диагностики конструкций, широко применяется модель авторегрессии [2]. Показано, что метод способен идентифицировать степень опасности дефектов в режиме обучения без учителя, что позволяет определять степень опасности дефектов при нехватке данных о дефектах различных классов опасности. Энтезами и др. [3] разработали подход для мониторинга технического состояния конструкций, позволяющий обрабатывать большие объемы данных временных рядов вибродиагностики на основе моделей авторегрессии. Предложенный ими метод классификации основан на применении расстояния Кульбака–Лейблера. Карден и Браун [4] разработали модель авторегрессионной скользящей средней (ARMA), которая применялась для оценки класса опасности эксплуатационных дефектов в сооружении.

Альтернативным способом работы с временными рядами данных, полученных с датчиков, является преобразование их в двумерные графические представления, что позволяет использовать алгоритмы компьютерного зрения для обнаружения паттернов, соответствующих классу опасности дефекта в конструкциях. Тан и др. [5] в своем подходе применили двумерную сверточную нейронную сеть (2DCNN) к задаче обнаружения аномалий, используя 2D-представление сигналов датчиков акселерометра. Их

в статье способом многокритериальной оценки класса опасности дефекта данный способ позволяет увеличить точность обнаружения развивающихся структурных дефектов в несущих и ограждающих конструкциях, а также уменьшить вероятность ложных срабатываний (ошибки второго рода) за счет способности предложенного способа анализировать долговременные тренды эволюции дефектов-источников, а также высокой обобщающей способности метода.

Приведены результаты апробации предложенного способа на реальном объекте контроля – вертикальном стальном резервуаре, содержащем дефектный сварной шов, с использованием временных рядов сигналов акустической эмиссии, полученных методом беспороговой регистрации.

Ключевые слова: определение класса опасности дефекта, нейронные сети, глубинное обучение, модель оценки надежности, эксплуатация объектов повышенной опасности.

criteria assessment of the hazard class of a defect, this method makes it possible to increase the accuracy of detecting developing structural defects in load-bearing and enclosing structures, as well as to reduce the likelihood of false positives (errors of the second kind) due to the ability of the proposed method to analyze long-term trends in the evolution of source defects, as well as the high generalizing ability of the method.

The results of approbation of the proposed method on a real object of control - a vertical steel tank containing a defective weld, using time series of acoustic emission signals obtained by the method of non-threshold registration are presented.

Keywords: determination of the hazard class of a defect, neural networks, deep learning, reliability assessment model, operation of high-risk facilities.

результаты показали, что подход 2DCNN работает лучше, чем существующий метод обнаружения структурных аномалий. Эта идея также подтверждается исследованиями в других областях, например, работами [6; 7] по диагностике дефектов в конструкциях сооружений.

Хотя 2DCNN является мощным инструментом для задач обнаружения структурных дефектов, данная архитектура нейронной сети имеет ряд недостатков. Применение такой архитектуры для задач обнаружения развивающихся дефектов в конструкциях ограничено, так как эволюция эксплуатационных дефектов в структуре конструкций является долговременным процессом, а это значит, что для обнаружения и классификации дефекта по степени опасности в конкретный момент времени требуется учитывать предыдущие состояния объекта. Из этого вытекает главное требование к подобным подходам – это способность учитывать долговременные тренды в данных акустической эмиссии (АЭ).

Перспективным направлением при анализе трендов в данных являются нейронные сети с долгой краткосрочной памятью (Long Short Term Memory – LSTM) [8]. Данная архитектура искусственных нейронных сетей была разработана сравнительно недавно и уже успела себя зарекомендовать в области распознавания речи. Существенным достоинством LSTM является не только способность связывать ранее полученную информацию с текущими данными для решения поставленной задачи, но и управлять периодом «запоминания» этих данных. Это достигается за счет композиционной структуры слоя LSTM сети, который содержит набор слоев с сигмоидной и тангенциальной функциями активации, результаты обработки которых агрегируются на выходе. Использование нейронных сетей LSTM в данном исследовании позволит

УДК 69.001.5:0.04

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_102

Модель оценки надежности строительных систем на опасных производственных объектах в процессе их эксплуатации

The Model for Assessing the Reliability of Building Systems at Hazardous Production Facilities during Their Operation

Адамцевич Любовь Андреевна

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

Adamtsevich Liubov Andreevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Informational Systems, Technologies and Automatization in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, AdamtsevichLA@mgsu.ru

Кац Владислав Анатольевич

Аспирант кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, vladk_94@mail.ru

Kats Vladislav Anatolievich

Postgraduate student of the Department «Informational Systems, Technologies and Automatization in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, vladk_94@mail.ru

обеспечить осуществление эффективной классификации дефектов по степени опасности.

Материалы и методы

В данной работе предложен способ оценки класса опасности, основанный на гибридной нейронной сети глубокого обучения. Он заключается в одновременном применении двумерной сверточной нейронной сети и сети LSTM, позволяющей учитывать тренды в данных временных рядов акустической эмиссии. В сочетании с предложенным в статье способом многокритериальной оценки класса опасности дефекта данный способ позволяет увеличить точность обнаружения развивающихся структурных дефектов в несущих и ограждающих конструкциях, а также уменьшить вероятность ложных срабатываний (ошибки второго рода) за счет способности предложенного способа анализировать долговременные тренды эволюции дефектов-источников, а также высокой обобщающей способности метода.

Формула сверточного слоя выглядит следующим образом (1):

$$X^{conv} = conv2D(W^{conv}, X), \quad (1)$$

где X^{conv} , W^{conv} – матрица выходных значений слоя и матрица весов, соответственно;

X – входная матрица графического представления временного ряда (спектрограмма);

$conv2D$ – оператор свертки.

Обязательным параметром слоя сверточной сети является число ядер N_k , которое означает число извлеченных локальных признаков.

Далее X^{conv} подается на вход слою LSTM, который использует информацию одновременно о множестве предыдущих состояний исследуемого объекта контроля с целью детектирования долгосрочных зависимостей.

Введем L – линейное преобразование X_t^{conv} и N_k вектором признаков на шаге t , а также выход скрытого слоя h_{t-1} с N_h признаками на предыдущем шаге следующим образом:

$$L(h_{t-1}, X_t^{conv}) = W[h_{t-1}, X_t^{conv}] + b, \quad (2)$$

где W и b , соответственно, матрица весов и вектор пороговых значений.

Необходимо отметить, что число признаков преобразования L равно числу признаков выхода h . Каждая LSTM-ячейка состоит из трех так называемых вентилей, а именно вентиля забывания, входного и выходного вентилей [3], которые включают в себя применение нелинейной сигмоидной функции к линейному преобразованию L следующим образом:

$$\begin{aligned} f_f &= s(L_f(h_{t-1}, X_t^{conv})) \\ f_i &= s(L_i(h_{t-1}, X_t^{conv})) \\ f_o &= s(L_o(h_{t-1}, X_t^{conv})) \end{aligned} \quad (3)$$

На следующем этапе необходимо определить, какая информация будет храниться в состоянии ячейки. Слой с тангентиальной функцией создает вектор новых кандидатов на значения, которые могут быть добавлены в состояние.

$$C_t = \tanh(L(h_{t-1}, X_t^{conv})). \quad (4)$$

Предложенная гибридная архитектура сети глубокого обучения показана на рисунке 1.

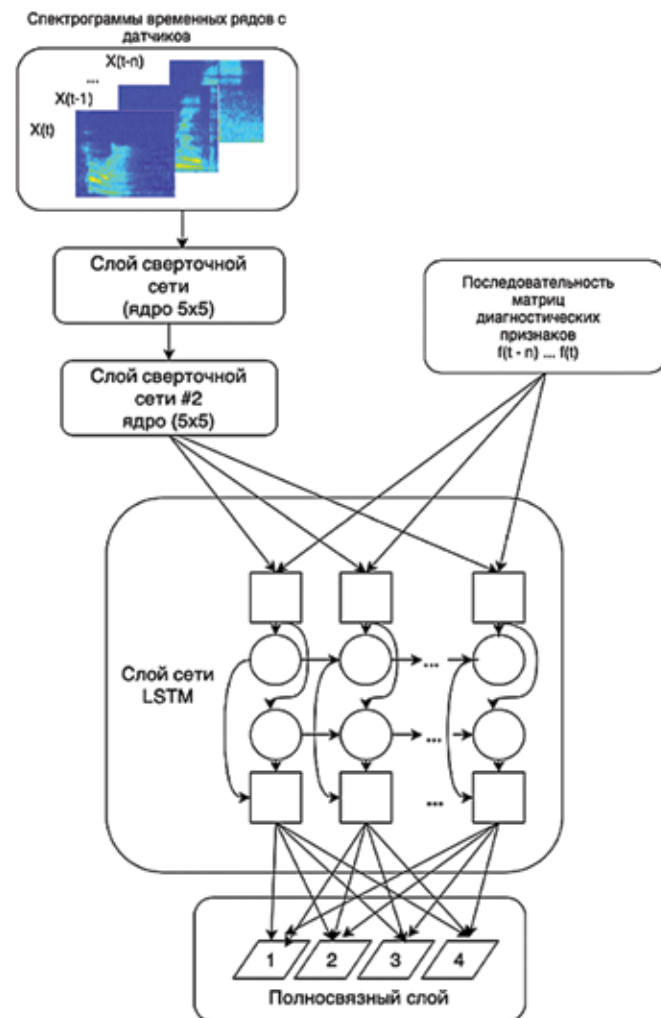


Рис. 1. Архитектура предложенной нейронной сети определения класса опасности дефекта

Fig. 1. Architecture of the proposed neural network for determining the hazard class of a defect

Данные от временных рядов АЭ-измерений за различные периоды времени поступают на вход сети и разделяются на сегменты фиксированной длины, затем слои сверточной сети 2CNN извлекают локальные взаимосвязи между событиями во времени, а затем подаются на вход слоя LSTM, где идентифицируются и хранятся долгосрочные зависимости в данных. Двумерный выход слоя LSTM преобразуется к одномерному вектору значений, которые затем поступают на вход стандартного полносвязного слоя нейронной сети. На заключительном этапе происходит расчет функции активации для получения одного из четырех значений, соответствующих классификации дефектов по степени опасности.

В предложенной архитектуре нейронной сети глубокого обучения сверточные слои принимают на вход двумерные представления временных рядов АЭ-сигнала. АЭ-сигнал на первом этапе переводится во время-частотное представление с помощью преобразования Фурье на коротких временных интервалах (Short Time Fourier Transform – STFT), которое формулируется следующим образом для случая с дискретизацией по времени:

$$STFT\{x[n]\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)w(n-m)e^{-i\omega m}, \quad (5)$$

где $x(n)$ – значение сигнала в дискретный момент времени n ;

w – оконная функция.



Рис. 2. а) Дефект уторного шва между днищем и стенкой резервуара; б) Наиболее опасный дефект КРН, на котором зафиксирована сеть продольных трещин в зонах сплавления сварного шва

Fig. 2. а) A defect in the welt seam between the bottom and the wall of the tank; б) The most dangerous SCC defect, which has a network of longitudinal cracks in the fusion zones of the weld

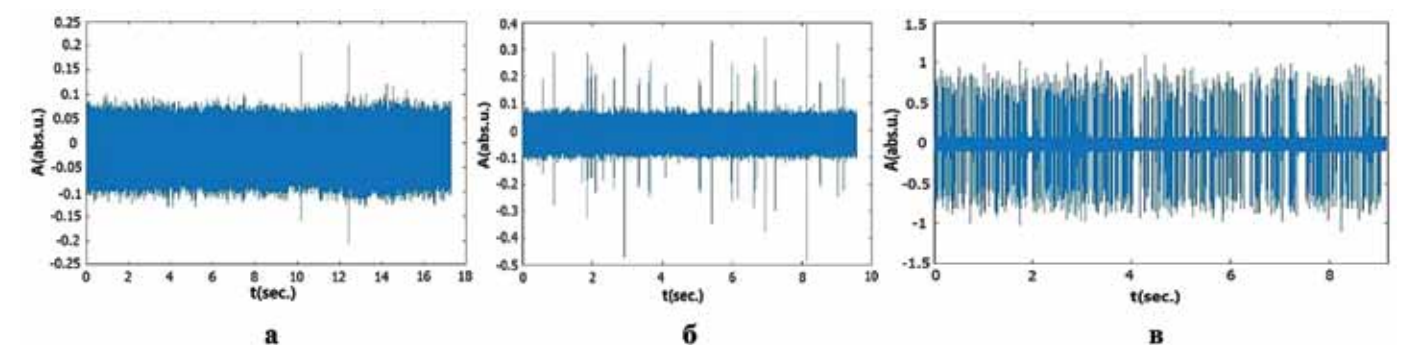


Рис. 3. Фрагменты зашумленных временных рядов сигналов акустической эмиссии, полученные при АЭ-диагностике: а) источник АЭ – дефект I-го класса опасности, б) источник АЭ – дефект II-го класса опасности, в) источник АЭ – дефект источника III-го класса опасности

Fig. 3. Fragments of noisy time series of acoustic emission signals obtained by AE diagnostics: а) AE source – defect of the 1st hazard class, б) AE source – defect of the 2nd hazard class, в) AE source – defect of the source of the 3rd hazard class

Двухмерное отображение STFT называется спектрограммой сигнала. Помимо спектрограмм, которые затем преобразуются в матрицы признаков на выходе слоя сверточной сети, на вход слоя LSTM для выявления трендов передаются также матрицы диагностических признаков, соответствующих тем же временным фрагментам исходного временного ряда АЭ-сигнала.

Результаты

Верификация предложенной архитектуры нейронной сети проводилась по результатам акустико-эмиссионной диагностики вертикального стального резервуара РВС № 3. В нем были обнаружены два типа дефекта: дефект уторного шва и дефект коррозионного растрескивания на стенке резервуара.

В результате сбора данных на объекте контроля были зарегистрированы временные ряды АЭ, на основе которых была проведена верификация предложенной интеллектуальной СППР в рамках настоящей НКР.

Исходные данные представляют собой временные ряды АЭ-сигналов от трех дефектов, зарегистрированных на данном объекте контроля. Каждый из них представлен двухминутными реализациями, изображенными на рисунке 4. Из рисунка видно, что с ростом класса опасности возрастает амплитуда исходных временных рядов, увеличивается и средняя активность акустической эмиссии.

Обучение и валидация предложенной нейронной сети производилась на данных последовательных двухчасовых АЭ-измерений. Данные в каждом измерении были разби-

ты в пропорции 70/30 на обучающую и тестовую выборки. Все измерения прошли предварительную обработку, этапы извлечения диагностических признаков и построения спектрограмм. Точность определения классов опасности дефектов оценивалась по метрике MSE (среднеквадратичная ошибка):

$$MSE = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}. \quad (6)$$

На рисунке показан график кривой обучения. По результатам обучения лучшее значение среднеквадратичной ошибки – 0,12.

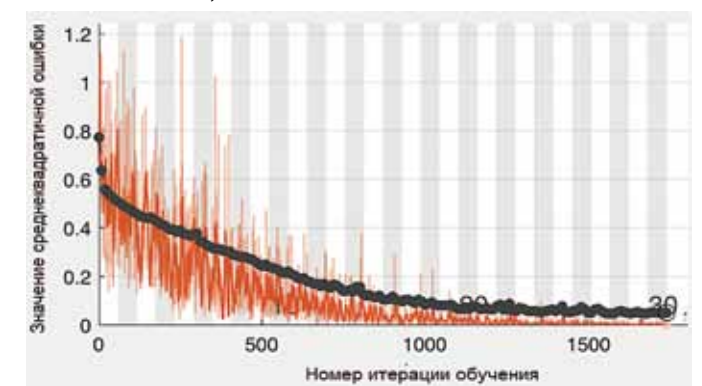


Рис. 4. График обучения предложенной модели определения класса опасности дефектов

Fig. 4. Training schedule of the proposed model determination of the hazard class of defects

Заключение

- 1) В работе представлен способ принятия решения о классе опасности дефекта-источника АЭ, основанный на архитектуре гибридной нейронной сети глубокого обучения.
- 2) Предложенный метод совмещает в себе слои сверточной нейронной сети и слои сети LSTM, совместное применение которых позволяет учитывать долговременные тренды в данных акустико-эмиссионной диагностики.
- 3) Проведена апробация предложенного способа на реальном объекте контроля – вертикального стального резервуара, содержащего дефектный сварной

- шов, с использованием временных рядов сигналов АЭ, полученных методом беспороговой регистрации.
- 4) На основании численного сравнения результатов расчета предложенных критериев по сформированному последовательным сериям измерений с априорно известным числом дефектов-источников АЭ и их классов опасности в объекте контроля установлено, что предложенный способ позволяет эффективно определять класс опасности развивающихся дефектов в строительных конструкциях и обнаруживать процессы их эволюции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Toward identifying crack-length-related resonances in acoustic emission waveforms for structural health monitoring applications / M. Y. Bhuiyan, J. Bao, B. Poddar, V. Giurgiutiu // Structural Health Monitoring. – 2019. – Vol. 17, № 3. – P. 577–585.

2. Гайдышев, И. Анализ и обработка данных. Специальный справочник / И. Гайдышев. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 750 с.

3. Bishop, C. M. Pattern recognition and machine learning / C. M. Bishop, N. M. Nasrabadi. – New York : Springer, 2006. – Vol. 4, № 4. – P. 738.

4. Запруднов, В. И. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций / В. И. Запруднов, Н. Г. Серегин // Лесной вестник. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 108–115. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sredstva-monitoringa-tehnicheskogo-sostoyaniya>

REFERENCES

1. Toward identifying crack-length-related resonances in acoustic emission waveforms for structural health monitoring applications / M. Y. Bhuiyan, J. Bao, B. Poddar, V. Giurgiutiu // Structural Health Monitoring. – 2019. – Vol. 17, № 3. – P. 577–585.

2. Gaidyshev, I. Data analysis and processing. Special reference book / I. Gaidyshev. – St. Petersburg : Peter, 2001. – 750 p.

3. Bishop, C. M. Analiz i obrabotka dannykh. Spetsial'nyj spravoch-nik [Pattern recognition and machine learning] / C. M. Bishop, N. M. Nasrabadi. – New York : Springer, 2006. – Vol. 4, № 4. – P. 738.

4. Zaprudnov, V. I. Metody i sredstva monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy [Methods and means of monitoring the technical condition of building structures] / V. I. Zaprudnov, N. G. Seregin // Lesnoj vestnik [Forest Bulletin. – 2019. – Vol. 23, № 5. – P. 108–115. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sredstva-monitoringa-tehnicheskogo>

stroitelnyh-konstruksiy (дата обращения: 18.05.2022).

5. Caruana, R. An empirical comparison of supervised learning algorithms / R. Caruana, A. Niculescu-Mizil // Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning. – 2006. – P. 161–168.

6. Kats, V. Structural health monitoring system of construction facilities: enhanced training approach / V. Kats // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1694. – № 1. – P. 012014.

7. Kats, V. Features extraction from non-destructive testing data in cyber-physical monitoring system of construction facilities / V. Kats, A. Volkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012149.

8. Giannakopoulos, T. Introduction to Audio Analysis: A MATLAB Approach / T. Giannakopoulos, A. Pikrakis. – Elsevier Ltd., 2014. – 262 p.

sostoyaniya-stroitelnyh-konstruksiy (date of application: 18.05.2022).

5. Caruana, R. An empirical comparison of supervised learning algorithms / R. Caruana, A. Niculescu-Mizil // Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning. – 2006. – P. 161–168.

6. Kats, V. Structural health monitoring system of construction facilities: enhanced training approach / V. Kats // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1694, № 1. – P. 012014.

7. Kats, V. Features extraction from non-destructive testing data in cyber-physical monitoring system of construction facilities / V. Kats, A. Volkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012149.

8. Giannakopoulos, T. Introduction to Audio Analysis: A MATLAB Approach / T. Giannakopoulos, A. Pikrakis. – Elsevier Ltd., 2014. – 262 p.

УДК 006.07

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_106

Перспективы применения цифровых стандартов в строительстве

Prospects for Digital Standards in Construction

Каган Павел Борисович

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

Kagan Pavel Borisovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information Systems Technologies and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, kagan@mgsu.ru

Бабушкин Евгений Сергеевич

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

Babushkin Evgeniy Sergeevich

Postgraduate student of the Department «Information Systems Technologies and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, evgenii.babushkin@gmail.com

Аннотация. В статье описана мировая тенденция перехода промышленности на концепцию «Индустрия 4.0» и предпосылки ее влияния на область стандартизации промышленности, в частности строительства. Обозначена необходимость переустройства не поспевающей за темпами цифрового развития производства текущей системы стандартизации. Авторами произведен анализ современной системы нормотворчества в строительной отрасли, выявлены ее основные проблемы, заключающиеся в большом объеме требований к строительной продукции и процессам, морально устаревшем подходе к нормированию в целом, а также в слабой и неэффективной существующей системе стандартизации и сложности гармонизации российских национальных стандартов с международными стандартами. Описанные проблемы являются актуальными на

Abstract. The article describes the global trend of industry's transition to Industry 4.0 and the prerequisites for its impact on the standardization of industry, in particular construction. The necessity of reorganization of the current standardization system, which does not keep pace with the pace of digital development of production, is highlighted. The authors have analyzed the current system of standardization in the construction industry, identifying its main problems, which are a large volume of requirements to construction products and processes, outdated approach to standardization in general, as well as the weak and inefficient existing standardization system and the complexity of harmonization of Russian national standards with international

Введение

Бурное развитие промышленности в последнее десятилетие неизбежно связано с внедрением огромного числа новых технологий, а также с цифровизацией множества процессов. Мировая промышленность сейчас стоит перед так называемой четвертой промышленной революцией, которая затронет сферу производства (Индустрия 4.0) и обслуживание человеческих потребностей (Работа 4.0). Прогнозируется, что подавляющее большинство бизнес-процессов будут автоматизированы и переведены в цифровой формат путем внедрения киберфизических систем (CPS), применения интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT), искусственного интеллекта (AI) [1].

Однако ввиду того, что деятельность промышленных предприятий сильно зарегламентирована множеством внешних и внутренних нормативных документов, цифровизация мировой промышленности сильно отстает от передовых технологических новшеств в области информационных технологий (ИТ) [2].

Таким образом, текущая система стандартизации и методика применения стандартов должны будут пройти через дальнейшее всестороннее развитие и цифровую трансформацию, чтобы уметь поддерживать растущие запросы современной промышленности и стать цифровыми стандартами. Этот новый подход применения цифровых стандартов открывает потенциал значительного увеличения эффективности промышленных производств.

сегодняшний день, так как именно сейчас система стандартизации в российской строительной отрасли переживает новый виток развития, отказ от предписывающего и целевого методов строительного нормирования и переход к параметрическому методу. В ходе исследования было доказано, что применение таких современных технологий, как цифровые стандарты (SMART-стандарты), может решить выявленные проблемы в области стандартизации, что, в свою очередь, отразится на качестве и эффективности системы нормативного регулирования в строительстве.

Ключевые слова: стандартизация строительства, цифровые стандарты, SMART-стандарты, Индустрия 4.0, проблемы стандартизации, цифровая стандартизация.

standards. The described problems are topical nowadays as the standardization system in Russian construction industry is undergoing a new round of development, abandonment of prescriptive and target method of construction standardization and transition to parametric method. During the study it was proved that the application of modern technologies such as digital standards (SMART-standards) can solve the identified problems in the field of standardization, which in turn will affect the quality and efficiency of the regulatory system in construction.

Keywords: construction standardization, digital standards, SMART standards, Industry 4.0, standardization problems, digital standardization.

Материалы и методы

Строительство является одной из важнейших отраслей российской экономики. По данным на 2022 год, строительство и сфера жилищно-коммунального хозяйства составляют порядка 11 % ВВП России [3]. При этом на момент до 1 сентября 2022 года (до введения в действие ПП РФ № 914 [4]), в соответствии с ПП РФ № 815 [5], в строительной отрасли на обязательной основе применялось 5 ГОСТов и 69 сводов правил, содержащих более 10000 требований к строительным процессам и продукции. Также в область стандартизации строительной отрасли входит множество других источников требований. Общая иерархическая схема нормативно-правовой и нормативно-технической стандартизации в строительстве представлена на рисунке 1.

Другой важной особенностью стандартизации в строительной отрасли является то, что фонд документов по стандартизации в строительстве достаточно слабо структурирован [6]. В первую очередь, это связано с достаточно сложным подходом к нормированию в РФ, который совмещает предписывающий и целевой методы строительного нормирования [7].

Разработка национальных стандартов представляет из себя многогранный и объемный по трудозатратам процесс. Основные участники процесса нормотворчества представлены на рисунке 2.

Технический комитет ТК 465 «Строительство» объединяет лидеров отрасли и правительство для организации и проведения стандартизации в градостроительной

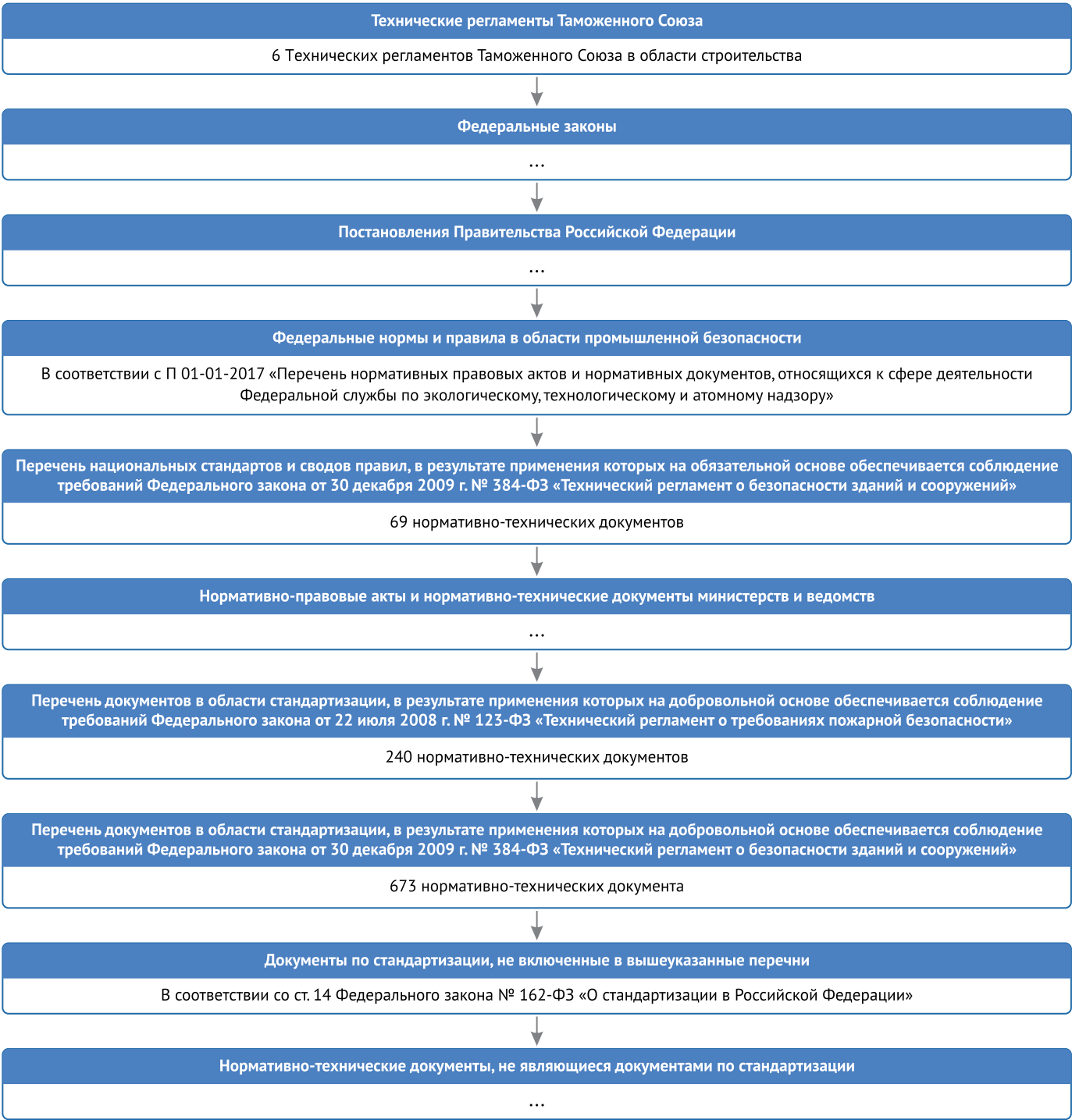


Рис. 1. Иерархическая структура системы нормативного регулирования в строительстве
Fig. 1. Hierarchical structure of the building regulation system

деятельности. ТК 465 на сегодняшний день включает 378 организаций-членов [8]. Также помимо деятельности ТК 465 к области стандартизации строительной отрасли может относиться деятельность смежных технических комитетов (например, ТК 400 «Производство работ в строительстве. Типовые технологические и организационные процессы», ТК 418 «Дорожное хозяйство», ТК 209 «Лифты, эскалаторы, пассажирские конвейеры и подъемные платформы для инвалидов», ТК 505 «Информационное моделирование» и т. д.). Таким образом, появляется проблема построения системы взаимодействия всех технических комитетов и их членов, деятельность которых связана со строительством.

Кроме того, РФ достаточно глубоко интегрирована в международные отношения, что тоже накладывает свой

отпечаток: техническое регулирование в строительной отрасли должно развиваться с учетом международных принципов и подходов. Прежде всего, это касается продукции для строительной отрасли (материалов и изделий), которые являются все еще масштабным предметом международной торговли в России со странами ЕС, Таможенного союза, ЕврАзЭС, СНГ и Китаем [7].

Обобщая результаты анализа проблематики в области стандартизации строительства, мы получаем следующее (таблица 1).

В связи с выявленными проблемами стандартизации в строительстве остро встает вопрос о принятии мер по построению эффективной системы стандартизации. Одним из возможных современных инструментов для решения данной задачи может стать применение так называемых

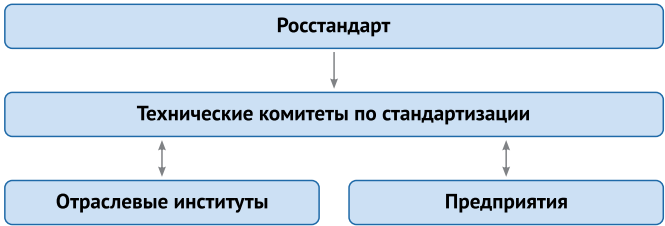


Рис. 2. Взаимосвязь участников нормотворческого процесса
Fig. 2. Interconnectedness of actors involved in the standard-setting process

машиночитаемых документов – в нашем случае рассматриваем машиночитаемые стандарты. Машиночитаемые стандарты (цифровые стандарты, SMART-стандарты) – это документы, которые помимо текста, понятного человеку, содержат структурированные данные в виде формул, таблиц, 3D- и 2D-графиков, программного кода, баз данных и т. д., которые могут быть интерпретированы и исполнены машиной без участия человека-оператора. Аббревиатура SMART в данном случае расшифровывается как Standards Machine Applicable, Readable and Transferable [9].

По мнению С. Тихомирова, генерального директора АО «Кодекс» и председателя ПТК 711 «Умные (SMART) стандарты», умные стандарты могут использоваться для целей машинного поиска и анализа, реализации человекоориентированных и машиноориентированных информационных сервисов по работе с содержанием стандартов [10].

Результаты

В рамках развития глобальной концепции Индустрии 4.0 подняты первые вопросы цифровой стандартизации. По промежуточным итогам можно сделать вывод о том, что первичными задачами создания и внедрения цифровых стандартов в промышленность (в том числе в строительство) становятся государственная стандартизация и разработка единых международных стандартов [11]. Что касается применения цифровых стандартов в промышленности РФ, ряд научных работ подтверждают положительный эффект от использования этой технологии, включая автоматизацию отраслей, развитие производств и предприятий, стандартизацию технологических операций на всех этапах жизненного цикла продукта, повышение объемов выпуска продукции и качества продукции [11].

Что касается сферы строительства – применение SMART-стандартов также должно иметь все отмеченные положительные эффекты, а также решать выявленные в ходе данного исследования проблемы в области стандартизации строительства (таблица 2).

Заключение

Таким образом, авторами был произведен анализ современной системы нормотворчества в строительной отрасли, выявлены ее основные проблемы. Для каждой из пяти выявленных проблем авторами был предложен возможный метод ее решения при помощи использования технологий SMART-стандартов. Решение выявленных в ходе исследования проблем, в свою очередь, отразится на качестве и эффективности системы нормативного регулирования в строительстве.

№ п. п.	Проблема в области стандартизации в строительстве
1	Огромное количество разрозненных и разноуровневых требований
2	Трудность перехода к параметрическому подходу к нормированию
3	Слабое структурирование фонда документов по стандартизации в строительстве
4	Неэффективная система взаимодействия участников стандартизации
5	Сложность гармонизации российских национальных стандартов с международными стандартами

Табл. 1. Перечень проблем в области стандартизации в строительстве
Tab. 1. List of standardization problems in the construction sector

№ п. п.	Проблема в области стандартизации в строительстве	Возможный метод решения проблемы при использовании SMART-стандартов
1	Огромное количество разрозненных и разноуровневых требований	Автоматизация анализа текстов стандартов, автоматизированное выделение в тексте стандарта требований и их разметка
2	Трудность перехода к параметрическому подходу к нормированию	Формирование из выделенных требований системы управления требованиями (СУТр)
3	Слабое структурирование фонда документов по стандартизации в строительстве	Автоматизированная разметка всех существующих стандартов, выявление утративших силу стандартов, гармонизация стандартов между собой в автоматизированной системе использования стандартов, взаимосвязанность частей различных документов по средствам гиперссылок и разметки
4	Неэффективная система взаимодействия участников стандартизации	Возможность совместной работы над SMART-стандартами при помощи специальных автоматизированных систем
5	Сложность гармонизации российских национальных стандартов с международными стандартами	Поддержка международных стандартов в области цифровой стандартизации для бесшовной интеграции зарубежных норм в российский систему

Табл. 2. Возможные методы решения проблем стандартизации при помощи SMART-стандартов
Tab. 2. Possible methods for solving standardization problems with SMART standards

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дравица, В. Промышленная революция Industry 4.0 / В. Дравица, А. Курбацкий // Наука и инновации. – 2016. – № 3 (157). – С. 13–16.

2. Scenarios for digitizing standardization and standards : Whitepaper // DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik – June, 2021. – URL: <https://www.dke.de/resource/blob/2076816/facc9bde1806e2194a3d26a60c79bf77/idis-whitepaper-en---download-data.pdf> (дата обращения: 27.03.2023).

3. Строительство в России – 2022 : Статистический сборник // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Москва, 2022. – 148 с. – URL: <https://rosstat.gov>.

ru/storage/mediabank/Stroit_2022.pdf (дата обращения: 27.03.2023).

4. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 28 мая 2021 г. № 815 : Постановление Правительства РФ от 20 мая 2022 г. № 914 : вступает в силу с 1 сентября 2022 г. / Собрание законодательства Российской Федерации. – 30 мая 2022 г. – № 22. – Ст. 3662.
5. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», и о признании утратившим силу Постановления Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 г. № 985 (с изменениями и дополнениями) : Постановление Правительства РФ от 28.05.2021 № 815 : вступает в силу с 1 сентября 2021 г. и действует до 1 сентября 2027 г. / Собрание законодательства Российской Федерации. – 7 июня 2021 г. – № 23. – Ст. 4060.
6. Барина, Л. С. Предложения по Концепции совершенствования системы технического регулирования в строительной отрасли / Л. С. Барина. – Москва, 2016. – 33 с. – URL: <https://rodosnpp.ru/media/rodos/documents/2016/news/conceptcia.pdf> (дата обращения: 27.03.2023).

REFERENCES

1. Dravitsa, V. Promyshlennaya revolyutsiya Industry 4.0 [Industrial Revolution Industry 4.0] / V. Dravitsa, A. Kurbatsky // Nauka i innovatsii [Science and Innovation]. – 2016. – № 3 (157). – P. 13–16.

2. Scenarios for digitizing standardization and standards : Whitepaper // DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik – June, 2021. – URL: <https://www.dke.de/resource/blob/2076816/facc9bde1806e2194a3d26a60c79bf77/idis-whitepaper-en--download-data.pdf> (accessed: 03/27/2023).

3. Stroitel'stvo v Rossii – 2022 : Statisticheskij sbornik [Construction in Russia – 2022 : Statistical collection] // Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. – Moscow, 2022. – 148 p. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit_2022.pdf (date of appeal: 03/27/2023).

4. O vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 28 maya 2021 g. № 815 : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20 maya 2022 g. № 914 : [On Amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation of May 28, 2021 No. 815 : Decree of the Government of the Russian Federation of May 20, 2022 No. 914] : vstupaet v silu s 1 sentyabrya 2022 g. [effective from September 1, 2022] / Sbranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation Federation]. – May 30, 2022 – N 22. – Article 3662.

5. Ob utverzhdanii perechnya natsional'nykh standartov i svodov pravil (chastej takikh standartov i svodov pravil), v rezul'tate primeneniya kotorykh na obyazatel'noj osnove obespechi-vaetsya soblyudenie trebovanij Federal'nogo zakona «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij», i o priznanii utrativshim silu postanovleniya Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 4 iyulya 2020 g. № 985 (s izmeneniyami i dopolneniyami) [On approval of the list of national standards and codes of rules (parts of such standards and codes of rules), as a result of the application of which compliance with the requirements of the Federal Law «Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures» is ensured on a mandatory basis, and on invalidation of the Decree of the Government of the Russian Federation No. 985 dated July 4, 2020 (as amended and additions)] : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28.05.2021 № 815 [Decree of the Government of the Russian Federation No. 815 of 28.05.2021] : vstupaet v silu s 1

7. Фаликман, В. Р. Системы нормирования и проблемы гармонизации в строительстве / В. Р. Фаликман. – 154 с. – URL: <https://www.normacs.info/uploads/ckeditor/attachments/1817/falikmanprezent.pdf> (дата обращения: 27.03.2023).

8. Структура Технического комитета 465 «Строительство» / Федеральный центр нормирования и стандартизации : [официальный сайт]. – URL: <https://www.faufcc.ru/technical-committee-465-construction/structure-465/> (дата обращения: 27.03.2023).

9. ISO strategy 2030 / International Organization for Standardization : Switzerland, 2021. – URL: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100364.pdf> (дата обращения: 27.03.2023).

10. Машиночитаемые стандарты: перспективы применения в промышленности : Материалы онлайн-конференции, 25 февраля 2021 г. / Подкомитет «Умные (SMART) стандарты», ТК/МТК-22 «Информационные технологии». – URL: http://www.rgtr.ru/data/events/2021/маш_стандарты_25.02.2021/МАШСТАНДАРТЫ_отчет_буклет.pdf (дата обращения: 27.03.2023).

11. Четыркина, Н. Ю. Перспективы применения смарт-стандартов на промышленном предприятии / Н. Ю. Четыркина, Е. Д. Стародубцева // Общество: политика, экономика, право. – 2022. – № 5. – С. 60–65.

sentyabrya 2021 g. i dejstvuet do 1 sentyabrya 2027 g. [comes into force on September 1, 2021 and is valid until September 1, 2027] / Sbranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – June 7, 2021. – № 23. – St. 4060.

6. Barinova, L. S. Predlozheniya po Kontseptsii sovershenstvovaniya sistemy tekhnicheskogo regulirovaniya v stroitel'noj otrasli [Proposals for the Concept of improving the system of technical regulation in the construction industry] / L. S. Barinova. – Moscow, 2016. – 33 p. – URL: <https://rodosnpp.ru/media/rodos/documents/2016/news/conceptcia.pdf> (date of reference: 03/27/2023).

7. Falikman, V. R. Sistemy normirovaniya i problemy harmonizatsii v stroitel'stve [Rationing systems and problems of harmonization in construction] / V. R. Falikman. – 154 p. – URL: <https://www.normacs.info/uploads/ckeditor/attachments/1817/falikmanprezent.pdf> (accessed: 03/27/2023).

8. Struktura Tekhnicheskogo komiteta 465 «Stroitel'stvo» [Structure of the Technical Committee 465 «Construction»] / Federal'nyj tsentr normirovaniya i standartizatsii [Federal Center for Standardization and Standardization] : [official website]. – URL: <https://www.faufcc.ru/technical-committee-465-construction/structure-465/> (accessed: 03/27/2023).

9. ISO strategy 2030 / International Organization for Standardization : Switzerland, 2021. – URL: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100364.pdf> (accessed: 03/27/2023).

10. Mashinochitaemye standarty: perspektivy primeneniya v promyshlennosti : Materialy onlajn-konferentsii, 25 fevralya 2021 g. [Machine-readable standards: prospects for application in industry : Materials of the online conference, February 25, 2021] / Podkomitet «Umnye (SMART) standarty», ТК/МТК-22 «Informatsionnye tekhnologii» [Subcommittee «Smart standards», ТК/МТК-22 «Information Technologies»]. – URL: http://www.rgtr.ru/data/events/2021/маш_стандарты_25.02.2021/МАШСТАНДАРТЫ_отчет_буклет.pdf (date of address: 03/27/2023).

11. Chetyrkina, N. Y. Perspektivy primeneniya smart-standartov na promyshlennom predpriyatii [Prospects for the application of smart standards at an industrial enterprise] / N. Y. Chetyrkina, E. D. Starodubtseva // Obshhestvo: politika, ehkonomika, pravo [Society: politics, economics, law]. – 2022. – № 5. – P. 60–65.

УДК 69.1418

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_111

Инновационная технология торкретирования с применением электростатики

Innovative Shotcrete Technology Using Electrostatics

Мищенко Валерий Яковлевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», 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 «Technologies, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, oseun@yandex.ru

Семенов Алексей Львович

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

Semenov Alexey Lvovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technologies, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, ala_sem@mail.ru

Титова Лариса Николаевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические системы и электроснабжение», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, tln64@mail.ru

Titova Larisa Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electromechanical Systems and Power Supply», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, tln64@mail.ru

Лобода Дмитрий Владимирович

Ведущий инженер инжинирингового центра «ПроектСтройИнжиниринг», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, loboda.dv@novomor.org

Loboda Dmitry Vladimirovich

Leading Engineer of the Engineering Center «ProektStroyEngineering», Southwestern State University, Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, loboda.dv@novomor.org

Аннотация. В настоящее время в связи с нестабильной ситуацией в мире предполагается резкое увеличение объемов строительства и реконструкции. Особую роль приобретают технологии, позволяющие механизировать и автоматизировать процессы строительства. В статье рассмотрен процесс торкретирования – как технология автоматизированного нанесения цементно-содержащих смесей на различные поверхности – и методы оптимизации и автоматизации процесса, а также возможности улучшения качества готового покрытия с помощью изменения технологии без изменения рецептурного состава смеси. В частности, рассматривались методы нанесения штукатурки и другие работы, которые ранее выполнялись преимущественно вручную. Основные проблемы метода заключаются в отскоке материала при нанесении – от 10–30 % – и дальнейшей невозможности применения отходов. Таким образом, при классическом применении этого метода в данный момент проявляется ряд факторов, ограничивающих потенциал этой технологии.

Рассмотрены возможности применения электрофизических

Abstract. Currently, due to the unstable situation in the world, a sharp increase in the volume of construction and reconstruction is expected. Technologies that allow mechanizing and automating construction processes play a special role. The article discusses the shotcrete process as a technology for automated application

методов воздействия, а именно интенсификация процессов гидратации цемента с последующим увеличением прочности, а также уменьшение отскока материала при торкретировании с помощью электрических и электромагнитных полей. Создаются условия обработки готовой смеси в процессе нанесения различными методами электростатической зарядки. Таким образом, смесь подвергается воздействию электричества, приобретает определенный потенциал, что кардинальным образом меняет механизм взаимодействия частиц и внутренние химические процессы при гидратации цемента. Значительно, а в определенных условиях полностью сокращается отскок материала и увеличивается прочность готового покрытия. Данное направление при развитии технологий может стать ведущим в отрасли и позволит заменить множество строительных технологических операций, осуществляемых сейчас вручную.

Ключевые слова: торкретирование, электростатика, трибостатика, магнитная обработка, торкрет-бетон, отскок смеси, коронный заряд, ионная обработка, наброска материалов, гидратация цемента.

of cement-containing mixtures on various surfaces and methods for optimizing and automating the process, as well as the possibility of improving the quality of the finished coating by changing the technology without changing the formulation composition of the mixture. In particular, the methods of applying plaster and

other works that were previously performed mainly by hand were considered. The main problems of the method are the rebound of the material during application – from 10-30% and the further impossibility of using waste. Thus, the classical application of this method at the moment carries a number of factors limiting the potential of this technology. The possibilities of using electro-physical methods of influence are considered, namely, intensification of cement hydration processes, followed by an increase in strength, as well as a decrease in the rebound of the material during shotcrete using electric and electromagnetic fields. Conditions are created for processing the finished mixture during application by various methods of electrostatic charging. Thus, the mixture

Введение

Метод торкретирования давно не считается инновацией в строительной сфере, его применяют очень активно и в различных целях. Однако существует большое количество трудностей, препятствующих эффективному развитию данной технологии. Основные проблемы метода заключаются в отскоке материала при нанесении – от 10–30 % – и дальнейшей невозможности применения отходов [1]. Актуальной становится задача поиска инноваций оптимизации и автоматизации процессов, а также возможности улучшения качества готового покрытия с помощью изменения технологии без изменения рецептурного состава смеси [2], в частности, нахождение возможности применения данного метода нанесения штукатурки в технологических операциях, которые ранее выполнялись преимущественно вручную.

Одним из таких способов модернизации технологии может быть применение электрофизических методов воздействия, а именно интенсификация процессов гидратации цемента с последующим увеличением прочности, а также уменьшение отскока материала при торкретировании с помощью электрических и электромагнитных полей [3; 4; 5; 6]. Получаемый торкрет-бетон с применением электростатики обладает повышенной механической прочностью при сжатии и растяжении, лучшим сцеплением с поверхностью обрабатываемой конструкции, быстрее набирает прочность при равных условиях ухода за бетоном, а также имеет конечную большую прочность [6; 7].

Материалы и методы

Рассматривая физику процесса торкретирования с применением электростатики, можем представить бетонную смесь проводником электрического тока. Под воздействием электромагнитного поля двойной электрический слой дисперсных частиц переходит из равновесного состояния в неравновесное, что вызывает потоки ионов в пределах диффузной части и за ее пределами, что и определяет возможность заряда частиц при торкретировании цементно-песчаного раствора при применении электростатики.

Схему применения электростатики при торкретировании частиц цементно-песчаного раствора можно рассмотреть на рисунке 1.

Ранее процессы обработки электрическим током применялись в производстве бетонов и изучались в научной среде, из существующих способов был определен как наиболее эффективный метод электромагнитной обработки концентрированной цементной суспензией, которую пропускали через переменное электромагнитное поле и применяли для приготовления бетонной смеси [6; 7; 8]. Даная работа находит свое отражение в комбинировании

is exposed to electricity, acquires a certain potential, which radically changes the mechanism of interaction of particles and internal chemical processes during cement hydration. Significantly, and under certain conditions, the rebound of the material is completely reduced and the strength of the finished coating increases. With the development of technologies, this direction can become the leading one in the industry and will allow replacing many construction technological operations carried out manually now.

Keywords: shotcrete, electrostatics, tribostatics, magnetic treatment, shotcrete, rebound of the mixture, corona charge, ion treatment, outline of materials, hydration of cement.

известных технологий и попытках оптимизации методик электрофизического воздействия.

Зарядку частиц после прохождения специальной форсунки для торкретирования с применением электростатики можно разделить по нескольким направлениям:

1. Коронный разряд – передача заряда изолированными электродами высокой разности потенциалов (от 70 до 200 кВольт).
2. Ионизация потока воздуха от компрессора.
3. Трибостатическая зарядка в сопле с применением форсунки для распыления смеси особой формы, позволяющей закручивать подаваемую смесь.

Результаты

Исследуя параметры набрызга бетонной смеси, определили, что наилучший результат достигается при давлении в установке 0,45–0,50 Мпа для скорости распыления 150–175 м/с. Минимизация отскока осуществляется направлением струи раствора строго перпендикулярно поверхности с последующими круговыми движениями на расстоянии от 0,6 до 1,5 м. Данные расстояния благодаря представленным обработкам и изменениям в технологии удалось сократить примерно в 2 раза, что позволило производить торкретирование поверхности с минимальным отскоком при более близком расстоянии. В качестве образца для испытаний использовалась смесь следующего состава: цемент 15 %, песок 45 %, сухие добавки 5 %, вода 15 %, воздух 20 %.

Напряженность электрического поля менялась. Время обработки составляло 15 минут. В ходе проведения опытов было определено, что прочность образцов торкрет-бетона увеличивается прямо пропорционально росту затрат электроэнергии. При исследовании связи между отскоком смеси при торкретировании и данными затратами учитывались расходы только на электростатику, поскольку при трибостатике они равны нулю.

Заключение

Анализ полученных зависимостей воздействия электростатической обработки показал однозначный положительный эффект, возникающий как при нанесении смеси, так и в отношении улучшения физико-механических свойств готового бетонного покрытия. При электростатической обработке смеси в процессе торкретирования интенсифицируется гидратация цемента, происходит зарождение большего количества ковалентных связей и соответствующих центров кристаллизации, что в дальнейшем приводит к увеличению прочности бетона. Определено, что наиболее оптимальным является комбинированный метод электростатической обработки, поскольку отскок в этом случае минимален и составляет 5–6 %.

Определено, что необходимо обеспечить не только уверенность в правильном переходе заряда, но и специ-

альную электрозащитную форму одежды персонала [9]. В целом, определенные недостатки не являются критическими в векторе развития, а потенциальный результат, который может быть получен при развитии инновационного метода, позволит наносить нанопокртия специ-

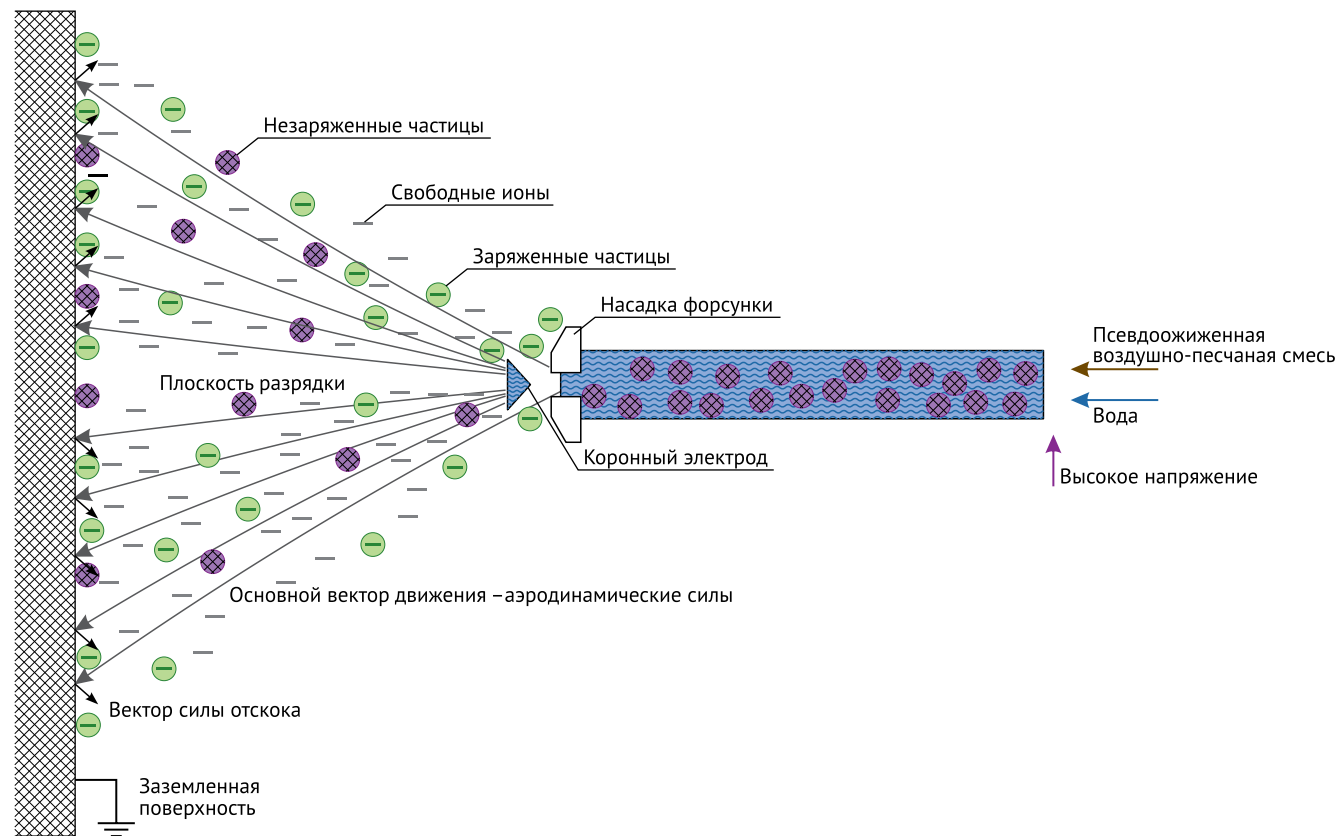


Рис. 1. Схема торкретирования с применением коронной зарядки
Fig. 1. Shotcrete scheme using corona charging

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Активация вяжущих композиций в растворо-пульсационных аппаратах : монография / Ю. М. Баженов, В. В. Плотноков. – Брянск : БГИТА, 2001. – 336 с.
2. Авраменко, А. А. Совершенствование способа торкретирования при индустриальном строительстве объектов жилой недвижимости : дис. ... канд. тех. наук : 2.1.7 / Авраменко Анатолий Александрович ; Донской государственный технический университет. – Воронеж, 2021. – 169 с.
3. Авраменко, С. В. Электромагнитная активация связанных состояний воды в процессах твердения цементных паст / С. В. Авраменко, А. А. Стехин, Г. В. Яковлева, А. Ю. Белоусов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 12. – С. 28–30.
4. Колчеданцев, Л. М. Интенсифицированная технология бетонных работ на основе термообработки смесей : монография / Л. М. Колчеданцев. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2001. – 230 с.
5. Торлина, Е. А. Активизация частично гидратированного цемента в аппаратах активизации процессов / Е. А. Торлина, А. И. Шуйский, А. А. Новожилов // Сборник материалов

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu. M. Aktivatsiya vyazhushhikh kompozitsij v rastvorno-pul'satsionnykh apparatakh [Activation of binding compositions in solution-pulsation devices : monograph] / Yu. M. Bazhenov, V. V. Plotnikov. – Bryansk : BSTAE, 2001. – 336 p.
2. Abramenko, A. A. Sovershenstvovanie sposoba torkretirovaniya pri industrial'nom stroitel'stve ob'ektov zhiloy nedvizhimosti : dis. ... kand. tekhn. nauk : 2.1.7 [Improving the method of shotcrete in the industrial construction of residential real estate : dissertation ... Candidate of Technical Sciences : 2.1.7] / Abramenko Anatolij Aleksandrovich ; Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Don State Technical University]. –

ализированными смесями, которые без дополнительных усилий могли бы создавать по силовым линиям распределения особо ровные и исключительно прочные покрытия любой формы.

- Международной научно-практической конференции «Строительство – 2007». – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2007. – С. 17–20.
6. Колесниченко, Л. К. К исследованию цементных растворов и бетонов при магнитной обработке воды затворения : монография / Л. К. Колесниченко, Ц. З. Горфинкель. – Москва : Южгипроцемент, 1967. – Сб. IX. – 156 с.
7. Электромагнитная активация цементного теста и пенобетонной смеси / Е. А. Торлина, А. И. Шуйский, Г. А. Ткаченко, Х. С. Явруян, И. А. Филонов, Д. А. Фесенко // Вестник МГСУ. – 2012. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektromagnitnaya-aktivatsiya-tsementnogo-testa-i-penobetonnoy-smesi-1> (дата обращения: 12.01.2023).
8. Дьяков, С. В. Влияние электромагнитного воздействия на свойства бетонной смеси и бетона : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Дьяков Сергей Владимирович ; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – Владимир, 1999. – 179 с.
9. Мищенко, В. Я. Решение проблем спецодежды для торкретирования с применением электростатики / В. Я. Мищенко, А. Л. Семенов, Д. В. Лобода // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 1 (397). – С. 235–241.

- Voronezh, 2021. – 169 p.
3. Avramenko, S. V. Ehlektromagnitnaya aktivatsiya svyazannykh sostoyanij vody v protsessah tverdeniya tsementnykh past [Electromagnetic activation of bound water states in cement paste hardening processes] / S. V. Avramenko, A. A. Stekhin, G. V. Yakovleva, A. Yu. Belousov // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka [Construction materials, equipment, technologies of the XXI century]. – 2002. – № 12. – P. 28–30.
4. Kolchedantsev, L. M. Intensifitsirovannaya tekhnologiya betonnykh rabot na osnove termoobrabotki smesey : monografiya [Intensified technology of concrete works based on heat treatment of mixtures : monograph] / L. M. Kolchedantsev. – St. Pe-

- tersburg : SPbGASU, 2001. – 230 p.
5. Torlina, E. A. Aktivizatsiya chastichno gidratirovannogo tse-menta v apparatakh aktivizatsii protsessov [Activation of partially hydrated cement in process activation devices] / E. A. Torlina, A. I. Shuisky, A. A. Novozhilov // Sbornik materi- alov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Stroitel'stvo – 2007» [Collection of materials of the inter- national scientific and practical conference «Construction – 2007»]. – Rostov-on-Don : RGSU, 2007. – P. 17–20.
6. K issledovaniyu tsementnykh rastvorov i betonov pri magnit- noj obrabotke vody zatvoreniya : monografiya [On the study of cement mortars and concretes during magnetic treatment of mixing water : monograph] / L. K. Kolesnichenko, Ts. Z. Gorfinkel. – Moscow : Yuzhgiprocement, 1967. – Coll. IX. – 156 p.
7. Ehlektromagnitnaya aktivatsiya tsementnogo testa i pe- nobetonnoj smesi [Electromagnetic activation of cement dough and foam concrete mixture] / E. A. Torlina, A. I. Shuisky, G. A. Tkachenko, H. S. Yavruyan, I. A. Filonov, D. A. Fesenko // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektromagnitnaya-aktivat-siya-tsementnogo-testa-i-penobetonnoy-smesi-1> (accessed: 13.03.2023).
8. Dyakov, S. V. Vliyanie ehlektromagnitnogo vozdejstviya na svojstva betonnoj smesi i betona : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05 [The influence of electromagnetic influence on the properties of concrete mix and concrete : dissertation ... of Candidate of Technical Sciences : 05.23.05] / Dyakov Sergey Vladimirovich ; FGAOU VO «Natsional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet» [Federal State Edu- cational Institution of Higher Education «National Research Tomsk Polytechnic University»]. – Vladimir, 1999. – 179 p.
9. Mishchenko, V. Ya. Reshenie problem spetsodezhdy dlya torkretirovaniya s primeneniem ehlektrostatiki [Solving the problems of overalls for gunning with the use of electrostat- ics] / V. Ya. Mishchenko, A. L. Semenov, D. V. Loboda // Izvestiya vuzov. Tehkhnologiya tekstil'noj promyshlennosti [News of universities. Technology of the textile industry]. – 2022. – № 1 (397). – P. 235–241.

УДК 69.05.04

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_114

Анализ и перспективы развития BIM-технологий в Российской Федерации

Analysis and Prospects for the Development of BIM Technologies in the Russia

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

Денисов Иван Алексеевич

Студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, vano05012003@yandex.ru

Denisov Ivan Alexeyevich

Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, vano05012003@yandex.ru

Аннотация

Цель исследования: в данной статье разбирается вопрос качественного внедрения информационного моделирования строительства (BIM) в рамках национального проекта «Цифро- вая экономика» в России для всех участников строительства.

Методы исследования: анализ степени применения BIM в стране, оценка значимости информационного моделирования для участников строительной отрасли, сбор аналитических дан- ных по проблематике статьи, а также использование статисти- ческих методов управления качеством в виде причинно-след- ственных связей диаграммы Исикавы.

Результаты исследования: анализ внедрения BIM в РФ по- казывает необходимость применения информационных техно- логий в строительстве и перспективы развития данной техно-

логии, а также с помощью приведенного опыта других стран описывает проблемы и сложности внедрения BIM.

Выводы исследования: для сохранения России в списке ли- деров в строительстве необходимо качественно и интенсивно внедрять BIM-технологии на каждом этапе строительства для всех участников строительного процесса. Это не только благо- творно повлияет на работу людей и строительную отрасль, но и в целом укрепит российскую экономику и науку. Внедрение BIM – это не просто вынужденная мера, это наш гражданский долг.

Ключевые слова: BIM, строительство, цифровизация, им- портозамещение, участники строительства, информационное моделирование зданий.

BIM.

Conclusions: to keep Russia on the list of leaders in construc- tion, it is necessary to implement BIM technologies efficiently and intensively at every stage of construction for all participants in the construction process. This will not only have a beneficial ef- fect on people's work and the construction industry, but will also strengthen the Russian economy and science in general. The in- troduction of BIM is not just a forced measure, it is our civic duty.

Keywords: BIM, construction, digitalization, import substitut- ion, construction participants, building information modeling.

Введение

Настоящая статья посвящена исследованию эффек- тивности внедрения и использования технологии инфор- мационного моделирования в строительстве, выявлению общих закономерностей ее развития в мире и особенно в Российской Федерации. Перед разбором основной про- блематики для понимания определимся с терминологи- ей, фигурирующей в статье.

BIM (Building Information Modeling) – информаци- онное моделирование строительства. Целостный про- цесс создания и управления информацией для проекти- руемого или уже построенного объекта. Основанный на интеллектуальной модели и поддерживаемый облачной платформой, BIM интегрирует структурированные меж- дисциплинарные данные для создания цифрового пред- ставления объекта на протяжении всего его жизненного цикла, от планирования и проектирования до строитель- ства и эксплуатации.

BIM-стандарт – свод внутренних нормативных до- кументов по взаимодействию с информационным моде- лированием: обозначение обязанностей участников про- ектирования, регламентирование совместной работы и создания модели для каждого раздела проектирования. Рассмотрим и проанализируем опыт применения BIM- технологий всеми участниками строительства, выявим основные проблемы внедрения технологий информаци- онного моделирования в РФ, используя анализ данных и статистические методы.

Материалы и методы

Проектные организации

В секторе проектирования технологии информацион- ного моделирования развиты на самом разном уровне, но отличном по сравнению с другими направлениями отрасли. Проектировщики всегда искали методы авто- матизации и оптимизации процесса создания проектной документации, потому во многих компаниях переход на BIM не имел принудительного характера, сотрудники ощущали удобство софта и зачастую делали программ- ное обеспечение (ПО) информационного моделирования главным инструментом фирмы. Основой таких фирм яв- ляются проектировщики с базовым владением Autodesk Revit или отечественного ПО. Они пользуются большим спросом на роли BIM-мастеров. Координаторы и менед- жеры информационного моделирования – руководящие звенья проектных организаций, контролирующие работу рядовых сотрудников, спрос на работников такого типа на порядок меньше.

На сегодняшний день наиболее актуальная статисти- ка внедрения BIM в компаниях приведена специалистом Вадимом Муратовым в публикации от 25 октября 2021 г. [1–2]. В результате исследования было опрошено 327 специалистов, представителей разных участников строи- тельства. Треть опрошенных – инженеры-проектировщи- ки. Согласно статистике, 42,6 % опрошенных признались, что официального внедрения BIM в компании не про- водилось, часть сотрудников не применяет технологии информационного моделирования. 33,6 % специалистов применяют BIM после прохождения обучения по бес- платным видео из открытых источников. И только 23,8 % сотрудников ответили, что внедрение информационного моделирования производилось при участии профессио- нальных консалтинговых компаний.

Данная статистика, в силу достаточного числа опро- шенных, подтверждает два критических вывода. Во- первых, качественную подготовку получает в среднем чет- верть действующих специалистов в РФ. Во-вторых, число BIM-координаторов/менеджеров на порядок меньше по сравнению с рядовыми проектировщиками, должности часто совмещают с обязанностями проектировщиков. Спрос на руководящие должности в BIM объясняется не только слабым развитием технологий информационного моделирования в РФ, но и непониманием необходимости работы менеджеров и координаторов в руководящих по- стах фирм и компаний. По мнению многих директоров, эту функцию может выполнить обычный конструктор или ГИП. Такую методику организации рабочего про- цесса может вызвать неосведомленность или халатность директората к особенностям внедрения информацион- го моделирования. Это чревато просрочкой дедлайнов, несогласованной работой сотрудников, возникновением коллизий, потерей ценных кадров, и, как следствие, утра- той самой технологии проектирования.

Необходимость работы BIM-менеджеров и координа- торов заключается в контроле коммуникации и режима работы специалистов. Для этого в отдельно взятой ком- пании разрабатывается своя экосистема, выстраиваемая пошагово в соответствии с уникальным BIM-стандартом, который, в свою очередь, разрабатывают топ-менеджеры информационного моделирования или специальные кон- салтинговые фирмы.

Такое заключение можно вывести из опыта работы европейских организаций, где данная технология разви- вается вот уже более 20 лет. В РФ существуют проектные компании с качественными BIM-стандартами, опытными координаторами и менеджерами, однако процент таких организаций в стране очень мал, большинство фирм вне- дряют информационное моделирование некачественно или фактивно.

Подрядные организации

Качество внедрения BIM у этого участника строитель- ства, как правило, хуже, чем у проектных организаций. Если при создании документации раздела РД сотрудники пользуются схожими методами с проектировщиками, то исполнители строительно-монтажных работ используют новые технологии на порядок примитивнее, и переход на цифровые технологии носит фиктивный характер. Недо- верие и отторжение новых технологий (не только BIM) свойственны низкоквалифицированным кадрам и участ- никам нетехнологических процессов. Основной базой ис- полнителей строительно-монтажных работ в России яв- ляются выпускники сузов и трудовые мигранты из стран СНГ, где автоматизация и информационные технологии находятся на третьем плане. Последствием таких обсто- ятельств для подрядной организации может стать несо- гласованность работы, которая, в свою очередь, станет причиной непроектных решений, простоя техники, срыва сроков проведения работ.

Проанализировав вышесказанное, можно выделить главную проблему подрядных организаций – низкий уро- вень подготовки участников строительно-монтажных ра- бот. Одна из главных причин этой проблемы – обучение по устаревшим материалам и методикам. Из исследова- ний ИСИЭЗ 2019 года [3] можно заметить самый низкий уровень инноваций РФ именно в строительной отрасли,

он составляет ~1,1 % от общей инновационной активности в России. Так, например, в сельском хозяйстве этот показатель близок к 3,4 %, а в промышленном производстве 9,2 %. Знания не только не доходят до сузов, но и почти не формируются на научном уровне.

Заказчик
Заказчик в РФ осуществляет контроль предпроектных, проектных и строительных работ от лица застройщика. Часто сотрудники данного участника строительства, замечая несоответствия с ТЗ и иные расхождения, вступают в конфронтацию с проектными организациями и подрядчиками. Происходит это не из-за низкой квалификации специалистов, а из-за несогласованности действий или многоплановости и разносторонности организации контроля в силу сложности и степени ответственности объекта.

Знание основ информационного моделирования необходимо заказчику (застройщику) для подробного и точного анализа проектной и рабочей документации всех разделов строительства: результаты инженерных изысканий, ПОС, ППР и прочие. Особенно на стадии проектирования заказчику полезно использовать BIM, так как с его помощью он может осуществлять контроль не только по чертежам и пояснительной записке, но и через информационную модель объекта, что позволит осмотреть самый подробный спектр информации: конструктивные решения, инженерные системы, методику расчетов, пояснения и принципы подбора оптимальных решений проектировщиков.

Резюмируя вышесказанное, отметим, заказчик посредством качественного внедрения BIM получает прозрачный, систематизированный и самый подробный инструмент для контроля проектирования. Результатом деятельности знающего все технические тонкости информационного моделирования заказчика может стать оптимизация экономики проекта: выбор самых оптимальных строительных конструкций, инженерных систем, строительных материалов и оборудования, которое необходимо заказчику.

Инвестор
Основная задача инвестора – привлечение капитала для реализации инвестиционно-строительного проекта. Одной из главных составляющих этой задачи является выбор генерального проектировщика. При подборе инвестор должен предусмотреть несколько факторов: сроки реализации, качество, бюджет и применяемые техноло-

гии при создании проектной документации. Последний пункт нередко игнорируется инвесторами, поскольку сотрудники банально могут не владеть основами BIM-технологий, не знать об их преимуществах над стандартными CAD-инструментами.

Инвестор принимает участие в предпроектных работах, в согласовании проектной документации и даже может не подозревать о наличии коллизий, например в проекте скрытых работ, о выборе невыгодных, некачественных и неоптимальных конструктивных решений – все это вскрывается позже, на стадии составления рабочей документации или даже на стадии строительства. Логичное следствие позднего обнаружения проектных ошибок или несостыковок с видением заказчика и инвестора – это чрезмерные переплаты за изменения проекта, растущие в геометрической прогрессии с течением времени. Информационная модель проекта позволяет избежать излишних затрат, поздних правок и некорректных конструктивных решений. BIM-модель ставит экономику объекта в устойчивое положение и даже позволяет спрогнозировать затраты на стадии эксплуатации.

Известный американский архитектор и автоматизатор Патрик МакЛими на основе своего многолетнего опыта составил диаграмму, которая наглядно объясняет выгоду выбора инвестором проектной организации, использующей BIM-технологии при разработке на стадии П (рисунок 1).

На диаграмме изображены кривые в координатной плоскости эффекта/усилия и времени, разбитого на стадии строительства. Черный график традиционного проектирования достигает экстремума по оси эффекта на стадии рабочей документации, это показывает, что использование стандартных CAD-технологий вынуждает вносить множество правок и корректировок в документации непосредственно в момент самого строительства или максимальной готовности к нему. При этом синяя и красная функции показывают способность воздействия на проект и стоимость изменений в нем соответственно. Вывод из описанной части диаграммы очевиден: возможность внесения правок стандартная, их цена не так высока, однако можно достичь более высокой эффективности.

Зеленый график BIM-проектирования достигает максимума своего эффекта быстрее, чем черная линия традиционных технологий, еще на стадии П, экстремум расположен под синей кривой воздействия и в то же время намного выше графика, отображающего стоимость изме-

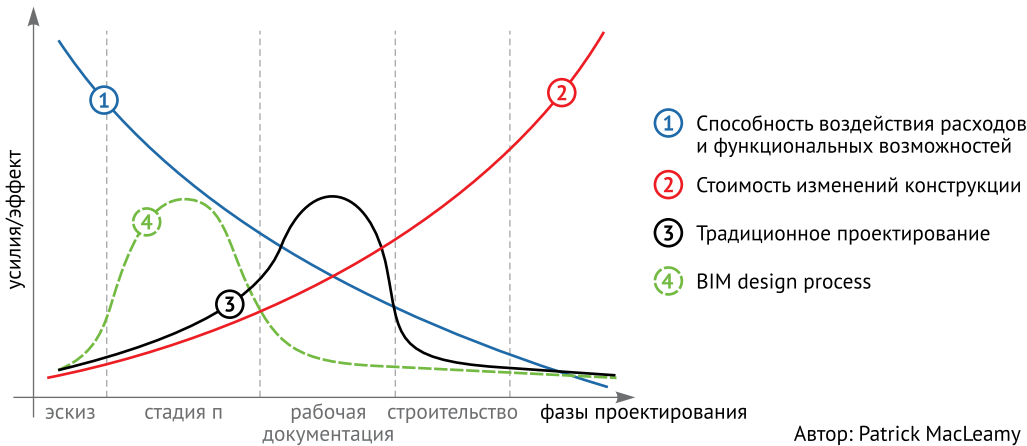


Рис. 1. Диаграмма Патрика МакЛими
Fig. 1. Diagram by Patrick MacLeamy

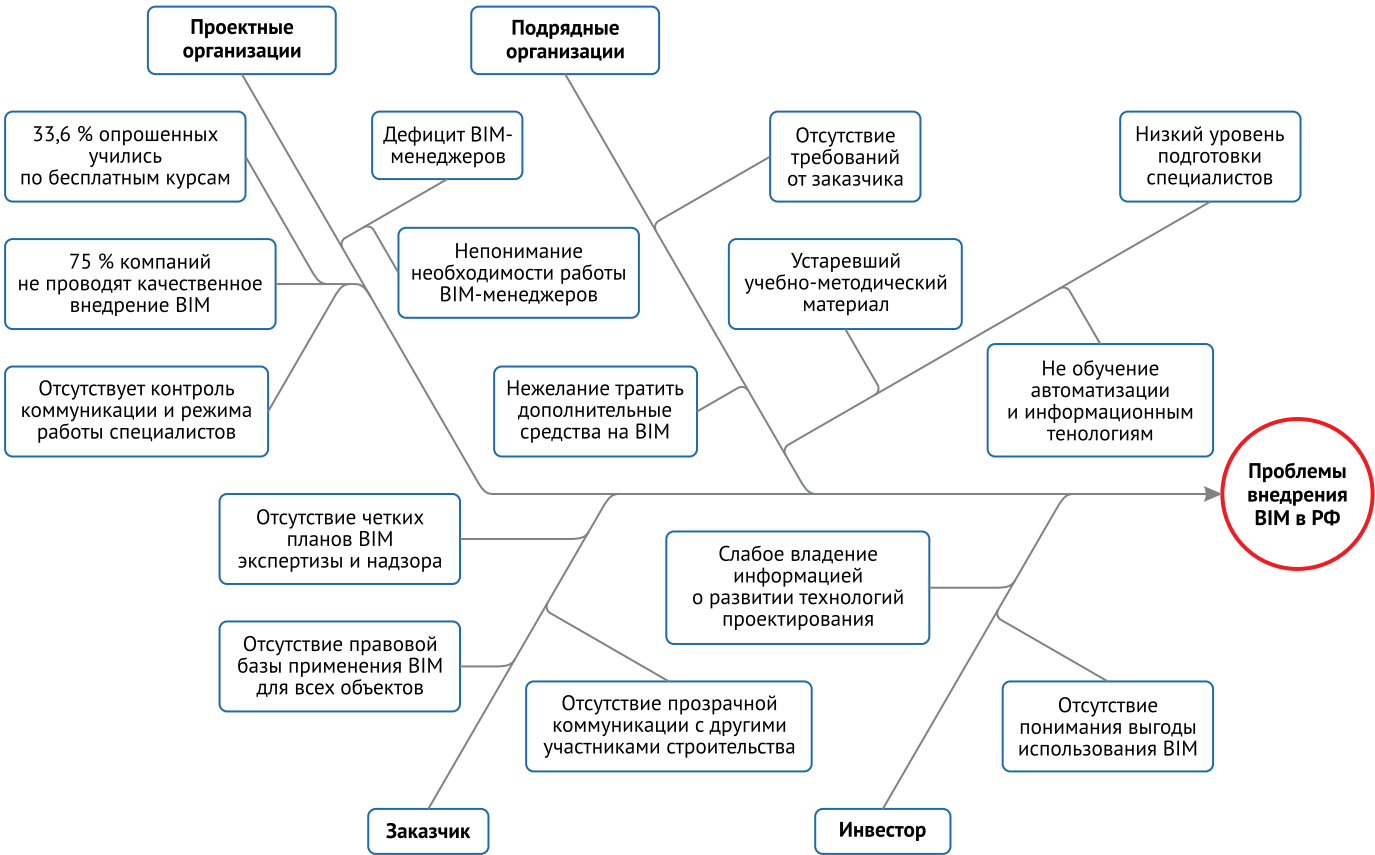


Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма Исикавы о проблематике внедрения BIM в РФ
Fig. 2. Ishikawa Cause-and-Effect Diagram on the problems of BIM implementation in the Russian Federation

нений, что показывает высокую эффективность применения информационного моделирования в процессе [4–5]. Из взаимного расположения графиков на диаграмме МакЛими и анализа каждого из них видно, что проектирование с помощью BIM менее затратно материально и более экономно по времени, чем проектирование с применением стандартного CAD-инструментария.

Резюмируя все вышесказанное, можно составить наглядную схему, используя статистические методы контроля качества в виде диаграммы Исикавы (рисунок 2). Она, в свою очередь, четко показывает причинно-следственную связь в проблематике внедрения BIM в РФ.

Результаты
Итак, проведя анализ общественной оценки и состояния внедрения BIM в отрасли, мы пришли к следующим результатам. Каждый участник строительства получает разного рода преимущество от использования информационной модели: бюджетное, временное или качественное. И действительно, в открытых источниках можно найти множество отзывов о положительном опыте применения информационного моделирования. Пользователи пишут об удобстве использования, сокращении сроков работ, делятся своими проектами по самым разным направлениям.

Однако встречаются и отрицательные заявления в сторону BIM. Причина в большинстве случаев проста – неграмотное внедрение технологии. Это может быть местное применение проектировщиками, которые приходят в недоумение от невозможности раскрытия всего потенциала софта в силу отсутствия корпоративной структуры BIM. В этом случае технология может применяться как стандартный CAD-инструмент для черчения или оформления документации, который не подразумевает передачи

информации по проекту между участниками строительства или даже между проектировщиками. Другая причина – фиктивный характер внедрения информационного моделирования. Такое решение принимают директора строительных фирм для галопирующего перехода на технологии информационного моделирования, что можно использовать как маркетинговый ход для привлечения заказов на объекты капитального строительства.

В России наблюдается небольшой рост в использовании данных технологий, а соответственно, и скромное число специалистов в этой области. Быстрый переход на BIM объясняется выходом в свет ПП РФ от 05.03.2021 № 331 «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» [6], которое обязало с 01.01.2022 г. застройщиков применять технологии информационного моделирования для строительства объектов, где применяется государственный бюджет самого разного уровня. Многие специалисты в сфере информационных технологий ставят под сомнение эффективность этого постановления. Основная аргументация этой позиции – опыт других государств.

Так, например, Великобритания вводила аналогичное постановление в 2011 году. Условия документа точно такие же, за исключением одной детали – обязательное применение BIM с 01.04.2016. Однако качественный подход к информационному моделированию требовался уже в 2011 году, так как Соединенное Королевство готовилось к летней олимпиаде в Лондоне 2012 года, требовалось вну-

шительное число уникальных сооружений в достаточно сжатый срок. Экономическая составляющая строительного сектора в Великобритании оценивалась как безденежная. Анализируя ситуацию, мы видим, что перед страной была поставлена задача спроектировать, построить и ввести в эксплуатацию десятки уникальных сооружений, при этом не было ни денег, ни времени. Тогда британское правительство учредило UK BIM Alliance, группу специалистов-энтузиастов, готовую заняться стандартизацией технологии информационного моделирования. После летней олимпиады 2012 года правительство Великобритании дало застройщикам почти 5 лет на внедрение BIM. За это время страна успела обучить специалистов самых разных уровней, а BSI (Британский институт стандартов) совместно с BIM Alliance и BIM Framework UK – нарастить научно-материальную базу, ввести стандарты и разработать экосистемы софта. Был написан ISO19650, который стал основой внедрения технологий для многих развитых стран. Итог – Великобритания на момент конца 2022 года является международным лидером в сфере технологий информационного моделирования [7–8].

Опыт Соединенного Королевства считается положительным на фоне мирового уровня внедрения BIM-технологий. Однако некоторые критики утверждают, что жесткая стандартизация, что прошла в Великобритании, излишне контролирует весь процесс эксплуатации BIM-модели. По мнению экспертов, английский подход делает неконкурентоспособными уже имеющиеся технологии проектирования, а также не позволяет качественно создавать принципиально новые методы, ставит их вне установленной системы. То есть государство не только контролирует результат информационного моделирования, но и с систематичной строгостью следит за процессом создания и достижения цели, что отрицательно влияет на уровень инноваций в технологиях строительного проектирования.

В РФ правительство дало строительному сектору в разы меньше времени для перехода на технологии информационного моделирования, чем английские власти. Системный подход и пятилетний срок внедрения BIM государственного масштаба эксперты считают основными преимуществами британского опыта над российским. В

то же время жесткое регламентирование процессов проектирования отмечают недостатком и предпосылкой для возможного зстоя в развитии новых строительных технологий в Великобритании.

Заключение

После ухода Autodesk из РФ для исполнения национального проекта «Цифровая экономика» возникли новые сложности, особенно это затронуло ПП РФ от 05.03.2021 № 331. Многие отечественные производители ПО выпускают аналоги утраченных зарубежных продуктов, при этом некоторые виды программ, в силу слабого освоения российскими организациями, аналогов не имеют. Технические возможности и удобство пользования отечественных аналогов в сфере информационного моделирования на порядок уступают иностранным программам. Возможность параллельного импорта препятствует росту продаж российского ПО на рынке. Отсутствие точной кадровой подготовки и многие другие факторы зачастую вводят строительный сектор в замешательство. BIM теряет спрос и замедляет темпы внедрения в процесс строительства.

Международная компания PlanRadar провела исследование: какой процент застройщиков использует технологии информационного моделирования в странах мира [6; 9]. На первых позициях – Великобритания и Германия с 80 и 73 процентами соответственно, третье место занимает Франция – 60 процентов. Россия же находится на шестом месте с 12 процентами застройщиков. Причем еще три года назад этот показатель был равен 7 %. Налицо положительная динамика развития BIM-технологий в нашей стране.

Сегодняшняя задача – продолжать увеличивать этот процент, решая проблемы, обозначенные авторами в данной статье. Необходимо качественно и интенсивно внедрять технологии информационного моделирования на каждом этапе строительства для всех участников строительного процесса. Это не только благоприятно повлияет на работу людей и строительную отрасль, но и в целом укрепит российскую экономику и науку. Внедрение BIM – это не просто вынужденная мера, это наш гражданский долг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурова, О. А. Применение BIM-технологий в строительстве: отечественный и мировой опыт / О. А. Бурова, А. С. Божик, А. В. Шевцов // Вестник МФЮА. – 2020. – № 2. – С. 84–90.
2. Муратов, В. Р. BIM в России и СНГ: результаты большого опроса / Блог Вадима Муратова : [электронный ресурс]. – 2021. – URL: <https://dzen.ru/media/muratovbim/bim-v-rossii-i-sng-rezultaty-bolshogo-oprosa-614738c68a833355e7c821b6>.
3. Индикаторы инновационной деятельности: 2018: статистический сборник / Н. В. Городникова, Л. М. Гохберг, К. А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – Москва : НИУ ВШЭ, 2018. – 344 с.
4. Кравченко, Т. В. BIM-технологии в управлении строительными проектами / Т. В. Кравченко // Молодой ученый. – 2019. – № 3 (241). – С. 176–179.
5. Kisel, T. Application of BIM technologies in construction in Russia / T. Kisel. – DOI 10.1051/e3sconf/201911002148 // E3S Web of Conferences / International Science Conference on

REFERENCES

1. Burova, O. A. Primenenie BIM-tekhnologij v stroitel'stve: otechestvennyj i mirovoj opyt [Application of BIM technologies in construction: domestic and world experience] / O. A. Burova, A. S. Bojik, A. V. Shevtsov // Vestnik MFYUA [Bulletin of MFUA]. – 2020. – № 2. – P. 84–90.

- Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPBWOSCE-2018, St. Petersburg, 10–12 декабря 2018 года. – 2019. – Vol. 110. – P. 02148.
6. Болотова, А. С. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России / А. С. Болотова, Я. И. Маршавина. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 // Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 70–80.
7. Романова, О. BIM-технология: уровень распространения в 7 ведущих странах / О. Романова // PlanRadar : [электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://www.planradar.com/ru/bim-tekhnologiya-uroven-rasprostraneniya-v-7-stranah>.
8. Талапов, В. В. Внедрение BIM: фундаментальный опыт Великобритании / В. В. Талапов // САПР и графика. – 2017. – № 3. – С. 23–29. – URL: <https://ardexpert.ru/article/8850>.
9. Отчет по исследованию «Уровень применения BIM в России 2019» / ООО «Конкуратор» : [официальный сайт]. – 2019. – URL: http://concurator.ru/information/bim_report_2019.

2. Muratov, V. R. BIM v Rossii i SNG: rezul'taty bol'shogo oprosa [BIM in Russia and the CIS: results of a large survey] / Blog of Vadim Muratov : [electronic resource]. – 2021. – URL: <https://dzen.ru/media/muratovbim/bim-v-rossii-i-sng-rezultaty-bolshogo-oprosa-614738c68a833355e7c821b6>.
3. Indikatory innovatsionnoj deyatel'nosti: 2018: statisticheskij

sbornik [Indicators of innovation activity: 2018: statistical collection] / N. V. Gorodnikova, L. M. Gokhberg, K. A. Ditkovsky, etc.; National research. uni-t «Higher School of Economics». – Moscow : HSE, 2018. – 344 p.

4. Kravchenko, T. V. BIM-tekhnologii v upravlenii stroitel'nyimi proektami [BIM-technologies in the management of construction projects] / T. V. Kravchenko // Molodoy uchenyj [Young scientist]. – 2019. – № 3 (241). – P. 176–179.
5. Kisel, T. Application of BIM technologies in construction in Russia / T. Kisel. – DOI 10.1051/e3sconf/201911002148 // E3S Web of Conferences / International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPBWOSCE-2018, St. Petersburg, December 10-12, 2018. – 2019. – Vol. 110. – P. 02148.
6. Bolotova, A. S. Problemy vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v Rossii [Problems of information modeling technology implementation in Russia] / A. S. Bolotova, Ya. I. Marshavina. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 //

УДК 658.2

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_119

Методика формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС

Methodology for the Formation of the Organizational Structure of the Project during the Large-Block Construction of NPP

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 «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

Кабанов Александр Васильевич

Кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Экономика и менеджмент», ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский проспект, 9, avkabanov07@inbox.ru

Kabanov Alexander Vasilievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty «Economics and Management», St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I (PGUPS), Russia, 190031, St. Petersburg, Moskovsky prospekt, 9, avkabanov07@inbox.ru

Шашков Алексей Андреевич

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

Shashkov Alexey Andreevich

Postgraduate student of the Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, creatorjl@mail.ru

Аннотация. Целью данной статьи является разработка методики формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении атомных электростанций (АЭС). Методика разрабатывается в рамках применимости отраслевой системы Total Cost Management Nuclear Construction (TCM NC). Даны краткие характеристики строительного проекта и применяемых при его реализации технологий возведения АЭС – традиционной и крупноблочной. Выделены факторы крупноблочного возведения, влияющие на организационную структуру проекта, среди которых есть как факторы, влияющие непосредственно на определение трудозатрат, так и факторы, которые можно использовать как граничные условия. Сформирована последовательность формирования организационной

структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС, позволяющая разработать наиболее адаптивную к выбранной технологии структуру строительного проекта. Проанализированы ранее разработанные методы определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС. Сформулирован подход к анализу трудозатрат проектного и логистического блоков, предполагающий собой учет изменений проектной продукции и транспортных ресурсов. Построен алгоритм формирования организационной структуры в зависимости от степени укрупнения армоблоков и степени применения крупноблочного возведения. Приведены характерные изменения блоков организационной структуры строительного проекта

при применении крупноблочного метода возведения. Оценено применение разработанной методики на различных этапах жизненного цикла проекта.

Abstract.
The purpose of this article is to develop a methodology for the formation of the organizational structure of the project during the large-block construction of nuclear power plants (NPP). The methodology is being developed within the applicability of the Total Cost Management Nuclear Construction (TCM NC) industry system. Brief characteristics of the construction project and the technologies used in its implementation for the construction of NPP – conventional and large-block – are given. The factors of large-block construction that affect the organizational structure of the project are identified, among which there are both factors that directly affect the determination of labor costs, and factors that can be used as boundary conditions. The sequence of formation of the organizational structure of the project during the large-block construction of NPP has been formed, which makes it possible to develop the structure of the construction project that is most adaptive to the chosen technology. Previously developed

Ключевые слова: строительный проект, организационная структура, жизненный цикл, снижение сроков строительства, крупноблочное строительство, TCM NC.

methods for determining labor costs are analyzed depending on the degree of use of the large-block method and the degree of consolidation of the reinforced block during the construction of a nuclear power plant. An approach has been formulated to analyze the labor costs of the design and logistics blocks, which involves taking into account changes in design products and transport resources. An algorithm for the formation of an organizational structure has been constructed depending on the degree of enlargement of reinforced blocks and the degree of use of large-block construction. The characteristic changes in the blocks of the organizational structure of the construction project when using the large-block construction method are given. The application of the developed methods at various stages of the project life cycle was evaluated.
Keywords: construction project, organizational structure, life cycle, construction time reduction, large block construction, TCM NC.

Введение
Рациональное управление сроками и стоимостью крайне важно для успешной реализации инвестиционно-строительных проектов. На базе системы Total Cost Management Framework, которая представляет собой структурированную аннотированную карту процесса, объясняющего каждую область деятельности в области стоимостного инжиниринга в контексте ее связи с другими областями деятельности, включая смежные [1], специалистами Государственной Корпорации «Росатом» была разработана система комплексного управления стоимостью и сроками инвестиционно-строительных проектов – Total Cost Management Nuclear Construction (TCM NC). Она представляет собой совокупность методик, процессов, ресурсов, работающих в рамках соответствующих организационно-административных структур, используемых при управлении инвестиционно-строительными проектами [2]. Такая система создана для применения при реализации сложных и объемных проектов, какими являются проекты возведения АЭС.

- Выделить факторы крупноблочного возведения, влияющие на организационную структуру проекта;
- Составить последовательность формирования организационной структуры;
- Проанализировать ранее разработанные методы определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС;
- Сформулировать подход к анализу трудозатрат проектного и логистического блоков;
- Разработать алгоритм формирования организационной структуры;
- Оценить применение разработанной методики.

Материалы и методы
Исследование заключается в определении влияния технологических и организационных факторов различных методов возведения железобетонных конструкций на организационную структуру проекта посредством увеличения, уменьшения, а как следствие, перераспределения трудозатрат между участниками проекта. На основе определенного влияния факторов формируется принципиальная схема методики формирования организационной структуры проекта. Определение факторов и их воздействия на организационную структуру производится на основе анализа технологий, применяемых в реализуемых в настоящее время проектах АЭС российского дизайна.

Результаты
Одной из главных особенностей возведения больших и сложных сооружений, какими являются объекты АЭС, становится новый подход к формированию гибкой организационной структуры, основанной на широком применении гибридных технологий строительства, сочетающих в себе как традиционные методы, так и новые способы строительства, основанные на принципах крупноблочного монтажа.

В качестве объекта для формирования организационной структуры будем рассматривать строительный проект. Строительный проект – это часть инвестиционно-строительного проекта, в которой не учитываются вопросы инвестиционно-экономической деятельности. Основными участниками строительного проекта являются функциональные блоки, среди которых можно выделить:

- Блок заказчика;
- Проектный блок;



Рис. 1. Последовательность формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС
Fig. 1. The sequence of formation of the organizational structure of the project during the large-block construction of NPP

- Блок подрядчика;
 - Блок поставщиков материалов;
 - Индустриальный блок;
 - Логистический блок.
- В рамках исследования рассмотрим технологию крупноблочного возведения железобетонных конструкций. В отличие от традиционной монолитной технологии строительства, когда железобетонные конструкции возводятся с помощью инвентарной опалубки, а армирование производится отдельными стержнями, при использовании крупноблочной сборно-монолитной технологии возведения армирование производится пространственными арматурными каркасами, а сами армоопалубочные блоки (армоблоки), как правило, имеют несъемную опалубку. Поскольку технология крупноблочного возведения имеет особенности, связанные как с конструкцией, так и с производством и монтажом [5–11], то, проведя анализ, можно выделить следующие факторы, оказывающие влияние на организационную структуру проекта:
- Технологические:
 - степень использования армоблоков;
 - габариты армоблоков;
 - конфигурация армоблоков;
 - Организационные:
 - сроки строительства;
 - требования заказчика;
 - помехи в работе трудовых ресурсов;
 - размеры строительной площадки;
 - Ресурсные:
 - количество трудовых ресурсов;
 - квалификация трудовых ресурсов;
 - количество грузоподъемных механизмов;
 - типы используемых грузоподъемных механизмов;
 - количество индустриальных производств;

- удаленность промышленных производств;
- Инфраструктурные:
 - виды транспортных магистралей;
 - характеристики транспортных магистралей;
 - возможность создания новых производств.

Первые три фактора, являющиеся технологическими, определяют непосредственное слияние на определение трудозатрат участников строительного проекта, в то время как остальные факторы можно считать граничными условиями.

Методика формирования организационной структуры строительного проекта основывается на перераспределении трудозатрат как между блоками строительного проекта, так и внутри данных блоков, а также внутри предприятий, входящих в каждый из блоков. За основу берется организационная структура строительного проекта при возведении железобетонных конструкций АЭС традиционным методом. Далее данная структура определенным образом трансформируется. Предложена следующая последовательность формирования организационной структуры проекта (рисунок 1).

Для определения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций измеряются трудозатраты на объекте-аналоге. Требуемыми данными для расчета являются геометрические характеристики конструкций: толщина конструкций, объем конструкций, продолжительность, требуемое число рабочих и сменность по каждой технологической операции.

На основе полученных статистических данных вычисляются сначала общие трудозатраты – как произведение продолжительности, сменности, численности рабочих. На их основе вычисляются удельные трудозатраты – как отношение общих трудозатрат по каждой из операций к объему работ по каждой из операций в соответствующих единицах измерения. Далее для корректного сопоставления трудоемкостей требуется привести удельные трудозатраты к единой единице измерения. В качестве данной единицы выбраны трудозатраты на единицу объема бетона конструкции. Для приведения удельных трудозатрат к единой величине трудозатраты умножаются на отношение объема работ по данному процессу к общему объему бетона в исследуемой конструкции. Суммарные приведенные трудозатраты вычисляются суммированием приведенных трудозатрат по различным операциям [12; 13].

Для определения трудозатрат на монтаж армоблоков складываются трудозатраты на установку армоблока (подъем армоблока на отметку, выставление армоблока в проектное положение, раскрепление и растроповка армоблока) и стыковку блоков. Общие трудозатраты на мон-

таж армоблока складываются из удельных трудозатрат по категориям, умноженных на объем категории [14].

Для проектного блока трудоемкость характеризуется объемом проектной продукции, объем которой возрастает для армоопалубочных конструкций по сравнению с технологией традиционного строительства. Вычислив соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации каждой железобетонной конструкции для различных технологий возведения, требуется найти усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации. Получим данное значение по формуле:

$$\bar{r}_s = \frac{\sum_i r_i \cdot V_i}{\sum_i V_i}, \tag{1}$$

где $\bar{r}_s$ – усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации для различных технологий возведения железобетонных конструкций;

r_i – соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации i -ой железобетонной конструкции для различных технологий возведения;
 V_i – объем бетона i -ой железобетонной конструкции, м³.

Сравнительный анализ объемов проектной продукции для различных технологий возведения приведен в таблице 1.

Трудозатраты на разработку рабочей документации при использовании армоопалубочных конструкций будут иметь вид:

$$C_b^d = k_r \cdot \bar{r}_s \cdot C_i^d, \tag{2}$$

где C_b^d – трудозатраты на разработку рабочей документации при использовании армоопалубочных конструкций, чел.-ч;

C_i^d – трудозатраты на разработку рабочей документации при традиционном строительстве, чел.-ч;

$\bar{r}_s$ – усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации для различных технологий возведения железобетонных конструкций;

k_r – понижающий коэффициент, характеризующий наличие схожих элементов в конструкциях различных армоблоков.

Трудозатраты логистического блока зависят от двух основных параметров: объема перевозок и дальности перевозок. При расчете трудозатрат к чистому времени перевозки армоблоков прибавляется также время простоя при загрузке и разгрузке транспортного средства.

Трудоемкость одного рейса будет вычисляться на основе его продолжительности по времени. Продолжительность рейса находится следующим образом:

$$t_{run} = \frac{2 \cdot L_{trans}}{v_{trans}} + t_l + t_{ul} + n_{ul} \cdot \bar{t}_{ts}, \tag{3}$$

где t_{run} – продолжительность одного рейса по перевозке армоблоков, ч;

L_{trans} – дальность перевозки, м;

v_{trans} – средняя скорость перевозки армоблоков, км/ч;

t_l – продолжительность загрузки армоблоков, ч;

t_{ul} – продолжительность выгрузки армоблоков, ч;

n_{ts} – количество технических остановок;

t_{ts} – среднее время технической остановки, ч.

На основе продолжительности одного рейса вычисляем его трудозатраты:

$$c_{run} = n_d \cdot t_{run}, \tag{4}$$

где c_{run} – трудозатраты на выполнение одного рейса по перевозке армоблоков, чел.-ч;

n_d – количество человек в транспортном средстве, чел.

Общее количество требуемых рейсов вычисляется исходя из общего объема грузоперевозок, который равняется сумме масс (или объемов) всех перевозимых армоблоков и грузоподъемности (или максимального допустимого объема груза) транспорта. Формула для вычисления требуемого количества рейсов выглядит следующим образом:

$$N_{run} = \max \left(\frac{\sum_i M_i}{\sum_i B_i}; \frac{\sum_i V_i}{\sum_i V_i^{lim}} \right); \tag{5}$$

где N_{run} – количество рейсов, требуемое для перевозки общего объема армоблоков;

M_i – масса i -го армоблока, т;

B_i – грузоподъемность i -го транспортного средства, т;

V_i – объем i -го армоблока, м³;

V_i^{lim} – предельный перевозимый i -м транспортным средством объем груза, м³.

Общие трудозатраты на перевозку армоблоков будут равняться:

$$C_{ship} = N_{run} \cdot (c_{run} + c_j + c_{ul}), \tag{6}$$

где C_{ship} – общие трудозатраты на перевозку армоблоков, чел.-ч;

c_l – трудозатраты загрузки армоблоков, чел.-ч;

c_{ul} – трудозатраты выгрузки армоблоков, чел.-ч.

На основе методов определения трудозатрат различных блоков строительного проекта в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока, а также учета граничных условий при возведении АЭС крупноблочным методом построим алгоритм формирования организационной структуры строительного проекта. Алгоритм показан на рисунке 2. Данный алгоритм иллюстрирует техническую реализуемость методики формирования организационной структуры строительного проекта.

Трансформация организационной структуры происходит путем изменения организационных структур предприятий, входящих в блоки строительного проекта, реже – путем изменения организационных структур самого блока.

Требования образования новых элементов или подсистем продиктованы двумя основными факторами:

1. Превышение критической численности персонала в элементе или подсистеме;
2. Требование специализации.

Критическая численность персонала элемента или подсистемы характеризует максимальное число персонала, при котором система (элемент или подсистема) остается устойчивой и управляемой. При превышении критической численности удельная эффективность системы снижается, поскольку управляющие сигналы не могут в установленном режиме достигать исполнителей. Поддержание такой неустойчивой системы нерентабельно. Как правило, для решения данной проблемы можно прибегнуть к реорганизации структуры организации.

Наибольшая трансформация при использовании технологии крупноблочного возведения затрагивает блок подрядчика, поскольку изменение технологии напрямую влияет на перераспределение трудозатрат внутри блока подрядчика либо на передачу трудозатрат в промышленный блок.

Блок заказчика и проектный блок трансформации организационных структур затрагивают в меньшей степени, так как на данные блоки приходится меньшая доля трудозатрат. В проектном блоке наблюдается увеличение численности структур, отвечающих за выпуск проектной продукции, вследствие увеличения объемов требуемой рабочей документации. Еще одним из факторов организационной структуры проектного блока являются требования, накладываемые применением технологии крупноблочного строительства. Армоопалубочные конструкции требуют достаточно высокой степени точности изготовления, следовательно, они также требуют высокой степени проработки рабочей документации. Такая степень проработки без экспоненциального роста трудозатрат возможна лишь при использовании BIM-технологий проектирования (building information model – объектно-ориентированная модель строительного объекта), которое требует создания должностей BIM-координаторов. В блоке заказчика основная трансформация основана на специализированных требованиях входного контроля поставляемых армоопалубочных блоков и контроля производства строительно-монтажных работ.

При изготовлении армоопалубочных конструкций за пределами строительно-монтажной базы возрастают трудозатраты логистического блока, выражающиеся в увеличении обычных грузоперевозочных средств либо в необходимости применения специальных транспортных средств для армоблоков больших конфигураций. Такие средства в организационной структуре транспортного предприятия логично выделить в отдельный элемент специализированной автоколонны. Также возможно создание или привлечение специализированного транспортного предприятия.

При изготовлении армоблоков силами промышленного блока необходимо устраивать на предприятии-изготовителе отдельный производственный цех армоблоков. Также возможно привлечь для производства армоблоков отдельный по сравнению с организационной структурой при традиционной технологии возведения завод металлоконструкций.

Для организационной структуры блока поставщиков материалов трансформация будет зависеть от вида применяемых армоблоков: наличие или отсутствие несъем-

Наименование конструкции	Количество листов в типовом комплекте армирования рабочей документации, шт.		Соотношение листов (крупноблочная к традиционной технологии)
	Традиционная технология	Крупноблочная технология	
Фундаментная плита	13	338	26,0
Транспортный портал. Конструкции фундамента	5	9	1,8
Контурные стены обстройки	12	171	14,3
Цилиндрическая часть НЗО	24	214	8,9
Внутренние стены обстройки	16	223	13,9
Перекрытия обстройки	32	161	5,0
ЗЛА. Шахта реактора	12	27	2,3

Табл. 1. Сравнительный анализ объемов проектной продукции для различных технологий возведения железобетонных конструкций

Tab. 1. Comparative analysis of the volumes of design products for various technologies for the construction of reinforced concrete structures

REFERENCES

1. Total Cost Management Framework. An integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Managment / CCP FAACE ; edited by H. L. Stephenson. – 2nd ed. – Morgantown, USA : AACE International, 2015.
2. Metodologicheskoe rukovodstvo po sisteme TCM NC [Methodological guide to the TCM NC system] / under the general editorship of G. S. Sakharov; Goskorporatsii «Rosatom» [Rosatom State Corporation], OCCS. – Moscow, 2020.
3. Morozenko, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskie aspekty krupnoblochnogo vozvedeniya atomnykh ehlektrostantsij [Organizational and technological aspects of large-block construction of nuclear power plants] / A. A. Morozenko, A. A. Shashkov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 5 (95). – P. 28–33.
4. Morozenko, A. A. Povyshenie ehffektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve AEHS na osnove sovremennogo rossijskogo i zarubezhnogo opyta [Improving the efficiency of organizational and technological solutions in the construction of nuclear power plants based on modern Russian and foreign experience] / A. A. Morozenko, I. E. Voronkov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2014. – № 10. – P. 74–79.
5. Gritsenko, A. S. Tekhnologiya krupnoblochnogo montazha nes'emnoj opalubki reaktornykh otdelenij AEHS : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08 [Technology of large-block installation of fixed shuttering of reactor NPP departments : autoref. dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.08] / Gritsenko Alexander Sergeevich; KISI. – Kiev, 1990. – 22 p.
6. Issledovanie funktsional'no-tekhnologicheskikh ogranichenij pri krupnoblochnom stroitel'stve atomnykh ehlektrostantsij [Research of functional and technological limitations in large-block construction of nuclear power plants] / A. A. Morozenko, V. V. Belov, I. E. Voronkov, A. S. Kabanov // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya : Sbornik dokladov Pervoj Natsional'noj konferentsii, Moskva, 30 sentyabrya 2020 goda [Actual problems of the construction industry and education : Collection of reports of the First National Conference, Moscow, September 30, 2020]. – Moscow : Natsional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [National Research Moscow State University of Civil Engineering], 2020. – P. 341–348.
7. Berndt, A. Opredelenie ratsional'noj blochnosti konstrukt-sij reaktornogo otdeleniya AEHS s reaktorami VVEHR-1000 : dis. ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.08 [Determination of the rational blockiness of the reactor compartment structures of nuclear power plants with VVER-1000 reactors : dis. ... Doct. of Technical Sciences : 05.23.08] / Anderas Berndt. – Moscow, 1985. – 315 p.
8. Pergamenschchik, B. K. Izmenenie velichiny trudozatrata pri ukрупnenii spetsial'nykh konstrukt-sij AEHS [The change in the amount of labor costs during the enlargement of special NPP structures] / B. K. Pergamenschchik, R. R. Temishev // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – № 1. – P. 138–143.
9. Temishev, R. R. Prognozirovaniye trudovykh zatrat pri montazhe stroitel'nykh konstrukt-sij AEHS : avtoref. dis. ... kand. ehkon. nauk : 08.00.05 [Forecasting labor costs during the installation of NPP building structures: abstract. dis. ... Candidate of Economic Sciences : 08.00.05] / Temishev Rustan Ramzanovich; MGSU. – Moscow, 1995. – 20 p.
10. Nuclear power plants: innovative construction technique and design / S. Chakraborty, S. Shiha, S. Chakraborty, S. Das, S. C. Yadav, M. K. Mandal, S. Kumawat // Journal of Energy Research and Environmental Technology. – 2016. – Vol. 3, Iss. 3. – P. 176–180.
11. Construction technologies for nuclear power plants / IAEA. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011.
12. Morozenko, A. Resource assessment of large-block construction of NPP / A. Morozenko, A. Shashkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869 (6) – P. 062025.
13. Morozenko, A. Labor costs management in the large-block construction of NPP / A. Morozenko, A. Shashkov // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 263. – P. 02040.
14. Morozenko, A. A. Metodika opredeleniya trudozatrata vozvedeniya AEHS v zavisimosti ot stepeni ukрупneniya armobloka [Methodology for determining the labor costs of NPP construction depending on the degree of enlargement of the armoblock] / A. A. Morozenko, A. A. Shashkov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 3. – P. 47–53.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_126

Технологические особенности применения полимерной композитной арматуры в бетонных конструкциях

Technological Features of Using Polymer Composite Reinforcements in Concrete Structures

Жадановский Борис Васильевич

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Zhadanovsky Boris Vasilievich

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

Базанов Владимир Евгеньевич

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

Bazanov Vladimir Evgenievich

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

Аннотация

Цель. Цель публикации заключается в выявлении на основе анализа особенностей проведения работ на строительной площадке с использованием полимерной композитной арматуры для монолитных бетонных конструкций. Композитная арматура находит широкое применение наряду со стальной арматурой. Для обеспечения требуемых ее физико-механических характеристик в качестве армирующего наполнителя используются различные виды волокон (стеклянное, углеродное, базальтовое).

Методы. Проанализированы физико-механические и химические свойства полимерной арматуры, проведено сравнение характеристик полимерной и стальной арматуры, выполнен теоретический анализ нормативно-технических требований и обобщение научной литературы по выполнению арматурных работ.

Результаты. Рассмотрены основные виды и номенклатура выпускаемой композитной полимерной арматуры, действующие технические условия и требования к продукции. Отмечены преимущества и недостатки композитной арматуры по сравнению со стальной, и выявлена предпочтительная область ее применения. Показано влияние свойств и характеристик ар-

Abstract

Object. The purpose of the paper is to identify, based on analysis, the specific features of construction site works involving use of polymer composite reinforcements for cast-in-situ concrete structures. Composite reinforcements are widely used alongside steel reinforcements. To ensure their necessary physical-mechanic properties, different types of fibers are used as a reinforcing agent (glass, carbon, basalt).

Methods. The physical-mechanical and chemical properties of polymer reinforcements have been analyzed, the characteristics of polymer and steel reinforcements have been compared, theoretical analysis of standard technical requirements and generalization of scientific literature on performance of reinforcement works have been carried out.

Results. The main types and range of manufactured composite polymer reinforcements, specifications and requirements to products are discussed. The advantages and drawbacks of composite reinforcements compared to steel ones are noted and the preferred area of their application is identified. The influence of reinforcements' properties and characteristics on performance

Введение

Основным материалом для армирования бетонных конструкций является стальная арматура. Правила и требования к проведению работ со стальной арматурой в условиях строительной площадки достаточно хорошо изучены и разработаны [1; 2].

Одним из направлений в производстве и применении арматуры для бетонных конструкций, обеспечивающим повышение их качества и эффективности эксплуатации, является замена стальной арматуры на композитную [3].

Композитная арматура представляет собой структуру из армирующих волокон, скрепленных отвержденной термореактивной смолой (матрицей). Для обеспечения требуемых физико-механических характеристик в качестве армирующего наполнителя используются различные виды волокон (стеклянных, углеродных, базальтовых, арамидных или их комбинаций).

Нормативные документы по проектированию бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой разработаны и введены в действие в Российской Федерации (СП 295.1325800.2017), Канаде, США, Японии, Германии и ряде других стран [4; 5].

матуры на выполнение технологических операций собственной арматурных и бетонных работ. Рассмотрены особенности транспортирования, хранения, заготовки, укладки композитной арматуры, используемые инструменты и приспособления для производства работ, вопросы строительного контроля на всех стадиях выполнения работ. Обсуждаются вопросы использования композитной арматуры при ремонте бетонных конструкций.

Выводы. Физико-механические свойства композитной полимерной арматуры влияют на особенности выполнения технологических процессов при возведении монолитных бетонных конструкций практически на всех стадиях: входного контроля, заготовки, монтажа арматуры, укладки бетонной смеси, ухода за бетоном. Для обеспечения качества бетонных конструкций и их долговечности необходимо учитывать эти особенности при производстве работ. Расширение сферы применения композитной арматуры для различного вида конструкций и появление новых композитных изделий, естественно, вызывает потребность в корректировке выполнения технологических операций.

Ключевые слова: арматура полимерная композитная, неметаллическая арматура, стеклопластиковая арматура, бетонные конструкции, производство арматурных работ.

of the process operations of reinforcing and concreting works as such is shown. The features of composite reinforcements' transportation, storage, preparation, piling; tools and implements used for production of works, and the matters of construction oversight at all stages of work performance are discussed. The matters of composite reinforcements' usage in the repair of concrete structures are addressed.

Conclusions. The physical-mechanical properties of polymer reinforcements affect the features of performing technological processes during erection of cast-in-situ concrete structures practically at all stages: incoming inspection, preparation, installation of reinforcements, concrete placement and curing. This must be taken into account during production of works in order to ensure the quality and durability of concrete structures. Extension of composite reinforcements application for various types of structures and appearance of new composite products make it naturally necessary to adjust performance of process operations.

Keywords: polymer composite reinforcements, non-metal reinforcements, fiberglass reinforcements, concrete structures, production of reinforcement works.

В настоящее время композитная полимерная арматура (далее – АКП) находит применение как для внутреннего, так и для внешнего армирования. Наиболее распространенная область применения АКП – фундаменты, тоннели, мостовые сооружения (плиты проезжей части, устои, ограждения). В период эксплуатации воздействие агрессивной среды и влажности вызывает повышенную коррозию металлической арматуры, в то время как использование неметаллической арматуры способствует повышению эксплуатационного срока службы [6; 7].

Хорошо зарекомендовал себя комбинированный способ усиления несущих балок пролетного строения. Верхняя плита усиления, армированная АКП, анкерами соединялась с балками, углепластиковые ламели располагались в растянутой нижней части балок [8].

В странах Северной Америки стеклокомпозитная арматура использована при строительстве более трехсот мостов в плитах проезжей части, барьерных ограждениях. В нашей стране наиболее широкое применение получила стеклопластиковая и базальтопластиковая арматура, есть опыт применения неметаллической арматуры в фундаментах многоэтажных домов, например, в Новосибирске и Туапсе [9; 10].



Рис. 1. Полимерная арматура: а) стержневая; б) в мотках
Fig 1. Polymer reinforcements: a) bars; b) in rolls

Одновременно с практикой использования ведутся работы по дальнейшему исследованию характеристик и изучению работы АКП в различных конструкциях. В Германии результаты испытаний армированных стеклопластиком балок легли в основу национальных рекомендаций по проектированию конструкций. В России исследуется несущая способность бетонных конструкций в зависимости от продольного и поперечного армирования, предлагаются новые методы расчета центрально сжатых бетонных колонн различного сечения, учитывающие процент армирования продольной арматурой и шаг поперечной арматуры [11; 12].

В большинстве случаев расчет и проектирование конструкций с применением стеклопластика основаны на применении повышенных значений коэффициентов безопасности. Исследования показали, что такая методика является слишком грубой, поскольку деформации в основном зависят от связующих свойств композитов. Для увеличения эффективности применения АКП нормы проектирования, по нашему мнению, должны основываться на экспериментальных испытаниях, касающихся связующих свойств конкретных стеклопластиковых материалов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на экспериментальное исследование долговременных механических процессов, происходящих в бетонных элементах [13].

Продолжается изучение характеристик АКП при повышенных температурах и воздействии щелочной среды для повышения предельной температуры эксплуатации конструкций и оценки ресурса изгибаемых элементов [14], повышения эксплуатационных свойств арматуры комбинированием стеклянных и углеродных волокон и исследования ее совместной работы с бетоном [15]. Исследуется совместная работа арматуры с бетоном в процессе эксплуатации, в т. ч. для уточнения коэффициентов запаса при назначении длин анкеровки стержней в бетоне и их расположении в сечении [16]. Исследуется применение ламинатов из углеродного волокна и эпоксидной смолы, а также стеклоткани, наносимых на поверхность бетонных сооружений для усиления конструкций при воздействии взрывной нагрузки. Их использование обеспечивает простой, быстрый и эффективный метод усиления и повышения живучести существующих конструкций [17]. Проводятся работы по повышению трещиностойкости

бетонных конструкций, работающих на растяжение и изгиб, совместным применением АКП и неметаллической фибры [18].

Отдельные рекомендации по применению и расширению номенклатуры неметаллической арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон содержатся в разработках НИИЖБ им. А. А. Гвоздева [19; 20]. Расширение области применения композитной арматуры в строительстве вызывает потребность в уточнении стандартов по качеству, механическим свойствам и методам контроля арматуры; строительных норм по расчету и конструированию композитобетонных конструкций с требованиями к контролируемым параметрам в предельных состояниях; стандартизации и правил приемки гнутых изделий [21].

Согласно СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования», при расчетах конструкций следует учитывать совместность работы бетона и арматуры, особенности их свойств, влияние характера нагрузки и способов армирования. Учитывая тот факт, что многие из этих вопросов до конца не изучены, особенно при действии долговременных нагрузок, для обеспечения качества бетонных конструкций необходимо особое внимание уделять соблюдению требований при выполнении работ с композиционной арматурой.

Цель статьи заключается в выявлении особенностей проведения работ с использованием полимерной композитной арматуры на строительной площадке, обусловленных свойствами и характеристиками АКП.

Материалы и методы

Проанализированы физико-механические и химические свойства композитной арматуры, проведено сравнение характеристик АКП и стальной арматуры, выполнен теоретический анализ нормативно-технических требований и обобщение научной литературы по выполнению работ с композитной полимерной арматурой.

Результаты

Выявлены и рассмотрены основные виды и номенклатура выпускаемой композитной полимерной арматуры, действующие технические условия и требования к продукции. Отмечены преимущества и недостатки композитной арматуры по сравнению со стальной и определена перспективная область ее применения. Проведено изучение влияния свойств и характеристик арматуры на

выполнение технологических операций арматурных и бетонных работ.

Рассмотрены особенности транспортирования, хранения, заготовки, укладки композитной арматуры, используемые инструменты и приспособления для производства работ, вопросы строительного контроля на всех этапах выполнения работ.

Обсуждение

В соответствии с ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия», композитная полимерная арматура выпускается с периодическим профилем диаметрами, в основном, от 4 до 32 мм и более. Поставляется арматура стержнями длиной от 0,5 до 12,0 м; арматура диаметром от 4 до 8 мм может поставляться в мотках (рисунок 1).

В зависимости от армирующего наполнителя, арматура делится на несколько видов: стеклокомпозитная (АСК), базальтокомпозитная (АБК), углекомпозитная (АУК), арамидокompозитная (ААК) и комбинированная композитная (АКК). В Российской Федерации насчитывается более 40 предприятий, производящих полимерную арматуру: группа компаний «Арм-пласт», УралАрмПром, компания «НЗК» (Нижегородский завод композитов), Ярославский завод композитов и многие другие.

Широкое применение АКП обусловлено физико-химическими свойствами и физико-механическими характеристиками: предел прочности при растяжении не менее 800 МПа для АСК и АБК и не менее 1400 МПа для АУК и ААК; арматура отличается стойкостью к коррозии от воздействия влаги и агрессивных жидкостей, низкой теплопроводностью и является неэлектропроводной. Плотность материала композитной арматуры меньше плотности стальной арматуры в несколько раз (от 1450 кг/м³ для углепластиковой до примерно 2100 кг/м³ для стеклопластиковой).

При этом имеется ряд недостатков, влияющих на использование неметаллической арматуры. Модуль упругости материала при растяжении – не менее 50 ГПа для стекло- и базальтопластиковой арматуры и не менее 100 ГПа для АКК и 130 ГПа для АУК, т. е. по сравнению со стальной арматурой в 4 раза меньше, что ограничивает применение композитной арматуры в конструкциях при работе на



растяжение. АКП непластичная и обладает повышенной хрупкостью, особенно при низких температурах. При высоких температурах (150–300° С в зависимости от применяемых армирующих волокон) композитная арматура утрачивает прочностные свойства. При сильном нагреве происходит значительное поперечное расширение стержней. Кроме того, при температурах от 75 до 170° С происходит стеклование полимерной матрицы, что приводит к изменению физико-механических свойств АКП, и нарушается сцепление с бетоном [9]. Поэтому предельная температура эксплуатации композитной арматуры ограничена (должна быть не менее) 60 градусами. При низких температурах наблюдаются микрповреждения внутри арматурных стержней, а также происходит нарушение сцепления арматуры с бетоном.

Рассмотренные свойства композитной арматуры определяют область ее применения (геотехнические бетонные конструкции, конструкции на упругом основании, конструкции для работы в агрессивной среде), а также особенности использования при проведении арматурных работ.

Перевозка композитной арматуры (в виде мотков или стержней) производится в горизонтальном положении любым видом транспорта, при длине стержней до 12 м используются полуприцепы. При транспортировании и погрузочно-разгрузочных работах следует оберегать арматуру от ударов и механических повреждений. АКП должна храниться в складских помещениях (неотапливаемых или отапливаемых на расстоянии более 1 м от отопительных приборов), не допускается воздействие влаги и ультрафиолетового облучения. Гарантийный срок хранения АКП строго ограничен требованиями ГОСТ 31938 и составляет 24 месяца с даты изготовления. По истечении гарантийного срока арматура может применяться по назначению только после испытаний на полное соответствие требованиям стандарта (внешний вид, геометрические размеры, предел прочности и модуль упругости при растяжении, пределы прочности при сжатии и поперечном срезе, предел сцепления с бетоном, снижение предела прочности при растяжении и предел прочности после выдерживания в щелочной среде, предельная температура эксплуатации).

Приемка АКП (входной контроль) осуществляется



Рис. 2. Дефекты внешнего вида арматуры: а) трещины; б) обрывы волокон
(источник: <https://nauchite.com/2016/gfrp/>)
Fig 2. Defects of reinforcement appearance: a) cracks; b) broken fibers
(source: <https://nauchite.com/2016/gfrp/>)



Рис. 3. Соединение стержней: а) стальной вязальной проволокой; б) пластиковыми хомутами-стяжками; в) фиксаторами-клипсами (источник: <https://www.enrost.ru/>)

Fig 3. Connection of bars using: a) steel tie wire; b) plastic tie-wraps; c) locking clamps (source: <https://www.enrost.ru/>)

проверкой сопроводительной документации изготовителя – паспорта для каждой партии и упаковочных листов для каждой отгрузки, визуальным контролем на наличие дефектов и проверкой соответствия указанных в сопроводительной документации размеров измеренным. К дефектам относятся сколы, расслаивания, раковины, задиры с порывом навивки, вмятины от механических воздействий с повреждениями волокон (рисунок 2).

Для напрягаемой композиционной арматуры, в соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013, рекомендуется в обязательном порядке провести определение номинального диаметра и основных показателей физико-механических характеристик. При несоответствии любого из фактически определенных параметров данным сопроводительной документации партия арматуры к применению не допускается.

Композитная арматура легко режется, пилится или перекусывается. Однако при заготовке (резке) стержней следует учитывать хрупкость матрицы полимерной арматуры: в зоне реза происходит расщепление волокон и выкрашивание отвержденной термореактивной смолы. По возникающим трещинам в тело стержня будут попадать влага и щелочные растворы при укладке бетонной смеси. Это снижает характеристики арматуры из-за воздействия щелочной среды, а также в случае замораживания и последующего оттаивания конструкции. Поэтому резку стержней лучше производить ручным электроинструментом с абразивными или алмазными отрезными кругами (УШМ, или «болгаркой»). При резке АКП образуется мелкая пыль (частицы стеклянных, базальтовых и др. волокон), что требует обязательного применения защитных средств для глаз (очки защитные), органов дыхания (респираторы, плотно прилегающие к лицу) и рук (рабочие перчатки – спилковые, с латексным или ПВХ-покрытием).

Хрупкостью арматуры обусловлена еще одна особенность, которую следует учитывать при производстве работ. Изготовленную композиционную арматуру невозможно согнуть на строительной площадке без разрушения матрицы. Гнутые арматурные элементы можно изготовить только в заводских условиях в процессе производства арматуры. Иногда для изготовления хомутов используют стальную арматуру (в гибридных каркасах АКП используется со стальными гнутыми вставками).

Армирование бетонных конструкций производится отдельными стержнями, сетками, плоскими и про-

странственными каркасами. Сетки, как правило, изготавливаются в заводских условиях и поставляются на стройплощадку готовыми к применению. Изготовление арматурных каркасов осуществляется бессварочным соединением стержней – перевязкой крестообразных узлов термически обработанной (отожженной) вязальной проволокой (ГОСТ 3282) или пластиковыми хомутами (рисунок 3). Для вязки применяются те же инструменты, что и для стальной арматуры – вязальные крючки, автоматические пистолеты.

Соединение внахлестку ненапрягаемой арматуры осуществляется только для стержней периодического профиля. В отличие от стальной арматуры, в одном сечении (участок вдоль стыкуемой арматуры, равный 1,3 длины перепуска стержней) допускается стыкование не более 50 % стержней. Такое соединение, по сравнению со стальной арматурой, характеризуется большей длиной: для стальной арматуры длина перехлеста больше расчетной длины анкеровки в 1,2 раза, для КПА – в 1,6 раза. В любом случае длина перепуска должна быть не менее 250 мм и не менее 20 df (df – номинальный диаметр стыкуемой арматуры).

Предельные значения отклонений геометрических параметров для изделий из АКП при их производстве и укладке не должны превышать значений, указанных в проектной документации. При отсутствии таких указаний предельные отклонения принимаются в соответствии с СП 70.13330.2012.

При бетонировании конструкции толщина защитного слоя обеспечивается установкой фиксаторов: из щелочестойких полимерных материалов или из цементно-песчаного раствора (СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013). Толщину защитного слоя бетона рабочей арматуры монолитных конструкций следует принимать не менее 25 мм (для конструктивной арматуры – на 5 мм меньше) и не менее диаметра стержня арматуры.

Рекомендуемая высота сбрасывания бетонной смеси в опалубку плоскостных конструкций [20] – не более 0,5 м, что также вызвано хрупкостью полимерной арматуры и возможностью ее расслоения при механическом воздействии.

Для монолитных конструкций, армированных АКП, не ограничивается применение любых противоморозных добавок. Однако для таких конструкций могут быть неприемлемыми способы зимнего бетонирования с применением нагревательных проводов и электропрогрева.

Согласно МДС 12-48.2009 «Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов», нагревание бетона при таких способах происходит до 50–70 °С, а предельная температура эксплуатации полимерной арматуры составляет всего 60° С.

В остальном порядок и правила проведения арматурных работ с использованием композитной арматуры не отличаются от работ со стальной арматурой.

Вопросы предварительного напряжения композитной арматуры при изготовлении бетонных конструкций требуют отдельного рассмотрения и в настоящей статье не затрагиваются.

Заключение

Физико-механические и химические свойства композитной полимерной арматуры влияют на особенности использования и выполнения технологических процессов при устройстве монолитных бетонных конструкций.

По истечении гарантийного срока хранения арматура может применяться только после проведения испытаний на полное соответствие требованиям ГОСТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Олейник, П. П. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений / П. П. Олейник, Б. В. Жадановский, М. Ф. Кукин и др. ; под общ. ред. П. П. Олейника. – Москва : Изд-во МИСИ–МГСУ, 2018. – 493 с.
- Олейник, П. П. Индустриально-мобильные методы возведения предприятий, зданий и сооружений : монография / П. П. Олейник. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 488 с.
- Мадатян, С. А. Современные материалы и технологии арматурных работ / С. А. Мадатян // Бетон и железобетон. – 2016. – № 3. – С. 12–16.
- Теплова, Ж. С. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций / Ж. С. Теплова, С. С. Киски, Я. Н. Стрижкова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9 (24). – С. 49–70.
- Кузеванов, Д. В. Конструкции с композитной неметаллической арматурой. Обзор и анализ зарубежных и отечественных нормативных документов : Научно-технический отчет / Д. В. Кузеванов // НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, Лаборатория № 2. – 2012. – 66 с. – URL: <http://www.niizhb2.ru/Article/nka2012.pdf>.
- Клементьев, А. О. Обзор литературы по применению в железобетонных пролетных строениях мостов неметаллической композитной арматуры / А. О. Клементьев, М. Н. Смердов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 20. – С. 74–80. – URL: https://helpcomposite.ru/f/no3-04_vugups_no4_2013.pdf.
- Типтев, Д. Н. Применение полимерной композитной арматуры при строительстве транспортных сооружений / Д. Н. Типтев, И. И. Овчинников // Вестник евразийской науки. – 2021. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-polimernoy-kompozitnoy-armatury-pri-stroitelstve-transportnyh-sooruzheniy> (дата обращения: 16.02.2023).
- Анисимов, А. В. Применение стеклопластиковой композитной арматуры в плите усиления пролетных строений мостового сооружения / А. В. Анисимов, А. В. Михайлова // Дороги России XXI. – 2017. – № 102. – С. 16–19. – URL: <http://rosavtodor.ru/books/2017/6/files/assets/basic-html/page-18.html#>.
- Пириев, Ю. С. Применение композитной арматуры в строительстве / Ю. С. Пириев // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В. Г. Шухова), Белгород, 17 апреля 2018 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический универси-

тет им. В. Г. Шухова. – 2018. – С. 115–119.

Низкий удельный вес арматуры позволяет выполнять работы без использования грузоподъемных механизмов. Упрощаются работы по заготовке и монтажу арматуры, трудоемкость ниже, чем со стальной арматурой, примерно в 3 раза.

Изготовление пространственных арматурных каркасов на строительной площадке требует предварительно-го заводского изготовления хомутов или использования комбинированного армирования (одновременное использование композитной и стальной арматуры). Процессы заготовки арматуры связаны с необходимостью применения специальных защитных средств для рабочих (респираторы, защитные очки, перчатки).

Существуют ограничения на применение способов электропрогрева бетона при зимнем бетонировании.

Расширение применения АКП, в т. ч. для изгибаемых пролетных конструкций, будет вызывать потребность постоянного уточнения технологических особенностей производства работ при изготовлении монолитных бетонных конструкций.

- Орлова, Н. А. Анализ применения стеклопластиковой арматуры в промышленно-гражданском строительстве / Н. А. Орлова, Т. С. Коробщикова, А. С. Молтусов // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2016. – № 31. – С. 52–56. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-stekloplastikovoy-armatury-v-promyshlennno-grazhdanskom-stroitelstve> (дата обращения: 26.02.2023).
- Tamrazyan, A. Strength model for calculating centrally compressed concrete elements with composite reinforcement, taking into account the spacing of stirrups / A. Tamrazyan, A. Lapshinov. – DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-163-174 // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, № 2. – P. 163–174.
- Экспериментальные исследования прочности сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой / В. Ф. Степанова, Т. А. Мухамедиев, К. Л. Кудяков, А. В. Бучкин, Е. Ю. Юрин. – DOI 10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182 // Вестник НИЦ «Строительство». – 2022. – Т. 33, № 2. – С. 173–182.
- FRP reinforcement for concrete structures: State-of-the-art review of application and design / E. Gudonis, E. Timinskas, V. Gribniak, G. Kaklauskas, A. K. Arnautov, V. Tamulėnas. – DOI 10.3846/2029882X.2014.889274 // Engineering Structures and Technologies. 2013. – Vol. 5, № 4. – P. 147–158.
- Алимов, М. Ф. Исследование совместной работы цементных бетонов и композитной арматуры в изгибаемых элементах, работающих в условии действия агрессивных сред : автореф. дисс. ... канд. тех. наук : 2.1.1 / Алимов Марат Фатихович; ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства». – Пенза, 2022. – 27 с.
- Ильин, Д. А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ильин Дмитрий Анатольевич; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2017. – 21 с.
- Гиздатуллин, А. Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях : автореф. дисс. ... кан. техн. наук : 05.23.05 / Гиздатуллин Антон Ринатович; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2017. – 20 с.
- Muszynski, L. Composite Reinforcement to Strengthen Existing Concrete Structures against Air Blast. / L. C. Muszynski, M. R. Purcell. – DOI 10.1061/(ASCE)1090-0268(2003)7:2(93) // Journal of Composites for Construction. – 2003. – Vol. 7, № 2.
- Степанова, В. Ф. Исследование особенности работы бе-

тонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) / В. Ф. Степанова, А. В. Бучкин, Д. А. Ильин // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 1. – С. 124–128. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnykh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoy-polimernoy-i> (дата обращения: 16.02.2023).

19. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях : ТР 013-1-04 : утверждены заместителем директора НИИЖБ Т. А. Мухамедиевым 01.01.2004 /

REFERENCES

- Oleynik, P. P. Vozvedenie monolitnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzhenij [The construction of monolithic structures of buildings and structures] / P. P. Oleynik, B. V. Zhadanovsky, M. F. Kuzhin, etc.; under the general editorship of P. P. Oleynik. – Moscow : MISI–MGSU, 2018. – 493 p.
- Oleynik, P. P. Industrial'no-mobil'nye metody vozvedeniya predpriyatij, zdaniy i sooruzhenij : monografiya [Industrial-mobile methods of construction of enterprises, buildings and structures : monograph] / P. P. Oleynik. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2021. – 488 p.
- Madatyan, S. A. Sovremennye materialy i tekhnologii armaturnykh rabot [Modern materials and technologies of reinforcement works] / S. A. Madatyan // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. – 2016. – № 3. – P. 12–16.
- Teplava, Zh. S. Stekloplastikovaya armatura dlya armirovaniya betonnykh konstruktsiy [Fiberglass reinforcement for reinforcement of concrete structures] / Zh. S. Teplava, S. S. Kiski, Ya. N. Strizhkova // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2014. – № 9 (24). – P. 49–70.
- Kuzevanov, D. V. Konstruktsii s kompozitnoj nemetallicheskoj armaturoj. Obzor i analiz zarubezhnykh i otechestvennykh normativnykh dokumentov : Nauchno-tekhnicheskij otchet [Structures with composite non-metallic fittings. Review and analysis of foreign and domestic regulatory documents : Scientific and technical report] / D. V. Kuzevanov // NIIZHB im. A. A. Gvozdeva, Laboratoriya № 2 [A. A. Gvozdev NIIZHB, Laboratory No. 2]. – 2012. – 66 p. – URL: <http://www.niizhb2.ru/Article/nka2012.pdf>.
- Klementyev, A. O. Obzor literatury po primeneniyu v zhelezobetonnykh proletnykh stroenij mostov nemetallicheskoj kompozitnoj armatury [Literature review on the use of non-metallic composite reinforcement in reinforced concrete bridge spans] / A. O. Klementyev, M. N. Smerdov // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya [Bulletin of the Ural State University of Railway Engineering]. – 2013. – № 20. – P. 74–80. – URL: https://helpcomposite.ru/f/no3-04_vugups_no4_2013.pdf.
- Tiptev, D. N. Primenenie polimernoj kompozitnoj armatury pri stroitel'stve transportnykh sooruzhenij [The use of polymer composite reinforcement in the construction of transport structures] / D. N. Tiptev, I. I. Ovchinnikov // Vestnik evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2021. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-polimernoy-kompozitnoj-armatury-pri-stroitel'stve-transportnyh-sooruzhenij> (accessed: 02/16/2023).
- Anisimov, A. V. Primenenie stekloplastikovej kompozitnoj armatury v plite usileniya prolyotnykh stroenij mostovogo sooruzheniya [The use of fiberglass composite reinforcement in the reinforcement plate of superstructures of bridge structures] / A. V. Anisimov, A. V. Mikhailova // Dorogi Rossii XXI [Roads of Russia of the XXI century]. – 2017. – № 102. – P. 16–19. – URL: <http://rosavtodor.ru/books/2017/6/files/assets/basic-html/page-18.html#>.
- Piriev, Yu. S. Primenenie kompozitnoj armatury v stroitel'stve

НИИЖБ, ООО «АСП», ООО «МБА-проект». – 2004. – 6 с.

- Применение неметаллической композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры ROCKBAR производства ООО «ГАЛЕН» в строительстве : методическое пособие / НИЦ «Строительство», НИИЖБ. – Москва, 2013. – 58 с.
- Окольникова, Г. Э. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве / Г. Э. Окольникова, С. В. Герасимов // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 14–21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kompozitnoj-armatury-v-stroitel'stve> (дата обращения: 26.02.2023).
- [Application of composite reinforcement in construction] / Yu. S. Piriev // Nauka i innovatsii v stroitel'stve : Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (k 165-letiyu so dnya rozhdeniya V. G. Shukhova), Belgorod, 17 aprelya 2018 goda [Science and innovations in construction : Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference (to the 165th anniversary of the birth of V. G. Shukhov), Belgorod, April 17, 2018]. – Belgorod : Belgorod : Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V. G. Shukhova [Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. – 2018. – P. 115–119.
- Orlova, N. A. Analiz primeneniya stekloplastikovej armatury v promyshlenno-grazhdanskom stroitel'stve [Analysis of the use of fiberglass reinforcement in industrial and civil construction] / N. A. Orlova, T. S. Korobshchikova, A. S. Mol-tusov // Intellektual'nyj potentsial XXI veka: stupeni poznaniya [Intellectual potential of the XXI century: stages of cognition]. – 2016. – № 31. – P. 52–56. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-stekloplastikovoy-armatury-v-promyshlenno-grazhdanskom-stroitel'stve> (accessed: 02/26/2023).
- Tamrazyan, A. Strength model for calculating centrally compressed concrete elements with composite reinforcement, taking into account the spacing of stirrups / A. Tamrazyan, A. Lapshinov. – DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-163-174 // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, № 2. – P. 163–174.
- Ehksperimental'nye issledovaniya prochnosti szhatykh betonnykh ehlementov, armirovannykh kompozitnoj polimernoj armaturoj [Experimental studies of the strength of compressed concrete elements reinforced with composite polymer reinforcement] / V. F. Stepanova, T. A. Mukhamediev, K. L. Kudya-kov, A. V. Buchkin, E. Y. Yurin. – DOI 10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182 // Vestnik NITS «Stroitel'stvo» [Bulletin of SIC «Construction»]. – 2022. – Vol. 33, № 2. – P. 173–182.
- FRP reinforcement for concrete structures: State-of-the-art review of application and design / E. Gudonis, E. Timinskas, V. Gribniak, G. Kaklauskas, A. K. Arnautov, V. Tamulėnas. – DOI 10.3846/2029882X.2014.889274 // Engineering Structures and Technologies. 2013. – Vol. 5, № 4. – P. 147–158.
- Alimov, M. F. Issledovanie sovmestnoj raboty tsementnykh betonov i kompozitnoj armatury v izgibaemykh ehlementakh, rabotayushhikh v uslovii dejstviya agressivnykh sred : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 2.1.1. [Investigation of the joint work of cement concretes and composite reinforcement in bendable elements operating under the action of aggressive media : abstract. diss. ... Candidate of Technical Sciences : 2.1.1] / Alimov Marat Fatimovich; FGBOU VO «Penzenskij gosudarstvennyj universitet arkitektury i stroitel'stva» [Penza State University of Architecture and Construction]. – Penza, 2022. – 27 p.
- Ilyin, D. A. Kompozitnaya armatura na osnove steklyannykh i ugleodnykh volokon dlya betonnykh konstruktsiy : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05 [Composite reinforcement based on glass and carbon fibers for concrete structures : abstract. diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.05] / Ilyin Dmitry Anatolyevich; Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj

universitet [Moscow State University of Civil Engineering]. – Moscow, 2017. – 21 p.

- Gizdatullin, A. R. Sovmestnaya rabota polimerkompozitnoj armatury s tsementnym betonom v konstruktsiyakh : avtoref. diss. ... kan. tekhn. nauk : 05.23.05 [Joint work of polymer composite reinforcement with cement concrete in structures : abstract. diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.05] / Anton Rinatovich Gizdatullin; Kazanskij gosudarstvennyj arkhiturno-stroitel'nyj universitet [Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – Kazan, 2017. – 20 p.
- Muszynski, L. Composite Reinforcement to Strengthen Existing Concrete Structures against Air Blast. / L. C. Muszynski, M. R. Purcell. – DOI 10.1061/(ASCE)1090-0268(2003)7:2(93) // Journal of Composites for Construction. – 2003. – Vol. 7, № 2.
- Stepanova, V. F. Issledovanie osobennosti raboty betonnykh konstruktsiy s kombinirovannym armirovaniem (armaturoj kompozitnoj polimernoj i nemetallicheskoj fibroy) [Investigation of the features of the work of concrete structures with combined reinforcement (reinforcement composite polymer and non-metallic fiber)] / V. F. Stepanova, A. V. Buchkin, D. A. Ilyin // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]. – 2017. – № 1. – P. 124–128. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnykh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoj-polimernoy-i> (accessed: 02/16/2023).

УДК 721.021.23, 004.692, 69

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_133

Описание системы взаимосвязанных классификаторов при управлении жизненным циклом объекта при организации ремонтно-строительных работ на стадии эксплуатации объекта

Description of the System of Interrelated Classifiers in the Management of the Life Cycle of an Object in the Organization of Repair and Construction Work at the Stage of Operation of the Object

Гневанов Максим Владимирович

Старший преподаватель кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, makcg2009@gmail.com

Gnevanov Maxim Vladimirovich

Senior Lecturer of the Department «Information Systems, Technologies and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGUSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, makcg2009@gmail.com

Аннотация. Управление жизненным циклом объекта имеет важную роль в развитии строительной отрасли. Целью исследования, положенного в основу статьи, является описание подхода, способствующего повышению эффективности управления жизненным циклом объекта при организации ремонтно-строительных работ (РСР) на стадии эксплуатации объекта. В исследовании использовался описательный подход к системе взаимосвязанных классификаторов элементов здания и классификатора дефектов, которые позволяют повысить эффективность организации РСР. Автором статьи был проведен анализ подходов РСР, основанный на формировании организационных решений, основанных на типах работ, которые, в свою очередь, направлены на устранение дефектов. С помощью применения цифровых технологий, а именно построения системы

Abstract. Object life cycle management plays an important role in the development of the construction industry. The purpose of the study, which is the basis of the article, is to describe an approach that helps to improve the efficiency of managing the life cycle of an object in the organization of repair and construction work (R-CW) at the stage of operation of the object. The article is based on a descriptive approach of a system of interrelated classifiers of building elements and a classifier of defects, which make it possible to increase the efficiency of the R-CW organiza-

02/16/2023).

- Tekhnicheskie rekomendatsii po primeneniyu nemetallicheskoj kompozitnoj armatury periodicheskogo profilya v betonnykh konstruktsiyakh : TR 013-1-04 [Technical recommendations for the use of non-metallic composite reinforcement of periodic profile in concrete structures : TR 013-1-04] : utverzhdeny zamestitelem direktora NIIZHB T. A. Mukhamedievym 01.01.2004 [approved by the Deputy director of NIIZHB T. A. Mukhamediev 01.01.2004] / NIIZHB, ООО «АСП», ООО «МБА-проект» [NIIZHB, LLC «ASP», LLC «IBA-project»]. – 2004. – 6 p.
- Primenenie nemetallicheskoj kompozitnoj stekloplastikovej i bazal'toplastikovej armatury ROCKBAR производства ООО «ГАЛЕН» в строitel'stve : metodicheskoe posobie [The use of non-metallic composite fiberglass and basalt-plastic ROCKBAR fittings manufactured by GALEN LLC in construction : a methodological guide] / NITS «Stroitel'stvo», NIIZHB [SIC «Construction», NIIZHB]. – Moscow, 2013. – 58 p.
- Okolnikova, G. E. Perspektivy ispol'zovaniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve [Prospects of using composite reinforcement in construction] / G. E. Okolnikova, S. V. Gerasimov // Ehkologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2015. – № 3. – P. 14–21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kompozitnoj-armatury-v-stroitel'stve> (accessed: 02/26/2023).

взаимосвязанных классификаторов, основанных на сборе, хранении и обработке информации для ее дальнейшего использования, возможно повысить эффективность разработки организационных решений. Методы, используемые в исследовании, основаны на системном анализе существующих подходов при производстве РСР. Результатом исследования является описание системы взаимосвязанных классификаторов, основой которой является применение цифровых технологий в области управления жизненным циклом строительного объекта при организации РСР.

Ключевые слова: ремонтно-строительные работы, цифровизация, ремонт, жизненный цикл объекта, искусственный интеллект.

tion. The author of the article analyzed R-CW approaches based on the formation of organizational decisions based on the types of work, which in turn are aimed at eliminating defects. Through the use of digital technologies, namely the construction of a system of interconnected classifiers based on the collection, storage and processing of information for its further use, it is possible to increase the efficiency of the development of organizational solutions. The methods used in the study are based on a systematic analysis of existing approaches in the production of R-CW. The

result of the study is a description of a system of interrelated classifiers, the basis of which is the use of digital technologies in the field of managing the life cycle of a construction object in the

organization of R-CW.
Keywords: Repair Work, digitalization, repair, object life cycle, artificial intelligence.

Введение
Строительство является одной и сложных отраслей, так как подвержена значительному влиянию случайных факторов вследствие преобладающего организационного характера самой отрасли. Жизненный цикл объекта строительства может достигать более 100 лет, поэтому эффективное управление жизненным циклом является одной из ключевых задач строительной отрасли. Стандартное определение жизненного цикла здания или сооружения в Российской Федерации приводится в федеральном законе «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ от 30.12.2009, действующая редакция – 2019 г.) [1]. Согласно данному закону, под жизненным циклом понимается период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения [2].
Одним из важных этапов жизненного цикла объекта является эксплуатация, в процессе которой здание используется в соответствии с его функциональным назначением. На этапе эксплуатации в здании с определенной периодичностью производятся различного рода осмотры, в процессе которых могут быть выявлены различные дефекты, которые заносятся в отчет, по результатам которого делается вывод о проведении определенного вида РСР [3].
Перед началом выполнения работ важным этапом является разработка организационного решения, которое, в свою очередь, должно быть сформировано таким образом, чтобы обеспечить качественное и своевременное выполнение РСР. Эффективная организация и выполнение РСР является важной задачей, решение которой влияет

на эксплуатацию объекта и, как следствие, способствует повышению эффективности управления жизненным циклом объекта.
В большинстве случаев, формирование организационных решений происходит исходя из ограниченных ресурсов конкретной ремонтно-строительной организации [4; 5]. Данный процесс может занимать значительное количество времени, а также периодически важно сравнивать несколько решений между собой, когда выбор не является очевидным. С помощью информационных технологий возможно разработать систему взаимосвязанных классификаторов, которая позволит собирать информацию о дефектах здания с привязкой к конкретному элементу здания, хранить информацию о возможных способах устранения того или иного дефекта, а также пополнять данные о результатах выполнения работ, что в дальнейшем позволит повысить эффективность организации РСР и, как следствие, будет способствовать переходу управления жизненным циклом объекта на более высокий уровень.
Материалы и методы
Перед выполнением РСР необходимо разработать организационное решение, которое, в свою очередь, формируется исходя из конкретных подходов к выполнению определенных видов работ. В процессе эксплуатации здания происходит естественный износ его элементов, который вызывает появление различного рода дефектов. Помимо естественного износа, здание подвержено влиянию стохастических факторов, которые могут вызывать появление дефектов случайным образом. Для снижения вероятности появления случайных дефектов и повышенного износа в здании производят осмотры с определенной периодичностью. В процессе осмотров выявленные дефек-

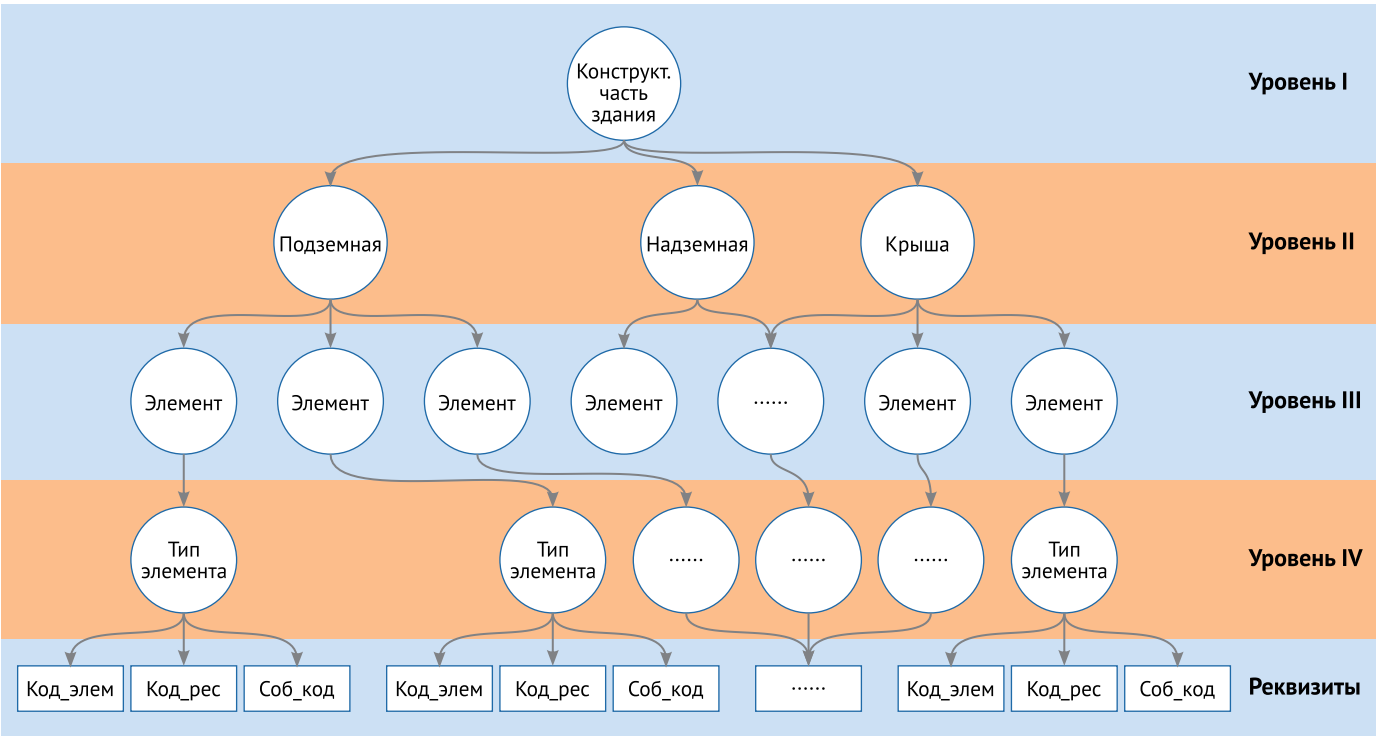


Рис. 1. Классификатор элементов здания
Fig. 1. Classifier of building elements

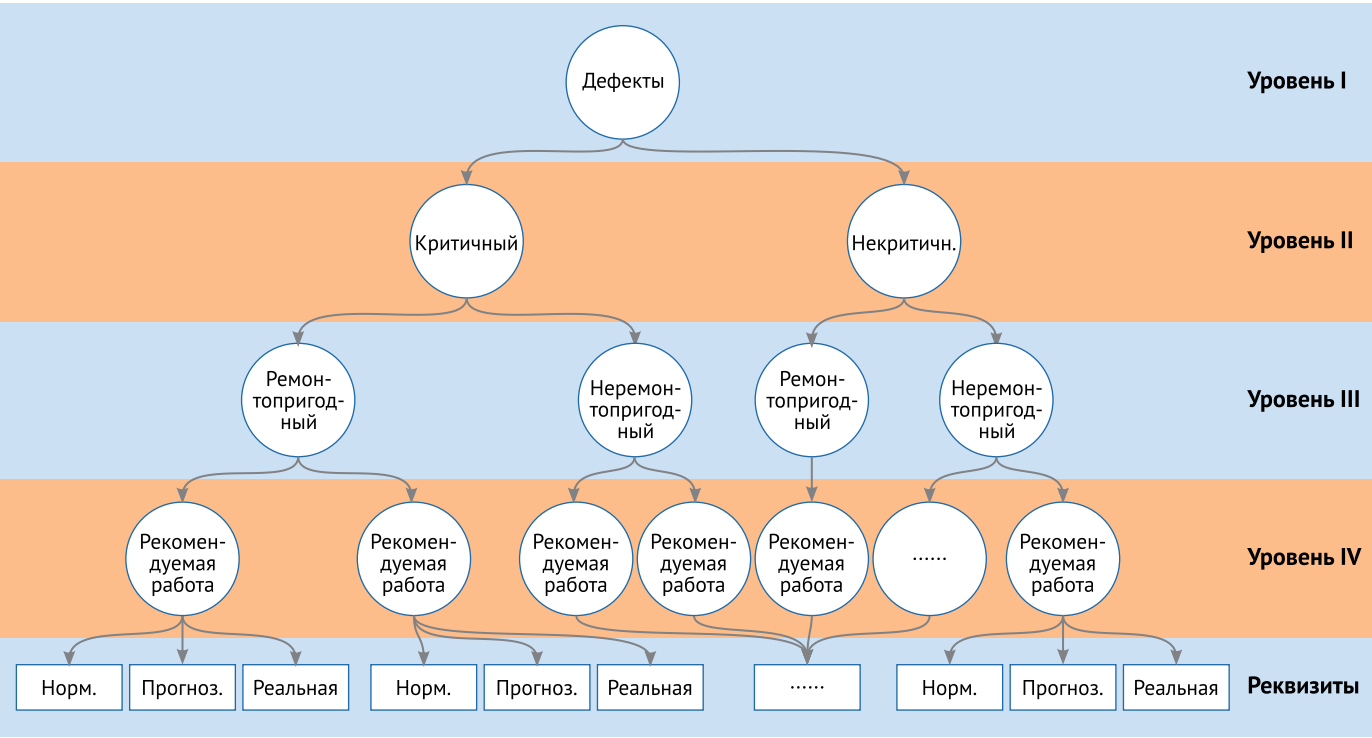


Рис. 2. Классификатор дефектов
Fig. 2. Defect classifier

ты заносят с специальные отчетные документы, на основе которых принимается решение о проведении РСР. Базой, на основе которой производятся осмотры элементов здания, являются строительные ресурсы, перечень которых представлен в классификаторе [6].
В результате анализа проведенных опросов экспертов ремонтно-строительной отрасли сделан вывод о том, что актуальной задачей является некая систематизация информации о дефектах здания с привязкой их к соответствующим элементам, которые, в свою очередь, базируются на существующем классификаторе строительных ресурсов [7; 8]. Кроме того, ряд организаций базируется на конкретных видах работ, и, соответственно, им необходима, как правило, только определенная часть информации из имеющегося классификатора ресурсов с условием ее адаптации исходя из особенностей конкретной организации.
В связи с развитием информационных технологий возможна разработка некой системы взаимосвязанных классификаторов, которая может базироваться на части информации существующего классификатора строительных материалов, но при этом учитывать особенности конкретной ремонтно-строительной организации [9; 10]. Данная система позволит получать данные из имеющейся базы, которая может иметь возможность дополнения данных и являться своего рода системой поддержки принятия решений.
Результаты
В рамках исследования была разработана система взаимосвязанных классификаторов, позволяющая хранить информацию для организации РСР, исходя из особенностей ремонтно-строительной организации. Примерами такой информации могут являться элементы здания, которые подлежат ремонтным работам, их дефекты, а также мероприятия, необходимые для их устранения.
Классификатор элементов здания представлен на рисунке 1.
Представленный классификатор имеет древовидную

структуру, что позволяет хранить информацию удобным способом, а также это является эффективной основой построения работы с базой данных. На верхнем уровне классификатора представлена часть здания, на втором уровне – ее расположение, на третьем уровне описывается сам элемент, а четвертый уровень описывает тип элемента. Например, элемент «стеклянный фасад здания» может иметь тип стоечно-ригельный, структурный, блочный. Определенному типу элемента соответствует определенный перечень дефектов. Дефекты могут совпадать между собой, но наиболее четкая их классификация и привязка к конкретному типу позволит в дальнейшем более точно формировать работы. Дополнительным уровнем классификатора является уровень реквизитов, где хранится номенклатурная информация об элементах здания. Так, код_элемента является его уникальным идентификатором, код_рес может ссылаться на соответствующий ему раздел классификатора ресурсов, но если такого нет, то может быть присвоен собственный соб_код.
Классификатор дефектов представлен на рисунке 2.
Классификатор дефектов так же, как и классификатор элементов, имеет древовидную структуру и является его неотъемлемой частью. На первом уровне описывается сам дефект, на втором – степень важности (критичный или некритичный), на третьем уровне определяется, подлежит ли он ремонту или нет. Далее, на пятом уровне, описывается возможный перечень работ, который необходимо выполнить для устранения дефекта. На уровне реквизитов хранится информация касательно выполнения самих работ.
Таким образом, на основе применения информационных технологий разработана система взаимосвязанных классификаторов, позволяющая организовывать работы наиболее эффективным способом.
Обсуждение
Этап эксплуатации при управлении жизненным циклом объекта является наиболее длительным, на котором здание может подвергаться РСР множество раз. Проме-

жуют времени между выполнениями различных видов РСР может насчитывать десятки лет, что требует ведения учета информации о здании за предыдущие периоды. Благодаря классификаторам возможно хранить и постоянно накапливать информацию о здании, что позволит в дальнейшем организовывать работы наиболее эффективно. Информация, представленная в виде данных о видах дефектов, возможных мероприятиях по их устранению, количественных значений трудоемкостей работ, позволит системе взаимосвязанных классификаторов являться основой системы поддержки принятия решений при управлении жизненным циклом объекта.

Заключение
Таким образом, нарастающий процесс применения информационных технологий вносит свои корректиров-

ки в различные отрасли, включая строительную. Одной из важных и наиболее протяженных стадий управления жизненным циклом объекта является эксплуатация, которая включает в себя проведение различных видов РСР. На основе применения информационных технологий разработана система взаимосвязанных классификаторов. Данная система классификаторов позволит повысить эффективность организационных решений на стадии эксплуатации за счет постоянной актуализации данных о выполнении аналогичных видов работ конкретной ремонтно-строительной организацией за предыдущие периоды, что, в свою очередь, является основой для формирования наиболее рационального организационного решения, позволяющего выполнить РСР качественно и своевременно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями и дополнениями) : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ / Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010, 4 января. – № 1. – Ст. 5.
2. Иштрякова, Т. Р. Сравнение отечественного и зарубежного подходов к управлению жизненным циклом объектов строительства / Т. Р. Иштрякова // Актуальные вопросы современной экономики. – 2020. – № 5. – С. 296–301.
3. Иванов, Н. А. Управление жизненным циклом объекта при организации ремонтно-строительных работ на основе цифровизации / Н. А. Иванов, М. В. Гневанов // Строительное производство. – 2022. – № 4 (44). – С. 33–38.
4. Гинзбург, А. В. Организационно-технологическая надежность строительных систем / А. В. Гинзбург // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4–1. – С. 251–255.
5. Gnevanov, M. V. Features of the Organization of Repair and Construction Works in Public Buildings in Conditions of Increasing Digitalization / M. V. Gnevanov, N. A. Ivanov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2021. – № 6 (60). – P. 12–16.
6. Классификатор строительных ресурсов / Минстрой России :

[официальный сайт]. – URL: <https://ksr.minstroyrf.ru/#/> (дата обращения: 19.03.2023).
7. Гневанов, М. В. Обобщенное описание процесса цифровизации и возможности его влияния на управление жизненным циклом объекта / М. В. Гневанов, Н. А. Иванов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 3 (129). – С. 78–82.
8. Лapidус, А. А. Степень влияния технического потенциала на результаты деятельности строительных организаций / А. А. Лapidус, З. Р. Тускаева // Строительное производство. – 2022. – № 4 (44). – С. 95–100.
9. Ivanov, N. The use of «big data» in the organization of repair and construction works to ensure OTR / N. Ivanov, M. Gnevanov // E3S Web of Conferences / 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2021, Moscow, 22–24 апреля 2021 года. – 2021. – Т. 263. – С. 02010.
10. Иванов, Н. А. Применение технологий анализа больших данных для разработки и оценки вариантов организации ремонтно-строительных работ в общественных зданиях / Н. А. Иванов, М. В. Гневанов // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 5 (107). – С. 22–25.

REFERENCES

1. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Technical Regulations on the safety of buildings and structures (with amendments and additions)] : Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 № 384-FZ [Federal Law No. 384-FZ of 30.12.2009] / Sbranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – 2010, January 4. – № 1. – Article 5.
2. Ishtriyakova, T. R. Sravnenie otechestvennogo i zarubezhnogo podkhodov k upravleniyu zhiznennym tsiklom ob'ektov stroitel'stva [Comparison of domestic and foreign approaches to life cycle management of construction objects] / T. R. Ishtriyakova // Aktual'nye voprosy sovremennoj ehkonomiki [Topical issues of the modern economy]. – 2020. – № 5. – P. 296–301.
3. Ivanov, N. A. Upravlenie zhiznennym tsiklom ob'ekta pri organizatsii remontno-stroitel'nykh rabot na osnove tsifrovizatsii [Managing the life cycle of an object when organizing repair and construction works based on digitalization] / N. A. Ivanov, M. V. Gnevanov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4 (44). – P. 33–38.
4. Ginsburg, A. V. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nykh sistem [Organizational and technological reliability of building systems] / A. V. Ginsburg // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2010. – № 4–1. – P. 251–255.
5. Gnevanov, M. V. Features of the Organization of Repair and Construction Works in Public Buildings in Conditions of Increasing Digitalization / M. V. Gnevanov, N. A. Ivanov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2021. – № 6 (60). – P. 12–16.
6. Klassifikator stroitel'nykh resursov [Classifier of construc-

tion resources] / Ministroy Rossii [Ministry of Construction of Russia] : [official site]. – URL: <https://ksr.minstroyrf.ru/#/> (accessed: 19.03.2023).
7. Gnevanov, M. V. Obobshhennoe opisanie protsessa tsifrovizatsii i vozmozhnosti ego vliyaniya na upravlenie zhiznennym tsiklom ob'ekta [Generalized description of the process of digitalization and the possibility of its influence on the management of the life cycle of the object] / M. V. Gnevanov, N. A. Ivanov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2022. – № 3 (129). – P. 78–82.
8. Lapidus, A. A. Stepen' vliyaniya tekhnicheskogo potentsiala na rezul'taty deyatel'nosti stroitel'nykh organizatsij [The degree of influence of technical potential on the results of the activities of construction organizations] / A. A. Lapidus, Z. R. Tuskayeva // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – № 4 (44). – P. 95–100.
9. Ivanov, N. The use of «big data» in the organization of repair and construction works to ensure OTR / N. Ivanov, M. Gnevanov // E3S Web of Conferences / 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2021, Moscow, April 22–24, 2021. – 2021. – Vol. 263. – P. 02010.
10. Ivanov, N. A. Primenenie tekhnologij analiza bol'shikh dannykh dlya razrabotki i otsenki variantov organizatsii remontno-stroitel'nykh rabot v obshhestvennykh zdaniyakh [Application of big data analysis technologies for the development and evaluation of options for organizing repair and construction works in public buildings] / N. A. Ivanov, M. V. Gnevanov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2020. – № 5 (107). – P. 22–25.

УДК 69.693

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_137

Дефекты штукатурного слоя фасада здания больницы
Св. Георгия после реконструкции

Defects in the Plaster Layer of the Facade of the Building of St. George's Hospital after Reconstruction

Юдина Антонина Фёдоровна

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии строительного производства, ГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, 4, yudinaantonina2017@mail.ru

Yudina Antonina Fedorovna

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction Production Technology, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya, 4, yudinaantonina2017@mail.ru

Аннотация. При реконструкции зданий старой постройки, как правило, выполняются ремонтно-восстановительные работы фасада, утратившего в период эксплуатации свой внешний вид в результате воздействия влаги, пыли и др., что в итоге приводит к снижению функций защиты ограждения и потере внешнего вида самого фасада. **Цель исследования.** Исследование причин появления дефектов штукатурного слоя фасада здания больницы Св. Георгия в Санкт-Петербурге после реконструкции (разрушение и отслоение штукатурного слоя, утрата внешнего вида фасада и др.), связанные с нарушениями технологии оштукатуривания фасадов в процессе ремонтно-восстановительных работ. **Методы.** Проведение натурного обследования наличия дефектов и причин их появления, петрографическое изучение состава отделочных материалов, используемых для оштукатуривания кирпичных стен, определение количественной оценки веществ, составляющих вяжущее растворов, степени сохран-

Abstract. During the reconstruction of old buildings, as a rule, repair and restoration work is carried out on the facade, which lost their appearance during the period of operation as a result of exposure to moisture, dust, etc., which ultimately leads to a decrease in the protection functions of the fence and loss of the appearance of the facade itself. **Purpose of the study.** Investigation of the causes of defects in the plaster layer of the facade of the building of St. George's Hospital in St. Petersburg after reconstruction (destruction and peeling of the plaster layer, loss of the appearance of the facade, etc.), associated with violations of the technology of plastering facades in the process of repair and restoration work. **Methods.** Conducting a field survey of the presence of defects and the causes of their occurrence, petrographic study of the composition of finishing materials used for plastering brick walls, determining the quantitative assessment of the substances

Введение

При реконструкции зданий старой постройки используются различные технологии производства работ, в том числе работы по восстановлению, замене, усилению конструкций и т. п. [1–3]. При нарушении технологии выполнения этих и других работ возможно появление дефектов, потенциально снижающих прочность и водонепроницаемость несущих и ограждающих конструкций, связанных с увлажнением, в результате нарушения как технологии производства работ, так и отсутствия или некачественного выполнения работ [4]. При реконструкции зданий и сооружений старой постройки выполняются работы по восстановлению фасада, относящиеся к комплексу специальных работ по реставрации, связанных с восстановлением первоначального архитектурного облика здания, утратившего внешний вид от времени или в

ности ремонтных растворов последнего ремонтного периода и стратиграфический анализ для определения связующего красочных слоев. В результате обследования кирпичной кладки, визуального осмотра оштукатуренной поверхности фасада, исследований образцов растворных материалов на стадии приготовления растворов для отделки фасадов позволит выявить причины появления дефектов на поверхности штукатурного слоя фасада. Исправление не качественно выполненных штукатурных работ с нарушением технологии их производства требует проведения дополнительных ремонтных работ по устранению дефектов и, соответственно, дополнительные трудовые и экономические затраты. Внешний вид фасада во многом зависит от долговечности штукатурного слоя и его устойчивости к внешним факторам.

Ключевые слова: реконструкция, ремонт, дефект, здания старой постройки, штукатурные работы, раствор.

that make up the binder solutions and the degree of preservation of repair mortars of the last repair period and stratigraphic analysis to determine the binder of paint layers. As a result of examination of brickwork, visual inspection of the plastered surface of the facade, examination of samples of mortar materials at the stage of preparation of solutions for finishing facades, it will be possible to identify the causes of defects on the surface of the plaster layer of the facade. Correction of poor-quality plastering works in violation of their production technology requires additional repair work to eliminate defects, and, accordingly, additional labor and economic costs. The appearance of the facade largely depends on the durability of the plaster layer and its resistance to external factors.

Keywords: reconstruction, repair, defect, old buildings, plastering, mortar.

случае, когда ремонтно-восстановительные работы фасада выполнялись с нарушением технологии производства штукатурных работ. К таким работам относятся работы по восстановлению штукатурного отделочного слоя на фасаде здания, назначением которых является выравнивание поверхности, защита конструкций от атмосферных воздействий, повышение эксплуатационных характеристик. [5; 6]. Работы по восстановлению и ремонту фасада, выполненные с нарушением технологий производства штукатурных работ, как правило, требуют дополнительного проведения ремонтных работ по устранению дефектов, допущенных в процессе работ [7–9]. В зданиях старой постройки наибольшему разрушению подвергаются кирпичная кладка стен и поверхность штукатурного слоя фасада. Их состояние и разрушение напрямую зависит от климатических условий, от качества и своевременности

реставрационных или ремонтно-восстановительных работ.

На рисунке 1 представлены характерные дефекты оштукатуренной поверхности стены фасада.

Материалы и методы

В процессе обследования здания с целью выявления нарушений, допущенных в процессе ремонтно-восстановительных работ фасада здания, выполнялось визуальное обследование фасадов и фотофиксация [10].

Отбирались образцы кирпичной кладки, штукатурного и красочного слоев с поверхности фасада для петрографического изучения состава отделочных материалов, используемых для оштукатуривания кирпичных стен, определения количественной оценки веществ, составляющих вяжущее растворов [11–13].

Петрографическое изучение растворов поверхности штукатурного слоя фасада проводилось с использованием микроскопа МБС-9, микрофотофиксация с увеличением поверхностей исследуемых образцов выполнялась при помощи сканера HP Scanjet G1040. Влажность образцов (влажных на ощупь) оценивалась влагомером «Protimeter mini III» в относительных единицах.

Стратиграфический анализ красочных слоев проводился для определения и идентификации связующего

слоев с использованием микрокапельных химических анализов.

Петрографические, стратиграфические исследования выполнялись по традиционным методикам, принятым в реставрационной практике.

Результаты и обсуждение

В результате обследования кирпичной кладки, поверхности штукатурного слоя фасада и окрасочного слоя, а также визуального осмотра поверхности фасада были выявлены следующие нарушения технологии производства штукатурных работ (рисунок 2):

- очистка, расчистка и смывка грязи и цементно-содержащихся растворов кирпичной кладки не выполнены;
- имеются отслоения штукатурного слоя от основы и утрата красочных слоев в результате влияния климатических факторов;
- не расчищены швы кирпичной кладки от растворов, пустоты забиты битым кирпичом;
- ремонтно-восстановительные работы проводились с применением жестких, плохо перемешанных растворов с использованием цемента и посторонних включений, что привело к образованию трещин на поверхности штукатурного слоя;



Рис. 1. Фрагменты разрушений кирпичной кладки, поверхности штукатурного слоя фасада в результате нарушений технологии оштукатуривания в процессе ремонтно-восстановительных работ: а) разрушения кирпичной кладки; б) разрушение кирпичной кладки, образование сетки трещин; в) утраты красочных слоев; г) отслоения штукатурного слоя от основы

Fig. 1. Fragments of the destruction of the brickwork of the surface of the plaster layer of the facade as a result of violations of the plastering technology during repair and restoration work: a) destruction of brickwork; b) destruction of brickwork, the formation of a grid of cracks; c) loss of colorful layers; d) peeling of the plaster layer from the base

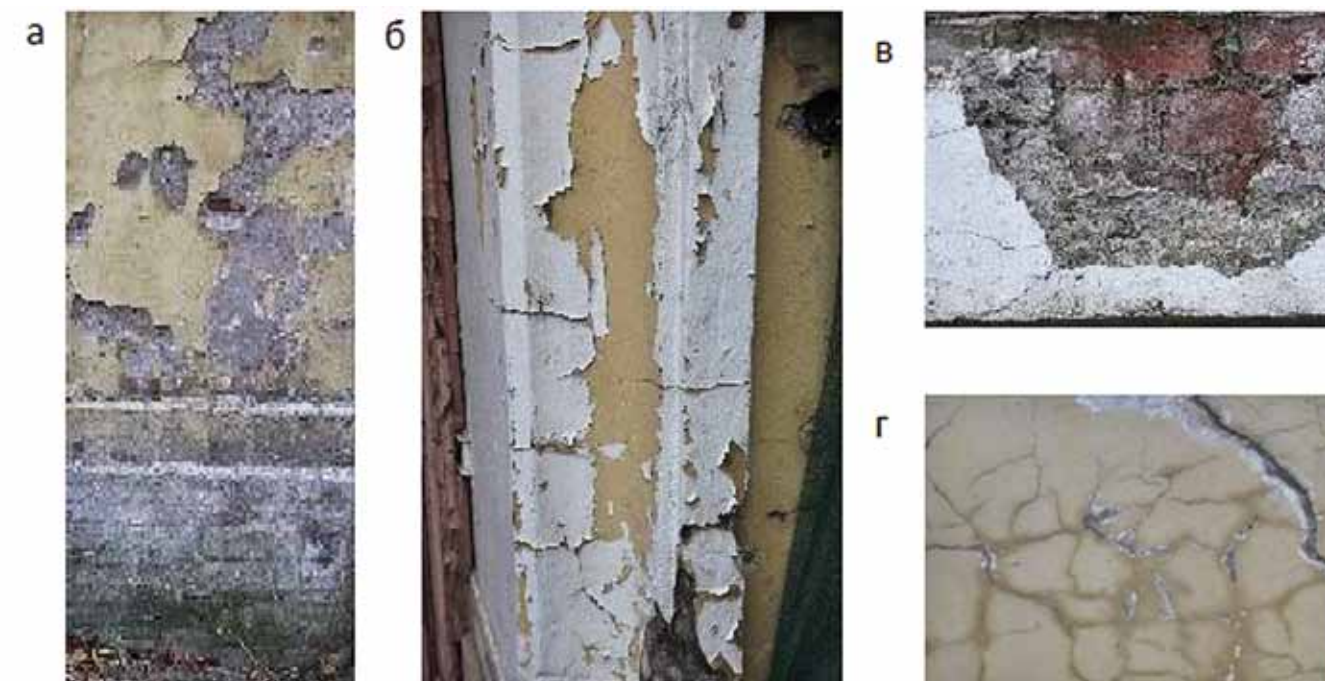


Рис. 2. Состояние поверхности фасада, выявленное при визуальном осмотре фасада: а) загрязнение, высолы и утрата штукатурного слоя; б) отслоение окрасочного слоя с оштукатуренной поверхности; в) дефекты кирпичной кладки под слоями ремонтного раствора; г) усадочные трещины штукатурного слоя из-за применения жестких ремонтных цементных смесей на основе извести

Fig. 2. The condition of the facade surface revealed during visual inspection of the facade: a) contamination, efflorescence and loss of the plaster layer; b) peeling of the paint layer from the plastered surface; c) brickwork defects under the layers of repair mortar; d) shrinkage cracks of the plaster layer due to the use of rigid repair cement mixtures based on lime

- работы с растворными материалами последнего периода выполнялись небрежно, с очевидным нарушением технологий приготовления растворов из сухих смесей и затем на стадии их нанесения и периода твердения;
- отмечается высокая влажность образцов (более 8 %), что связано с отсутствием изоляции рабочих поверхностей фасадов при выполнении штукатурных работ от атмосферных осадков.

Для определения состава связующего и вяжущего растворов штукатурного слоя проводились петрографические исследования отобранных образцов растворных материалов отделки фасадов (рисунки 3, 4).

Результат исследования растворного материала и связующего (образцы см. на рисунке 3) показал, что при ремонтно-восстановительных работах фасада использовался тонкозернистый раствор, вяжущее – известь воздушная с добавлением до 5 % гипса и наполнитель – кварц-полевошпатовый, фракция зерен до 2 мм, с включениями древесного угля и др.

Результат исследования растворного материала и связующего (образцы см. на рисунке 3) показал, что при ремонтно-восстановительных работах использовался белый неоднородный, мелкокомковатый, рыхлый раствор, вяжущее – известь со значительным количеством пыли и грязи, примерно 60 % от объема раствора, наполнитель – кварц-полевошпатовый, фракция зерен до 2 мм, в количестве 30–40 %, с включением мелких зерен кирпича. Фрагменты краски на поверхности растворов предыдущего ремонта выполнены с использованием воздушной извести, а при ремонтно-восстановительных работах обследуемого периода – на основе извести с добавлением синтетики.

Таким образом, на основании результатов обследования здания, визуального осмотра кирпичной кладки и поверхности штукатурного слоя с последующим проведением лабораторных исследований отобранных образцов растворных материалов выявлены нарушения технологии ремонтно-восстановительных работ по оштукатуриванию фасада:

- подготовительные работы (очистка, насечка, грунтовка и т. п.) не выполнены в соответствии с обязательными нормативными требованиями. В результате некачественной подготовки поверхности старого слоя кирпичной кладки и поверхности штукатурного слоя фасада новый штукатурный слой отслоился вместе со слоем старой краски и шпаклевки;
- плохая адгезия (прилипание, сцепление поверхностей разнородных покрытий) и, как следствие, образование пор, в которые поступает влага и пр., которые также привели к отслаиванию нового штукатурного и окрасочного слоев;
- штукатурный раствор приготовлен с нарушением нормативных требований и представлял собой неоднородный, комковатый, рыхлый, с включениями мусора, цемента в пределах 40 % от объема раствора и недостаточно перемешан;
- при нанесении первого слоя штукатурного слоя сплошным ровным слоем на сетку с последующим нанесением на него слоев грунта с разравниванием заподлицо с маяками нарушена очередность выполнения операций. Штукатурный слой на сетку нанесен неравномерно по толщине без заглаживания и выравнивания поверхности, что также привело к отслоению штукатурного слоя;

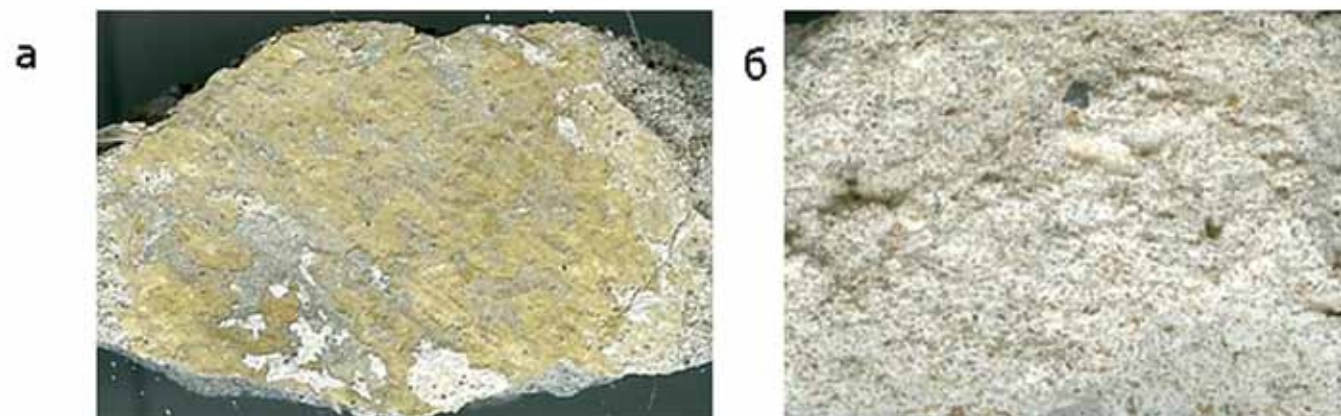


Рис. 3. Образцы растворяемых материалов: а) поверхность со следами шпаклевки и краски; б) образец, мокрый на ощупь, влажность около 8 %; раствор серый, изначально белый, крошащийся
Fig. 3. Samples of mortar materials: a) surface with traces of putty and paint; b) sample, wet to the touch, humidity about 8 %; the solution is gray, initially white, crumbling



Рис. 4. Образцы растворяемых материалов
Fig. 4. Samples of mortar materials

- работы с растворными материалами в процессе ремонтно-восстановительных работ выполнялись небрежно, с очевидным нарушением технологий как на стадии приготовления растворов из сухих смесей, так и на стадии их нанесения на поверхность фасада;
- высокая влажность исследованных растворов связана с отсутствием изоляции рабочих поверхностей фасадов от внешних атмосферных факторов на всех стадиях производства работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина, А. Ф. Современные технологии при реконструкции зданий и сооружений / А. Ф. Юдина // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3 (62). – С. 117–123.
2. Yudina, A. F. Enhancing technological processes in building construction and reconstruction by means of new technologies / A. F. Yudina. – DOI 10.1007/s42107-019-00139-9 // Asian Journal of Civil Engineering. – 2019. – Vol. 20 (5). – P. 727–732.
3. Юдина, А. Ф. Реконструкция перекрытий в зданиях старого жилого фонда методом облегченной конструкции / А. Ф. Юдина // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8255>.
4. Yudina, A. F. Defects in the hydroinsulation of the underground part of the building of Tovstonogov Bolshoi Drama Theater

Заключение

Перечисленные замечания и недостатки технологии при выполнении штукатурных работ в процессе ремонтно-восстановительных работ существенно влияют на эксплуатационную надежность поверхности фасада. Назначение штукатурного слоя – выравнивание поверхности фасада, защита от влаги, повышение сопротивления теплопередаче и уменьшение воздухопроницаемости.

На основании результатов обследования выявлены нарушения технологии производства штукатурных работ, в том числе и на стадии приготовления растворов. Ремонтные растворы представлены плотными жесткими растворами на основе белого цементного вяжущего с добавлением извести и известково-гипсовых растворов. Обнаруженные фрагменты красок на поверхности растворов выполнены на основе извести воздушной.

Работы по оштукатуриванию фасада выполнялись в условиях воздействия внешних атмосферных факторов, подтверждением этому служат результаты исследования образцов растворов с высокой влажностью, что способствует появлению деформаций и трещин на оштукатуренной поверхности.

При проведении ремонтно-восстановительных работ необходимо соблюдать требования технологии производства работ по восстановлению кирпичной кладки и штукатурного слоя.

after the reconstruction / A. F. Yudina // E3S Web of Conferences / TPACEE-2019. – 2020. – Vol. 1. – P. 1–5. – URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

5. Бельчук, Е. А. Обследование фасада здания и оценка технического состояния / Е. А. Бельчук // Инструменты и механизмы современного инновационного развития : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 27 июня 2022 г. – Уфа : OMEGA SCIENCE, 2022. – С. 46–48.
6. Баянова, Д. Р. Повреждения стен старых зданий / Д. Р. Баянова, В. В. Павлов // Новое в архитектуре, проектировании и реконструкции зданий : материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции, Чебоксары, 23–24 ноября 2016. – 2016. – С. 240–243.
7. Тишкин, Д. Д. К вопросу о повышении долговечности штукатурных фасадов зданий / Д. Д. Тишкин, К. И. Барболин // Вест-

- ник инженеров-строителей. – 2017. – № 6 (65). – С. 135–139.
8. Медяник, Ю. В. О влиянии технологических факторов на долговечность фасадной штукатурки / Ю. В. Медяник // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 12 частях, Тамбов, 29 октября 2012 года. – 2012. – Ч. 9. – С. 75–77.
9. Arioglu, N. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach / N. Arioglu, S. Acun // Building and Environment. – 2006. – Vol. 41, Iss. 9. – P. 1223–1230.
10. Pavia, S. An assessment of lime mortars for masonry repair / S. Pavia, B. Fitzgerald, E. Treacy // Research in Ireland Colloquium. – 2006. – Vol. 63 (7). – P. 101–108.
11. Skopintsev, A. V. Comparative analysis of the materials' choice for the brick restoration technologies in the cultural

REFERENCES

1. Yudina, A. F. Sovremennye tekhnologii pri rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Modern technologies in the reconstruction of buildings and structures] / A. F. Yudina // Bulletin of Civil Engineers [Vestnik grazhdanskikh inzhenerov]. – 2017. – № 3 (62). – P. 117–123.
2. Yudina, A. F. Enhancing technological processes in building construction and reconstruction by means of new technologies / A. F. Yudina. – DOI 10.1007/s42107-019-00139-9 // Asian Journal of Civil Engineering. – 2019. – Vol. 20 (5). – P. 727–732.
3. Yudina, A. F. Rekonstruktsiya perekrytij v zdaniyakh starogo zhilogo fonda metodom oblegchennoj konstruksii [Reconstruction of ceilings in buildings of the old housing stock using the lightweight construction method] / A. F. Yudina // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2023. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8255>.
4. Yudina, A. F. Defects in the hydroinsulation of the underground part of the building of Tovstonogov Bolshoi Drama Theater after the reconstruction / A. F. Yudina // E3S Web of Conferences / TPACEE-2019. – 2020. – Vol. 1. – P. 1–5. – URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
5. Bel'chuk, E. A. Obsledovanie fasada zdaniya i ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya [Inspection of the facade of the building and assessment of the technical condition] / E. A. Bel'chuk // Instrumenty i mekhanizmy sovremennogo innovatsionnogo razvitiya : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Saratov, 27 iyunya 2022 g. [Tools and mechanisms of modern innovative development : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Saratov, June 27, 2022]. – Ufa : OMEGA SCIENCE, 2022. – P. 46–48.
6. Bayanova, D. R. Povrezhdeniya sten starykh zdaniy [Damage to the walls of old buildings] / D. R. Bayanova, V. V. Pavlov // Novoe v arkhitekture, proektirovani i rekonstruktsii zdaniy : materialy III Mezhdunarodnoj (IX Vserossiyskoj) konferentsii, Cheboksary, 23–24 noyabrya 2016 [New in architecture, design and reconstruction Buildings : materials of the III International (IX All-Russian) Conference, Cheboksary, November 23–24, 2016]. – 2016. – P. 240–243.
7. Tishkin, D. D. K voprosu o povyshenii dolgovechnosti shtu-

heritage sites' facades / A. V. Skopintsev, G. E. Shapiro. – DOI 10.1088/1757-899X/913/3/032016 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 913. – P. 032016.

12. Гарькин, И. Н. Некоторые аспекты технологии проведения реставрации фасада на вновь выявленном объекте культурного наследия / И. Н. Гарькин, Н. В. Агафонкина // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2 (74). – P. 29–38. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6806.
13. Degaev, E. Integrated assessment of contractor's building production culture during facade repair / E. Degaev, R. Barkhi // Journal of Physics: Conference Series / International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural ANALYSIS 2019, MMSA 2019 Moscow, 13–15 november 2019. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012066.

katurnykh fasadov zdaniy [On the issue of increasing the durability of plaster facades of buildings] / D. D., Tishkin, K. I. Barbolin // Vestnik inzhenerov-stroitelej [Bulletin of Civil Engineers]. – 2017. – № 6 (65). – P. 135–139.

8. Medyanik, Yu. V. O vliyaniy tekhnologicheskikh faktorov na dolgovechnost' fasadnoj shtukaturki [On the influence of technological factors on the durability of facade plaster] / Yu. V. Medyanik // Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshchestva : sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 12 chastyakh, Tambov, 29 oktyabrya 2012 goda [Science and education in the life of modern society: collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference: in 12 parts, Tambov, October 29, 2012]. – 2012. – Part 9. – P. 75–77.
9. Arioglu, N. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach / N. Arioglu, S. Acun // Building and Environment. – 2006. – Vol. 41, Iss. 9. – P. 1223–1230.
10. Pavia, S. An assessment of lime mortars for masonry repair / S. Pavia, B. Fitzgerald, E. Treacy // Research in Ireland Colloquium. – 2006. – Vol. 63 (7). – P. 101–108.
11. Skopintsev, A. V. Comparative analysis of the materials' choice for the brick restoration technologies in the cultural heritage sites' facades / A. V. Skopintsev, G. E. Shapiro. DOI 10.1088/1757-899X/913/3/032016 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 913. – P. 032016.
12. Garkin, I. N. Nekotorye aspekty tekhnologii provedeniya restavratsii fasada na vnov' vyavlennom ob'ekte kul'turnogo naslediya [Some aspects of the technology of facade restoration on a newly identified object of cultural heritage] / I. N. Garkin, N. V. Agafonkina // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2021. – № 2 (74). – P. 29–38. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6806.
13. Degaev, E. Integrated assessment of contractor's building production culture during facade repair / E. Degaev, R. Barkhi // Journal of Physics: Conference Series / International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural ANALYSIS 2019, MMSA 2019 Moscow, 13–15 november 2019. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012066.

Торкретирование в электрическом поле, создаваемом постоянным высоким напряжением

Shotcrete in an Electric Field Created by a Constant High Voltage

Мищенко Валерий Яковлевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью», 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 «Technologies, Construction Organization, Expertise and Real Estate Management», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, oseun@yandex.ru

Писаревский Александр Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические системы и электроснабжение», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, 2732558@mail.ru

Pisarevsky Alexander Yurievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electromechanical Systems and Power Supply», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, 2732558@mail.ru

Перцев Юрий Алексеевич

Старший преподаватель кафедры «Электромеханические системы и электроснабжение», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, el.machine@list.ru

Pertsev Yuri Alekseevich

Senior Lecturer of the Department «Electromechanical Systems and Power Supply», Voronezh State Technical University (VSTU), Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, el.machine@list.ru

Лобода Дмитрий Владимирович

Ведущий инженер инжинирингового центра «ПроектСтройИнжиниринг», ФБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, 394006, Воронеж, улица 20-летия Октября, 84, loboda.dv@novomor.org

Loboda Dmitry Vladimirovich

Leading Engineer of the Engineering Center «ProektStroyEngineering», Southwestern State University, Russia, 394006, Voronezh, ulitsa 20-letiya Oktyabrya, 84, loboda.dv@novomor.org

Аннотация. Известно, что одной из главных проблем «сухого» торкретирования ограждающих конструкций является значительный отскок материала, наносимого на поверхность. Для снижения этого негативного эффекта применяются различные способы, однако одним из наиболее инновационных является обработка торкрет-смеси в резко неоднородном электростатическом поле. Униполярная корона постоянного тока (когда на коронирующий электрод подается отрицательный потенциал) обладает большей энергетической способностью, заполняя межэлектродное пространство ионами одного знака. Теоретическим и опытным путем определялась относительная диэлектрическая проницаемость торкрет-смеси. Кроме того, была определена необходимая сила, которая должна действовать на заряд для переноса вещества в электрическом поле на заданное расстояние между электродами. Установлено, что рас-

положение коронирующего электрода должно быть в центре распылителя. Проведено исследование с изолированными и неизолированными электродами. Выявлена связь между напряженностью поля и расстоянием – как между изолированными, так и неизолированными электродами. Экспериментальным путем определено, что при этом частицы смеси распределяются и переносятся по силовым линиям по закону Кулона. Процесс торкретирования в электрическом поле, создаваемом постоянным высоким напряжением, показывает свою эффективность за счет равномерного осаждения заряженных частиц на обрабатываемую поверхность.

Ключевые слова: торкретирование, электростатика, ионизация, коронирующий электрод, коронный разряд, конденсатор, диэлектрическая проницаемость, высокое напряжение.

was determined theoretically and experimentally. In addition, the necessary force was determined, which should act on the charge to transfer the substance in an electric field to a given distance between the electrodes. It is established that the location of the corona electrode should be in the center of the atomizer. A study with isolated and non-isolated electrodes was carried out. The relationship between the field strength and the distance between both isolated and non-isolated electrodes has been revealed. It was determined experimentally that in this case the mixture is deflected and distributed along the lines of force according to

Coulomb's law. The process of shotcrete in an electric field created by a constant high voltage shows its effectiveness due to the uniform deposition of charged particles on the treated surface.

Введение

Если при так называемом «мокрым» торкретировании в сопло торкрет-машины подается готовая смесь, то при «сухом» способе торкрет-бетон получают путем смешивания с водой затворения в основании сопла, что приводит к чрезмерному пылеобразованию и потерям материала за счет отскока. Повышение технологичности процесса заключается в применении электрического поля и воздействии электризации на торкрет-смесь, что позволяет обеспечить притягивание частиц к торкретируемой поверхности по силовым линиям поля по закону Кулона [1–4].

Материалы и методы

Если на электроды подается постоянное напряжение – U (кВ), то в пространстве между электродами возникает неоднородное электрическое поле, имеющее напряженность E (кВ/см). При малом напряжении U сила тока I близка к нулю. По мере повышения напряжения и достижения значения U_0 показатель напряженности станет расти и достигнет значения E_0 , что позволит активизировать процесс ионизации воздуха в межэлектродном пространстве. За счет резкого спада напряженности отрицательно заряженные электроны будут притягиваться к нейтральным молекулам. В результате образуются отрицательные ионы, которые и создают ток коронного разряда. Дальнейший рост напряжения приводит к тому, что при достижении $U_{проб}$ происходит пробой промежутка, сопровождаемый дуговым или искровым разрядом. При униполярной короне практически все межэлектродное пространство заполнено ионами одного знака, совпадающего со знаком потенциала на коронирующем электроде [5; 6].

В технологических процессах главную роль играет внешняя зона коронного разряда. Как область поля с униполярным объемным зарядом, она характеризуется

Keywords: shotcrete, electrostatics, ionization, corona electrode, corona discharge, capacitor, dielectric constant, high voltage.

определенным распределением напряженности поля E и плотности объемного заряда ρ .

Система уравнений поля для внешней зоны коронного разряда имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{E} = \rho / \varepsilon_0; \\ \vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi; \\ \operatorname{div} \vec{J} = 0; \\ \vec{J} = \rho k \vec{E}. \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение – уравнение Пуассона – устанавливает связь между плотностью объемного заряда ρ и напряженностью поля E . Второе уравнение – выражение напряженности поля через потенциал φ . Третье – уравнение неразрывности плотности тока, четвертое – отражает связь плотности тока J с плотностью объемного заряда ρ , напряженностью поля E и подвижностью ионов k . Для решения данной системы приведены граничные условия в [6]. Процесс воздействия электрического поля на вещество рассмотрен подробно в работах Верещагина И. П. [5–7]. Поведение сферической частицы в электрическом поле описано в [5, 6].

Т. к. размер частиц менее 10 мкм, то действие силы тяжести много меньше силы воздействия электрического поля. В [8] приводятся экспериментально полученные значения относительной диэлектрической проницаемости ε_r для бетонной смеси 24,9–25,6 в процессе гидратации.

Сухая торкрет-смесь представляет собой сложный диэлектрик, т. е. механическая смесь двух компонентов с разными диэлектрическими проницаемостями ε_r , имеющая логарифмическую зависимость от проницаемости отдельных компонентов [5–7].



Рис. 1. Водоцементная смесь притягивается и осаждается на пластине конденсатора
Fig. 1. The water-cement mixture is attracted and deposited on the capacitor plate



Рис. 2. а) Изолированные электроды, б) неизолированные электроды
Fig. 2. a) Insulated electrodes, b) non-insulated electrodes

На рисунке 1 представлен процесс проведения эксперимента, в ходе которого частицы водоцементной смеси распределяются под воздействием электрического поля по силовым линиям и притягиваются вправо, где располагается пластина конденсатора. Смесь уплотнялась (чтобы уменьшить влияние воздуха на величину емкости конденсатора) между обкладками конденсатора $\varnothing 100$ мм в промежутке 10 мм. Измерение емкости конденсатора производилось мультиметром M890D. Относительная диэлектрическая проницаемость сухой смеси $\epsilon_r = 2,37$. Более влажная смесь показала $\epsilon_r = 29,3$. Далее наблюдалось увеличение ϵ_r от 146 до 474 – это процесс гидратации (в течение 200 с.), через 96 ч. ϵ_r снизилась до 2,87.

Далее эксперимент проводился с изолированными и неизолированными электродами (рисунок 2), чтобы определить влияние на процесс таких параметров, как количество электродов, расстояния между ними и наличие изоляции. 3 коронирующих электрода диаметром 2 мм устанавливались в углах равностороннего треугольника

(L , мм = 16, 35, 50, 70) на одинаковом расстоянии h от плоскости.

Результаты

Приведем теоретические и практические результаты: необходимая сила, действующая на заряд, для переноса вещества в электрическом поле на заданное расстояние между электродами, она возникает при напряжении 30 кВ, что было подтверждено экспериментально на модели. Так, например, мощность, выделяемая на заряд и перенос заряженных частиц при расстоянии $h = 12,5$ см, по расчету составляет $P = 0,45$ Вт, по результатам опытов – $P = 0,55$ Вт (погрешность 18,2 %).

При увеличении напряжения от 20 до 27 кВ наблюдается стабилизация процесса – величина тока не изменяется и не превышает 20 мкА. При дальнейшем увеличении напряжения происходит пробой воздушного промежутка при 30–35 кВ.

Увеличение расстояния между изолированными электродами приводит к снижению напряжения при практи-

чески неизменной величине тока, что указывает на необходимость располагать электроды ближе к центру на меньшем расстоянии. Неизолированные электроды оказывают экранирующее действие друг на друга, что приводит к увеличению тока и пробоем воздушного промежутка при меньших значениях напряжения. Данные, полученные при $L = 16$ мм, приведены на рисунке 3.

Опыты по изменению числа электродов показали, что при увеличении их количества наблюдается стабилизация процесса электризации при напряжении от 18 до 27 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений : Шифр М10.1/06 : утверждено заместителем генерального директора ОАО «ЦНИИПромзданий» С. М. Гликиным 24.05.2007 / ОАО «ЦНИИПромзданий», ЗАО «Служба защиты сооружений». – Москва, 2007. – 31 с.
2. Федюк, Р. С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) / Р. С. Федюк, А. В. Мочалов, В. С. Лесовик // Вестник ИШ ДВФУ. – 2018. – № 4 (37). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sposoby-aktivatsii-vyazhushchego-i-betonnyh-smesey-obzor> (дата обращения: 10.03.2023).
3. Торкретирование бетона: технология и методы нанесения // Компания «КСГИДРО» : [официальный сайт]. – URL: <https://ksgidro.ru/texnicheskie-resheniya/torkretirovanie-betona-texnologiya-i-metodyi-naneseniya.html> (дата обращения: 07.03.2023).
4. Моделирование потоков двухфазной смеси в процессе

REFERENCES

1. Rukovodstvo po primeneniyu torkret-betona pri vozvedenii, remonte i vosstanovlenii stroitel'nykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij : SHifr M10.1/06 : [Guidelines for the use of shotcrete in the construction, repair and restoration of building structures of buildings and structures : Cipher M10.1/06] : utverzhdno zamestitelem general'nogo direktora ОАО «TS-NIIPromzdaniy» S. M. Glikiny 24.05.2007 [approved by the Deputy General Director of JSC «Tsnipromzdaniy» S. M. Glikin 24.05.2007] / JSC «Tsnipromzdaniy», CJSC «Construction Protection Service». – Moscow, 2007. – 31 p.
2. Fedyuk, R. S. Sovremennyye sposoby aktivatsii vyazhushchego i betonnykh smesey (obzor) [Modern methods of activation of binder and concrete mixtures (review)] // Vestnik ISH DVFU [Bulletin of the ISH FEFU]. – 2018. – № 4 (37). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sposoby-aktivatsii-vyazhushchego-i-betonnyh-smesey-obzor> (accessed: 10.03.2023).
3. Torkretirovanie betona: tekhnologiya i metody naneseniya [Concrete shotcrete: technology and methods of application] // KSGIDRO Company : [official website]. – URL: <https://ksgidro.ru/texnicheskie-resheniya/torkretirovanie-betona-texnologiya-i-metodyi-naneseniya.html> (accessed: 07.03.2023).
4. Modelirovanie potokov dvuhfaznoj smesi v protsesse suchogo torkretirovaniya poverhnostej stroitel'nykh konstruksij [Modeling of two-phase mixture flows in the process of dry

Заключение

Процесс торкретирования в резко не однородном электрическом поле, создаваемом постоянным высоким напряжением, показывает свою эффективность за счет равномерного осаждения заряженных частиц на обрабатываемую поверхность и малой потребляемой мощности, что было определено расчетным путем и доказано экспериментально.

Расположение коронирующего электрода должно быть в центре распылителя. Для более равномерной ионизации с меньшими затратами энергии необходимо рассмотреть вопрос применения нескольких электродов.

- сухого торкретирования поверхностей строительных конструкций / А. А. Абраменко, В. Я. Мищенко, А. Л. Семенов, Е. П. Горбанева // Известия вузов. Строительство. – 2020. – № 7 (739). – С. 36–46.
5. Электрофизические основы техники высоких напряжений : учебник для вузов / И. М. Бортник [и др.] ; под ред. И. П. Верещагина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.
 6. Высоковольтные электротехнологии : учебное пособие по курсу «Основы электротехнологии» / Под ред. И. П. Верещагина – Москва : Издательство МЭИ, 1999. – 204 с.
 7. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы : учебник для вузов / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. – 7-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1985. – 304 с.
 8. Диэлектрические свойства и прочность цементного камня в мелкозернистом бетоне / С. А. Виноградов, М. А. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. П. Пичугин // Известия вузов. Строительство. – 2019. – № 3. – С. 20–30.

- shotcrete surfaces of building structures] / A. A. Abramenko, V. Ya. Mishchenko, A. L. Semenov, E. P. Gorbaneva // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of universities. Construction]. – 2020. – № 7. – P. 36–46.
5. EHlektrofizicheskie osnovy tekhniki vysokikh napryazhenij : uchebnik dlya vuzov [Electrophysical fundamentals of high voltage engineering. Textbook for universities] / I. M. Bortnik [et al.]; edited by I. P. Vereshchagin. – 2nd ed., reprint and additional – Moscow : Publishing House of MEI, 2010. – 704 p.
 6. Vysokovol'tnyye ehlektrotekhnologii : uchebnoe posobie po kursu «Osnovy ehlektrotekhnologii» [High-voltage electrical technologies : a textbook on the course «Fundamentals of electrical technology»] / Ed. I. P. Vereshchagin. – Moscow : Publishing House of MEI [from MPEI], 1999. – 204 p.
 7. Bogoroditsky, N. P. Electrotechnical materials : textbook for universities [Electrotechnical materials : Textbook for universities] / N. P. Bogoroditsky, V. V. Pasyнков, B. M. Tareev. – 7th ed., reprint and additional – Leningrad : Energoatomizdat. Leningrad Branch, 1985. – 304 p.
 8. Dielektricheskie svoystva i prochnost' tsementnogo kamnya v melkozernistom betone [Dielectric properties and strength of cement stone in fine-grained concrete] S. A. Vinogradov, M. A. Pichugin, V. F. Hritankov, A. P. Pichugin // Izvestiya vuzov. Construction [News of universities. Construction]. – 2019. – № 3. – P. 20–30.

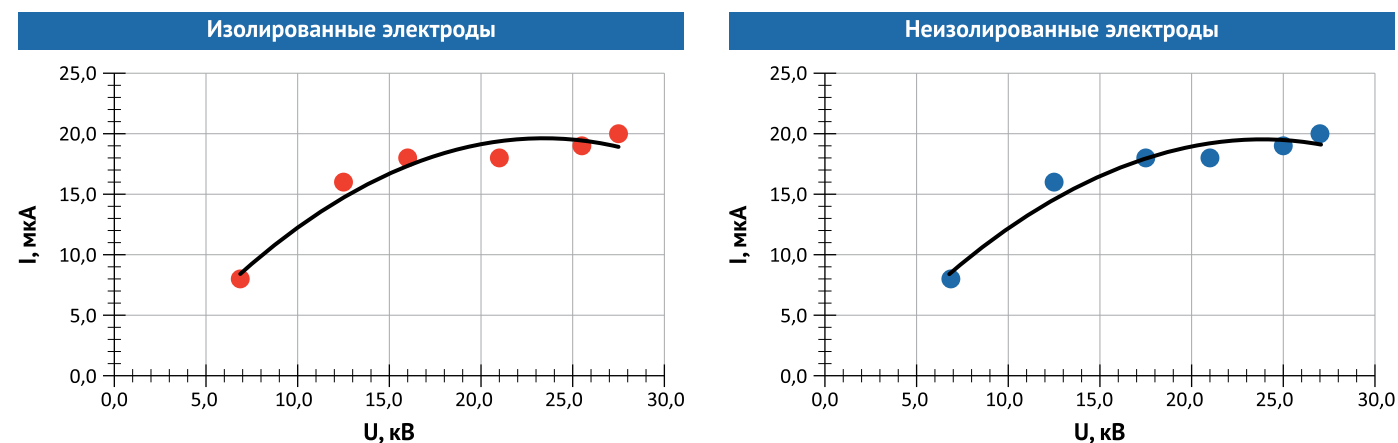


Рис. 7. Зависимость величины тока от напряжения при различных расстояниях между изолированными и неизолированными электродами

Fig. 7. The dependence of the current on the voltage for insulated and non-insulated electrodes

Цифровизация деятельности подрядных строительных организаций

Digitalization of Activities of Contracting Construction Organizations

Синенко Сергей Анатольевич

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

Sinenko Sergey Anatolievich

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

Савин Иван Михайлович

Магистр 2-го курса, кафедра «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, savin.vanya2013@gmail.com

Savin Ivan Mikhailovich

2nd year Master, Department «Technologies and Organization of Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337 Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, savin.vanya2013@gmail.com

Аннотация. Цифровизация строительных организаций считается необходимой с приходом четвертой промышленной революции. Для этого строительным компаниям нужно сотрудничать с другими организациями, обладающими дополнительными цифровыми возможностями. Таким образом, это исследование обосновывает необходимость цифрового партнерства в строительной отрасли России посредством опроса специалистов в области строительства, активно участвующих в строительных проектах. Анализ собранных данных был выполнен с использованием 5-этапного подхода, были приняты соответствующие описательные и логические статистические данные. Результаты показали, что цифровое партнерство не используется строительными организациями в стране. Однако при правильном принятии цифрового партнерства строительные организации могут получить большее конкурентное преимущество, повысить эффективность своих проектов и снизить риски

Abstract. The digitalization of public organizations embraces the advent of the fourth industrial revolution. To do this, construction organizations need to regulate with other organizations with a wide consumption scale. Thus, this study justifies the need for a survey in the Russian construction industry of construction professionals actively involved in a construction projects in the country. Analysis of the collected data was performed using a 5-step collection and the corresponding descriptive and statistical statistics were taken. The results show that digital partnership is not used by construction organizations in the country. However, with the right structure, get a greater competitive advantage, increase pro-

Введение

В указе Президента РФ от 19 июля 2018 г. № Пр-1235 сказано, что модернизация строительства требует внедрения технологических достижений. Это означает стандартизацию программного обеспечения для информационного моделирования зданий и его привязку к системам управления жизненным циклом. Кроме того, России необходимо привести в соответствие ранее принятые нормативные документы с международным и российским законодательством. Это повысит качество строительства благодаря лучшему программному моделированию и

за счет общих цифровых ресурсов. Кроме того, препятствиями для надлежащего внедрения цифрового партнерства являются плохое определение цели партнерства, выбор правильного цифрового партнера, проблема доверия, проблема риска партнерства и инвестиционные затраты. Исследование вносит свой вклад в совокупность знаний, поскольку показывает, что строительные организации, особенно в такой развивающейся стране, как Россия, имеют больше шансов выжить в динамичной среде строительства и цифровой среде, сотрудничая с другими организациями внутри и за пределами отрасли, а не приступая к пути цифровизации в одиночку.

Ключевые слова: цифровизация, деятельность, подрядные строительные организации, примеры, строительная промышленность, цифровое партнерство, цифровая трансформация, четвертая промышленная революция.

ject efficiency and reduce risks through various digital resources. In addition, the tasks for proper assignment are difficult. The study contributes to the body of knowledge as it shows that construction organizations, especially in a developing country like Russia, are more likely to survive in dynamic and digital environments by collaborating with other organizations inside and outside the sector rather than embarking on a path digitalization alone.

Keywords: digitalization, activity, contracting construction organizations, examples, construction industry, digital partnering, digital transformation, fourth industrial revolution.

расширению разработки программного обеспечения (рисунк 1).

Цифровизация делает возможным более быстрое развитие строительной отрасли благодаря подрядным строительным организациям. Следовательно, благодаря этому многие процессы становятся более эффективными.

Программное обеспечение – это цифровые технологии, поэтому их понимание требует качественного анализа. Это означает размышление о природе их создания, понимание текущих проблем и поиск способов удовлетворения потребностей в программном обеспечении. Кроме

того, необходимо найти решения для бесперебойной работы программного обеспечения [1; 2; 3].

Также стоит отметить, что в связи с пандемией COVID-19 в регуляторной среде начинают формироваться соответствующие поведенческие модели, что способствует трансформации строительной деятельности в цифровой мир. С 5 марта 2021 года вступило в силу постановление Правительства Российской Федерации о том, что все заказчики и застройщики, работающие за счет государственного бюджета, должны использовать технологии информационного моделирования (ТИМ, или BIM) [4; 5; 6].

При этом 12 августа 2021 года Правительство Москвы приняло решение о создании единой цифровой платформы для деятельности государства на базе существующей государственной информационной системы.

Кроме того, в следующем году на портале «Госуслуги» планируется появление цифрового строительного сервиса, который будет отвечать за оптимизацию деятельности подрядных организаций и строительной отрасли в целом. Тем не менее, некоторые технологии BIM уже давно используются в определенных проектах курсами, программами и даже факультетами. Это позволяет выпускать специалистов BIM для рынка труда [2; 6].

Международный опыт показывает, что цифровизация

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО № 2 (46)'2023

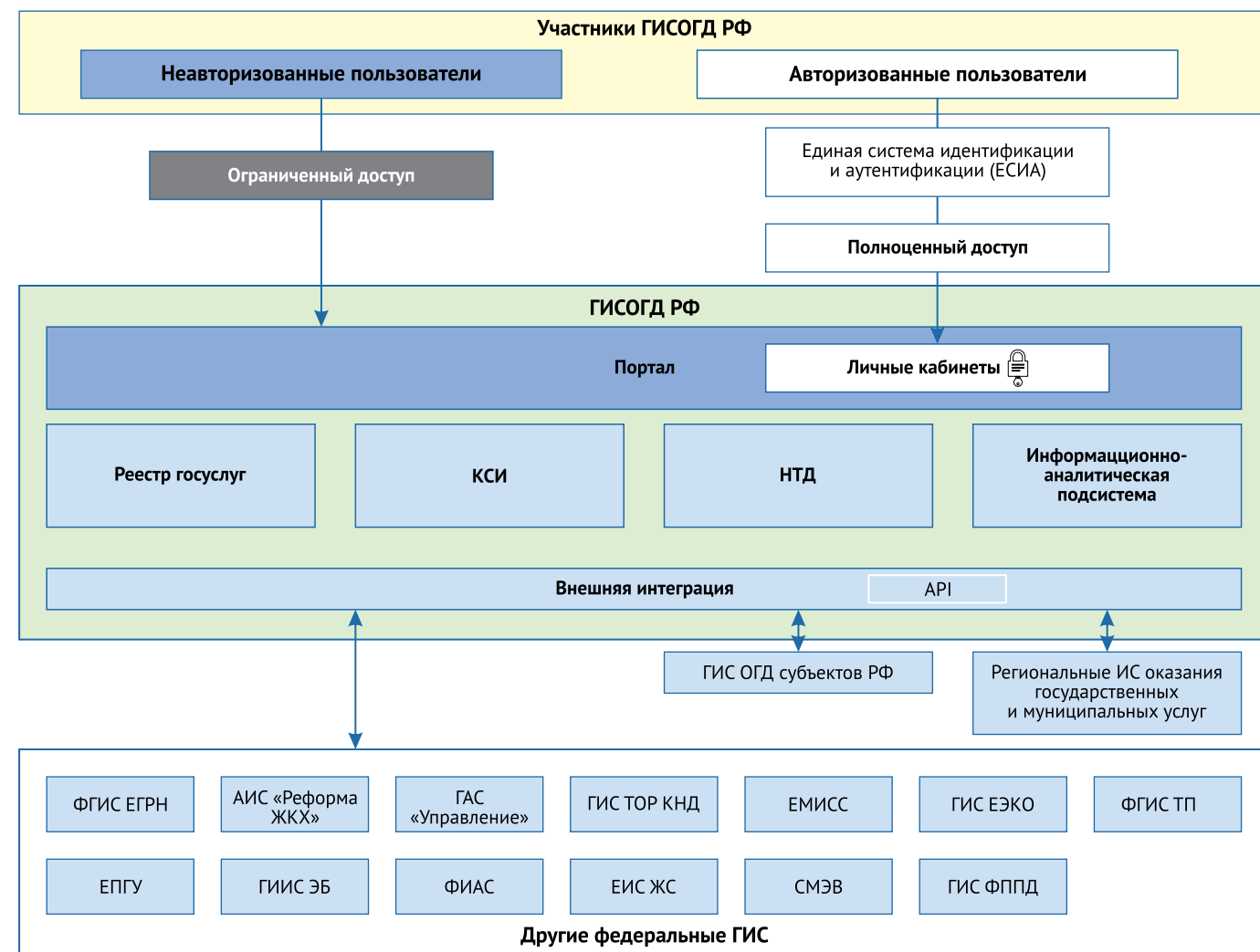
в строительной отрасли сокращает сроки реализации проектов на 19 % и затраты на 23 %. Это благотворно сказывается на спросе и стоимости жилья.

Согласно части 1 статьи 56 Градостроительного кодекса Российской Федерации, с 2010 года действует ИСОГД (Информационная система обеспечения градостроительной деятельности). Это влияет на рост рабочих мест и динамику создания организаций [1].

Материалы и методы

Использование цифровых технологий в строительстве может сократить время и стоимость проекта, повысить безопасность и качество, а также повысить производительность. Однако строительная отрасль в России медленно внедряет цифровые технологии по сравнению с другими отраслями. Отчасти это связано с традиционными методами работы в отрасли и отсутствием цифровых навыков у сотрудников.

Для решения этих проблем российское правительство запустило несколько инициатив по продвижению цифровой трансформации в строительной отрасли. Одной из таких инициатив является внедрение системы информационного моделирования зданий (BIM), которая представляет собой цифровое представление физических и функциональных характеристик здания. BIM позволяет архитекторам, инженерам и подрядчикам сотрудничать



 - Модули в соответствии с ПП РФ № 1558 от 28.09.2020 г.

Рис. 1. Облачное решение государственной информационной системы для обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД) для субъектов РФ

Fig. 1. Cloud solution of the state information system for urban planning activities for subjects of the Russian Federation



Рис. 2. Пример архитектуры системы строительного контроля
Fig. 2. An example of the architecture of a building control system

и обмениваться информацией на протяжении всего процесса строительства, уменьшая количество ошибок и повышая эффективность.

Еще одна инициатива – создание цифровой платформы для строительных проектов, целью которой является оптимизация процесса строительства от планирования до сдачи. Платформа позволит участникам проекта общаться и сотрудничать в режиме реального времени, сокращая задержки и ошибки.

В дополнение к этим инициативам правительство России также запустило программу обучения работников цифровым навыкам. Эта программа обеспечивает обучение BIM, 3D-моделированию и другим цифровым технологиям, которые необходимы для современной строительной отрасли.

Ожидается, что цифровая трансформация строительной отрасли в России окажет существенное влияние на экономику страны. Ожидается, что использование цифровых технологий сократит время и стоимость проекта, повысит качество и безопасность, а также повысит производительность. Это, в свою очередь, приведет к более эффективному использованию ресурсов и повышению конкурентоспособности страны на мировом рынке.

Прямое цифровое преобразование предполагает:

- Особенности использования ТИМ при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий;
- Принципы создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства;
- Удобство базовой программы ТИМ;
- Закон о цифровом строительстве;
- Применение интегрированных стандартов разработки.

Текущие проблемы:

1. Отсутствие информационной системы градостроительства в регионе;
2. Всего 20 % – доля государственных и муниципальных услуг, оказываемых в электронной форме;
3. Отсутствие единого стандартизированного регламента управления оказанием услуг, формата обмена данными;
4. Работа заказчиков, подрядчиков, строительного надзора и эксплуатации зданий не автоматизирована;
5. Вопросы строительного контроля.

По оценкам экспертов, скорость внедрения технологий в России составляет около 40–50 %. Анализ полученной информации и выявленных актуальных проблем строительных организаций позволили сделать следующие выводы.

Во-первых, сложность и неупорядоченность коммуникаций. Несвоевременное предоставление информации, необходимой для полного понимания текущей ситуации, затрудняет принятие решений. Большая часть сегодняшних коммуникаций между проектными отделами и строительными площадками представлена бесконечными мобильными переговорами и онлайн-встречами между участниками, которая затем еще и дублируется электронной почтой и приложениями. И так – по любым вопросам, до бесконечности. Это значительно снижает эффективность принятия решений.

Во-вторых, трудоемкость сбора и обработки данных связана с отсутствием единой цифровой базы. Рабочие выполняют одни и те же задачи в разных приложениях. Сотрудникам также приходится иметь дело с новыми программами при переходе на другую должность. Если внедрение в производство новых многофункциональных и сложных программ руководству компании кажется неоправданно дорогим, в этом случае необходимо оплачивать работнику время его обучения в сторонней организации. Или приходится нанимать на работу больше специалистов, чтобы развивать компанию и увеличивать ее доход. К сожалению, инновационные программы и системы, требующие обучения, их реализация и стоимость не устраивают многих подрядчиков.

Результаты

В отрасли создана система, которая охватывает все задачи, которые необходимо решить. Ниже приведены лишь некоторые из них.

Национальная информационная система градостроительной деятельности (ИСОГД) создана для обеспечения органов государственной власти, местного самоуправления, физических и юридических лиц достоверной информацией, необходимой для осуществления градостроительной деятельности. Часть 1 статьи 56 Градостроительного Кодекса Российской Федерации гласит:

«Национальная информационная система градостроительной деятельности – информационная система, созданная и внедряемая в соответствии с требованиями настоящего Кодекса, содержащая информацию, документы и материалы по территориальному развитию и застройке, размещению существующих и планируемых объектов капитального строительства и другие сведения о мероприятиях, необходимых для градостроительной деятельности».

Целью создания и ведения «Реестра деловой репутации партнеров Правительства Москвы» является предоставление информации в соответствии с экономическими интересами города Москвы при оформлении государ-

ственного заказа по городу Москве и проведение мероприятий в его поддержку[6].

Государственная информационная система города Москвы предназначена для поддержки информации о градостроительной политике города Москвы и деятельности по строительству зданий и осуществляет контроль:

- контроль за целевым использованием застройщиками денежных средств, уплаченных участниками долевого строительства по договорам на строительство многоквартирных домов и (или) иных объектов недвижимости;
- контроль деятельности застройщиков в части привлечения денежных средств участников долевого строительства для строительства многоквартирных домов и (или) иного недвижимого имущества.

Обсуждение

Таким образом, написание качественных BIM-правил с нуля иногда занимает более полугода даже у специалистов, потому что необходимо не только понимать технологический процесс, но и нужно корректировать его под деятельность конкретной организации [5; 6]. А идеальным вариантом цифровизации деятельности как

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровизация как фактор повышения производительности труда в строительной отрасли / И. Л. Владимирова, Г. Ю. Каллаур, А. А. Цыганкова, Л. М. Папикян, П. А. Тензина // Экономика строительства. – 2020. – № 3 (63). – С. 13–23.
2. Монакова, Т. П. Цифровизация государственных и муниципальных услуг в сфере строительства, анализ зарубежного опыта нормативно-правового регулирования в строительстве / Т. П. Монакова // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 34. – С. 1717–1722.
3. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 270800 «Строительство» / В. В. Талапов. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 391 с.
4. Sinenko, S. Digital transformation of the organization of construction production / S. Sinenko, T. Poznakhirko, A. Tomov // E3S Web of Conferences / Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region», UESF 2021,

REFERENCES

1. Tsifrovizatsiya kak faktor povysheniya proizvoditel'nosti truda v stroitel'nogo otrasli [Digitalization as a factor in increasing labor productivity in the construction industry] / I. L. Vladimirova, G. Yu. Kallaur, A. A. Tsygankova, L. M. Papikyan, P. A. Tensina // Ekonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2020. – № 3 (63). – P. 13–23.
2. Monakova, T. P. Tsifrovizatsiya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslug v sfere stroitel'stva, analiz zarubezhnogo opyta normativno-pravovogo regulirovaniya v stroitel'stve [Digitization of public and municipal services in the field of construction, analysis of foreign experience of legal regulation in construction] / T. P. Monakova // Innovatsii. Nauka. Obrazovanie. [Innovation. The science. Education]. – 2021. – № 34. – P. 1717–1722.
3. Talapov, V. V. Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdaniy : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenij, obuchayushhikhsya po spetsial'nosti 270800 «Stroitel'stvo» [Fundamentals of BIM: an introduction to information modeling of buildings: a textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty 270800 «Construction»] / V. V. Talapov. – Moscow : DMK Press, 2011. – 391 p.
4. Sinenko, S. Digital transformation of the organization of construction production / S. Sinenko, T. Poznakhirko, A. Tomov //

подрядной организации, так и отрасли в целом является единая сквозная мобильная система, доступная для всех участников строительной отрасли, подрядчиков, мастеров, государственных и частных заказчиков, которая характеризуется лаконичностью и простотой реализации и использования.

Выводы

Таким образом, при правильном внедрении цифровизации у строительных организаций есть шанс получить лучшее конкурентное преимущество, повысить эффективность проекта и снизить риски за счет общих цифровых ресурсов. Это исследование вносит значительный вклад в совокупность существующих знаний, поскольку оно ясно показывает необходимость цифровизации. Малые и средние строительные организации могут извлечь выгоду из принятия цифровизации, чтобы увеличить свое конкурентное преимущество и иметь возможность выигрывать проекты, тендеры. Кроме того, могут быть проведены дальнейшие исследования для оценки того, в какой степени существующая политика в строительных организациях может способствовать цифровой трансформации этих организаций.

- Chelyabinsk, February 17, 17–19, 2021. – 2021. – Vol. 258. – P. 09020.
5. Sinenko, S. Selection of Organizational and Technological Solutions for Construction / S. Sinenko. – DOI 10.1088/1755-1315/459/5/052043 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – Vol. 459, Chapter 4. – P. 052043.
6. Об автоматизированной информационной системе «Реестр деловой репутации партнеров Правительства Москвы» № 720-ПП / Комитет государственного строительного надзора города Москвы : официальный сайт. – Москва. – URL: <https://stroim.mos.ru/document/1066>.
7. Sinenko, S. A. On the Description of a Universal Model of Project System / S. A. Sinenko, T. Y. Poznakhirko. – DOI 10.1088/1755-1315/459/5/052051 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – Vol. 459, Chapter 4. – P. 052051.

- E3S Web of Conferences / Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region», UESF 2021, Chelyabinsk, February 17, 17–19, 2021. – 2021. – Vol. 258. – P. 09020.
5. Sinenko, S. Selection of Organizational and Technological Solutions for Construction / S. Sinenko. – DOI 10.1088/1755-1315/459/5/052043 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – Vol. 459, Chapter 4. – P. 052043.
6. Ob avtomatizirovannoj informatsionnoj sisteme «Reestr delovoy reputatsii partnerov Pravitel'stva Moskvyy» № 720-PP [About the automated information system «Register of business reputation of partners of the Government of Moscow» N 720-PP] / Komitet gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora goroda Moskvyy [Committee of State Construction Supervision of the City of Moscow : official website]. – Moscow. – URL: <https://stroim.mos.ru/document/1066>.
7. Sinenko, S. A. On the Description of a Universal Model of Project System / S. A. Sinenko, T. Y. Poznakhirko. – DOI 10.1088/1755-1315/459/5/052051 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – Vol. 459, Chapter 4. – P. 052051.

Эволюционный путь развития строительного производства

Evolutionary Path of Development of Construction Production

Олейник Павел Павлович

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

Oleynik Pavel Pavlovich

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

Бушуев Николай Иванович

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

Bushuev Nikolay Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Construction of Thermal and
Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia,
129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, BushuevNI@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются этапы научно-технического прогресса в отечественном строительном производстве, начиная от дореволюционного времени и заканчивая послеперестроечным периодом. На каждом этапе выделяются особенности развития взаимоувязанных между собой его составляющих – организации строительного производства, технологии и механизации строительно-монтажных работ. Приводятся наиболее весомые научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы с указанием объектов и масштабов внедрения, с соблюдением объективности хронологического изложения материала. Раскрывается полезность раз работок с позиций времени их действия и с учетом проблем

Abstract. The stages of scientific and technological progress in construction production, starting from the pre-revolutionary period to the post-perestroika period, are considered. At each stage, the features of the development of its interrelated components are highlighted – the organization of construction production, technology and mechanization of construction and installation works. The most significant research and design works are given, the indication of objects and implementation headquarters in compliance with the objectivity of the chronological presentation of the material. The usefulness of the developments is revealed from the standpoint of the time of their action and taking into account the problems of that time, including economic and political

Введение

Строительное производство представляет собой сложную динамическую материально-производственную систему, результирующую основу которой составляет триада тесно взаимоувязанных составляющих – организация строительного производства, технология и механизация строительно-монтажных работ [1; 2]. Направляющим вектором развития строительного производства является научно-технический прогресс, под воздействием которого пройден большой эволюционный путь. Можно выделить пять этапов развития строительного производства в нашей стране – дореволюционный, довоенный (1917–1940 гг.), послевоенный (1946–1990 гг.), перестроечный (1991–2000 гг.), послеперестроечный

того времени, включая экономическое и политическое влияние. Особо выделена деятельность ЦНИИОМТП (бывшего Гипрооргстроя), как головного института по проблемам строительного производства. В частности, указываются концепции развития и решаемые задачи на каждом этапе с кратким перечнем полученных основных результатов. Обращено внимание на разработки, не имеющие в мире аналогов и сыгравшие существенную роль в повышении организационно-технического уровня капитального строительства.

Ключевые слова: организация строительного производства, технология работ, механизация процессов, научно-технический прогресс, индустриализация строительства.

influence. The activity of TSNIOMTP (the former Giproorgstroy) as the main institute for the problems of construction production is highlighted. In particular, the concepts of development and the tasks to be solved at each stage are indicated with a brief list of the main results obtained. Attention is drawn to developments that have no analogues in the world and have played a significant role in improving the organizational and technical level of capital construction.

Keywords: organization of construction production, technology of work, mechanization of processes, scientific and technological progress, industrialization of construction.

(2001–н/вр.).

Материалы и методы

Начальный период развития строительного производства определялся обликом древнерусских городов XI–XIV вв., состоящих из крепости, торго и посада. Важнейшей частью городов были фортификационные сооружения и культовые постройки. Как правило, русские города включали малоэтажные рубленые деревянные здания. В то же время многие оборонительные сооружения, храмы и дороги возводились из известняка и гранита. Начиная с XVII в. применяется градостроительная планировка, деревянные здания постепенно заменяются на каменные, возводятся крупные инженерные сооружения – Кремлевский напорный водопровод, Петербургско-Московская

железная дорога, мосты через Оку и Днепр и др.

В целом, дореволюционный период отличался тяжелыми работами, которые выполнялись вручную с помощью лопат, грабарок, конных скреперов-волокушек, тачек. Уровень механизации работ не превышал 1–3 %, а импортируемые экскаваторы и краны применялись крайне редко. И только в 1900 г. на Путиловском заводе в Петрограде начался выпуск неполноповоротных экскаваторов на железнодорожном ходу с ковшом емкостью 1,5 м³ для тяжелых грунтов и 2,1 м³ для легких грунтов. Одновременно было начато изготовление камнедробилок и дорожных катков, а через год – изготовление сваебойной техники и дорожно-транспортных средств. Российские инженеры внесли существенный вклад в развитие строительной и дорожной техники. Так, например, в 1809 г. впервые в мире был разработан проект и изготовлен на Ижорском заводе плавучий многоковшовый экскаватор, а в 1879 г. создан первый гусеничный трактор. К началу XIX в. в России появились специальные землеройно-транспортные машины – бульдозеры, скреперы, грейдеры [3].

Довоенный период характеризуется переходом строительства на индустриальную основу. Осуществляется интенсивное восстановление разрушенного хозяйства страны. Так, за период 1920–1928 гг. было возведено свыше 2200 крупных предприятий и сооружений. Особенно активно строительство велось в годы первой пятилетки (1928–1932 гг.). Именно в этот период были введены в действие такие гиганты, как Днепрогэс им. В. И. Ленина, Московский и Горьковский автомобильные заводы, Харьковский тракторный завод и др. В течение 1924–1931 гг. создается сеть крупных проектных институтов – Гипромез, Гипроцветмет, Промстройпроект и др.

Для проведения комплекса исследований по проблемам строительного производства образован Гипрооргстрой. В короткие сроки институтом были разработаны методы проектирования организации строительства и технологии производства работ (в т. ч. в зимних условиях), основы механизации строительных процессов, эксплуатации и ремонта строительных машин. Особо следует отметить впервые разработанные технические условия на проектирование организации и производства строительных работ (проборазы ПОС и ППР), альбом инвентарных лесов и подмостей, проект металлической опалубки, картотеки строительных процессов и их технических средств,

Серия дома	Год возведения	Общая площадь, м²	Число секций
K-7(5)	1956–1960	126016	117
I-515(5)	1956–1960	375443	348
K-7(4)	1961–1965	157336	146
2-32(5)	1961–1965	1252325	1160
K-7(5)	1961–1965	2639998	2444
1605-AM(5)	1961–1965	874492	810
I-515(5)	1961–1965	4671380	4325

Табл. 1. Жилищный фонд первого индустриального поколения в г. Москве (фрагмент)

Tab. 1. Housing stock of the first industrial generation in Moscow (fragment)

сборники норм и калькуляции механизированных строительных процессов [4; 5].

В этот период ученые А. В. Барановский, О. А. Вутке, Б. П. Горбушин и Н. И. Пентковский предложили принципиально новую теорию поточно-скоростного возведения объектов, отличающуюся непрерывным и равномерным потреблением трудовых и материально-технических ресурсов при минимальных сроках строительства [6; 7].

Переход строительства на индустриальную основу стал возможен благодаря созданию отечественного строительно-дорожного машиностроения. В результате за короткий срок был достигнут значительный уровень механизации работ: земляные работы – 61 %, укладка бетона – 56 %, дробление камня – 99 %.

В довоенный период была создана эффективная система организации проектных работ, включающая:

- технологическое проектирование (Гипрочермет, Гипроцветмет, Гипрохим, Гипромаш и т. д.);
- строительное проектирование (Промстройпроект, Гипрогор, Химстройпроект, Вузстройпроект и т. д.);
- специализированные работы (Сантехпроект, Водоканалпроект, Гипротрансстрой, Коммунастрой и т. д.).

После окончания Великой Отечественной войны высокими темпами восстанавливались разрушенные города и промышленные предприятия. Переломным явился 1954 г. в связи с началом создания промышленности сборного железобетона и конвейера «ДСК – стройплощадка». Начался первый этап индустриального жилищного строительства (1954–1963 гг.), характеризующийся возведением полносборных зданий по типовым проектам: K-7-3-3, K-7-3-4, K-7-3-5, II-34, II-35 и др. Второй этап индустриализации жилищного строительства (1964–1970 гг.) включал возведение полносборных зданий второго поколения. Типовые проекты предусматривали две конструктивные схемы – панельные и каркасно-панельные. Продолжительность возведения таких зданий составляла около 1,5 месяца. Только в г. Москве за период 1956–1985 гг. было возведено 36 млн м² общей жилой площади (таблица 1), а в целом по Российской Федерации – 500 млн м².

Переход на массовое возведение пятиэтажных зданий явился важнейшим направлением решения жилищной проблемы в тяжелое для страны послевоенное время. Проектные и научно-исследовательские организации продолжали активно работать над совершенствованием объемно-конструктивных решений зданий и методов производства работ. В частности, учеными М. С. Будниковым, П. И. Недавим, В. И. Рыбальским окончательно были сформулированы основы поточной организации строительства зданий и сооружений, которые практически не изменились до настоящего времени. Научно-технический прогресс охватил не только все передель возведения зданий, но и выработал новые прогрессивные градостроительные решения – комплексное возведение микрорайонов, включая одновременное строительство жилых зданий и объектов социально-культурного назначения.

Весомый вклад в развитие строительного производства внесли ученые и инженеры ЦНИИОМТП (бывшего Гипрооргстроя). В частности, впервые были разработаны Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. Масштабное применение получила новая нормативно-методическая и техническая документация по инженерной подготовке территорий, реконструкции промышленных предприятий, строительству в условиях Севера, методы монтажа каркасных зданий из сборных железобетонных элементов серии ИИ-04, унифицированная разборно-переставная опалубка «Монолит-78», комплексная механизация работ и др. [8]. Особое внимание было уделено разработке эффективных мер по повышению мобильности строительных организаций и сокращению продолжительности и стоимости строительно-монтажных работ. Основу этих мер составила организация производства мобильных (инвентарных) зданий, сооружений и установок [9]. В кратчайшие сроки была создана новая подотрасль стройиндустрии по их изготовлению, и к 1985 г. общая площадь мобильных (инвентарных) зданий составила свыше 30 млн м² с годовым объемом производства 3 млн м² (таблица 2).

В постперестроечный период существенно возрос экономический потенциал страны. Была выполнена грандиозная программа капитального строительства, введены в эксплуатацию тысячи современных предприятий и сотни миллионов квадратных метров жилой площади. Важнейшим фактором развития строительного производства явилась дальнейшая его индустриализация с массовым внедрением прогрессивных методов и форм организации и производства работ. Широкое применение получили

долговременные отраслевые и территориальные потоки, узловой и комплектно-блочный методы возведения промышленных объектов, экспедиционно-вахтовые формы организации работ. В 1988 г. на основе проведения аттестации был разработан «Каталог прогрессивных технологических процессов основных видов строительно-монтажных работ», сыгравший значительную роль для повышения технического уровня производства работ. Важнейшей составляющей явилась комплексная механизация, при которой как основные, так и вспомогательные процессы выполнялись машинами, увязанными между собой по основным параметрам. С этой целью было разработано 122 технологических комплекта на перспективный период для выполнения земляных, бетонных, монтажных, кровельных и отделочных работ. Новой вехой явилась разработка типажа специализированных автотранспортных средств (САТС) и типажа контейнеров и средств пакетирования для доставки штучных и тарноштучных грузов [10].

Этот период отличается системным подходом в решении задач строительного производства, который был реализован через государственные и отраслевые Целевые комплексные научно-технические программы. В результате был выполнен целый ряд уникальных разработок. Впервые в мире были разработаны «Единые нормы продолжительности проектирования и строительства предприятий, зданий и сооружений, и освоения проектных мощностей» (таблица 3), нормативная база по определению продолжительности комплексной застройки микрорайонов, кварталов в городах и сельских населенных пунктах, расчетные показатели для определения продолжительности реконструкции и технического перевоору-

Наименование системы	Тип зданий и основной материал	Размеры в плане, мм	Расход материалов на 1 м ² общей площади		Трудоемкость изготовления, н.-ч/м ²	Разработчик конструкторской документации, завод-изготовитель
			Сталь, кг	Древесина, м ³		
Каркасно-панельная система УСРЗ	Сборно-разборное металлическое	12000 х 3000 18000 х 300	86,8 93,3	– –	9,1/0,15 11,3/0,6	ОПТП «Энерготехпром», Пестовский ОМЗОПТП «Энерготехпром» Минэнерго СССР
Каркасно-панельная система УИЗ	Сборно-разборное металлическое	12000 х 6000 18000 х 6000	62,6 52,7	0,15 0,11	3,1/1,1 2,6/0,5	СКБ ВНИИМСС, Георгиу-Дежский ЗМЗМ Минмонтажспецстроя СССР
Каркасно-панельная система «Ставрополец»	Контейнерное с несъемной ходовой частью металлическое	7000 х 2500	67,1	0,1	13,2/–	КБ Буденновского РМЗ, Буденновский РМЗ Госагропрома РСФСР
Каркасно-панельная система «Универсал»	Контейнерное металлическое	6000 х 3000	73	0,2	16,8/–	ПТО «Мосспецпромпроект», ЗНО им. А. Матросова Главмонтажспецстроя при Мосгорисполкоме
Каркасно-панельная система «Энергетик»	Контейнерное деревянное	6000 х 3000	14,4	0,83	12,8/–	Ленинградский филиал института «Оргэнергострой», Свирский ЭЛК Минэнерго СССР
Панельная система «Лесник»	Контейнерное деревянное	6000 х 3000	12,6	0,9	11,9/–	Институт «Гипролеспром», ВПДО «Вятские Поляны» Минлесбумпрома СССР
Панельная система «Комфорт»	Контейнерное металлическое	9000 х 3000	65	0,12	8,5/–	Институт «Гипрооргсельстрой», завод «Металлист» Госагропрома УССР

Табл. 2. Перечень конструктивных систем и технико-экономических показателей мобильных (инвентарных) зданий, рекомендуемых министерствами ведомствам СССР для применения (фрагмент)
Tab. 2. LIST of structural systems and technical and economic indicators of mobile (inventory) buildings recommended to ministries and departments of the USSR for use (fragment)

Наименование объекта	Характеристика, мощность	Единая норма продолжительности проектирования, строительства											
		Всего	В том числе норма продолжительности										
			Общая продолжительность	проектирования			Общая продолжительность	строительства					
				В том числе				В том числе					
				Разработка проекта (рабочего проекта)	Экспертиза и утверждение проекта	Разработка рабочей документации		Подготовительный период	Передача оборудования в монтаж	Монтаж оборудования	Подготовка к освоению проектной мощности	Освоение проектной мощности	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Нефтехимическая промышленность													
21. Комплекс производства масляных альдегидов, бутиловых спиртов и 2-этиленгликоля	60	76	21	$\frac{8,5}{1-9}$	$\frac{3}{10-12}$	$\frac{9,5}{13-22}$	$\frac{33}{29-61}$	$\frac{5}{29-33}$	39 – 54	$\frac{17}{40-56}$	$\frac{14}{48-61}$	$\frac{15}{62-76}$	
22. Комплекс производства ацетальдегида прямым окислением этилена	90	65	16	$\frac{4}{1-4}$	$\frac{3}{5-7}$	$\frac{8,5}{8-16}$	$\frac{28}{23-50}$	$\frac{4}{23-26}$	29 – 41	$\frac{19}{30-48}$	$\frac{10}{41-50}$	$\frac{18}{51-65}$	
	180	80	18	$\frac{6}{1-6}$	$\frac{3}{7-9}$	$\frac{9}{10-18}$	$\frac{39}{25-63}$	$\frac{6}{25-30}$	33 – 56	$\frac{28}{34-61}$	$\frac{12}{52-63}$	$\frac{18}{63-80}$	
23. Комплекс производства этиленбензола	160	68	30	$\frac{6,5}{1-7}$	$\frac{3}{8-10}$	$\frac{20}{11-30}$	$\frac{23}{37-59}$	$\frac{3}{37-39}$	42 – 51	$\frac{15}{43-57}$	$\frac{8}{52-59}$	$\frac{9}{60-68}$	
24. Комплекс производства стирола	120	69	32	$\frac{6,5}{1-7}$	$\frac{3}{8-10}$	$\frac{22}{11-32}$	$\frac{22}{39-60}$	$\frac{3}{39-41}$	44 – 53	$\frac{15}{45-59}$	$\frac{9}{52-60}$	$\frac{9}{61-69}$	
25. Производство бутадиена одностадийным дегидрированием нормального бутана под вакуумом	90	74	20	$\frac{5,5}{1-6}$	$\frac{3}{7-9}$	$\frac{11}{10-20}$	$\frac{39}{27-65}$	$\frac{6}{27-32}$	35 – 55	$\frac{28}{36-63}$	$\frac{15}{51-65}$	$\frac{9}{66-74}$	
	180	81	22	$\frac{7}{1-7}$	$\frac{3}{8-10}$	$\frac{12}{11-22}$	$\frac{44}{29-72}$	$\frac{6}{29-34}$	37 – 64	$\frac{33}{38-70}$	$\frac{15}{58-72}$	$\frac{9}{73-81}$	

Табл. 3. Единая норма общей продолжительности создания производственных мощностей (фрагмент)
Tab. 3. Uniform norm of the total duration of production capacity creation (fragment)

жения действующих предприятий [11].

Но вместе с тем темпы роста ряда основных показателей строительства замедлились. Практически не изменилась производительность труда, ухудшилось качество строительно-монтажных работ, не всегда эффективно использовалась активная часть основных фондов [12]. Основными причинами явились распыление всех видов ресурсов по многочисленным объектам и слабая интенсификация строительного производства. Так, например, на каждом из одновременно возводимых 800 тыс. объектов в среднем приходилось 7,5–8 рабочих, включая машинистов и шоферов.

Результаты и обсуждение

До 1990 г. вся система управления в строительстве представляла иерархическую организационную структуру с централизованным принятием решений и жесткой иерархией власти. Вершину этой структуры занимал Госстрой СССР, проводивший единую техническую политику в строительной отрасли, и его полномочия полностью распространялись на входившие в систему министерства и ведомства – Минтяжстрой СССР, Минпромстрой СССР, Минстрой СССР и др. Кроме того, вся система финансирования и материально-технического обеспечения функционировала четко по правилам плановой экономики. В результате такая система управления не могла своевременно и адекватно реагировать на постоянно изменяющиеся условия строительства из-за ведомственной разобщенности, постоянного вмешательства местных партийных

и административных органов, отсутствия личной заинтересованности участников строительства. Для устранения возникающих сбоев создавались всевозможные штабы по управлению строительством объектов, но их решения носили, как правило, наказательный характер, и в итоге возникали «штурмовщина» и «очковтирательство».

Начиная с 1991 г., с момента либерализации политики государства в экономике, наступил период распада сложившейся системы управления. Были ликвидированы практически все органы централизованного управления – как на федеральном, так и региональном уровнях. В первую очередь, под сокращение попали все строительные министерства и их главки. На федеральном уровне был оставлен только Госстрой РФ, который практически не был наделен административными функциями, и поэтому его роль свелась в основном к разработке и утверждению нормативно-технических документов. Аналогичные структуры были также созданы во многих субъектах Российской Федерации.

Проведенные экономические реформы государственного механизма вынудили строительные организации активно и, главное, самостоятельно решать весь комплекс стратегических и текущих задач – формировать производственный план подрядных работ, изыскивать финансовые ресурсы, приобретать средства производства. В результате производственные отношения стали строиться на экономической основе, независимо от влияния каких-либо инстанций. В трудный период становления

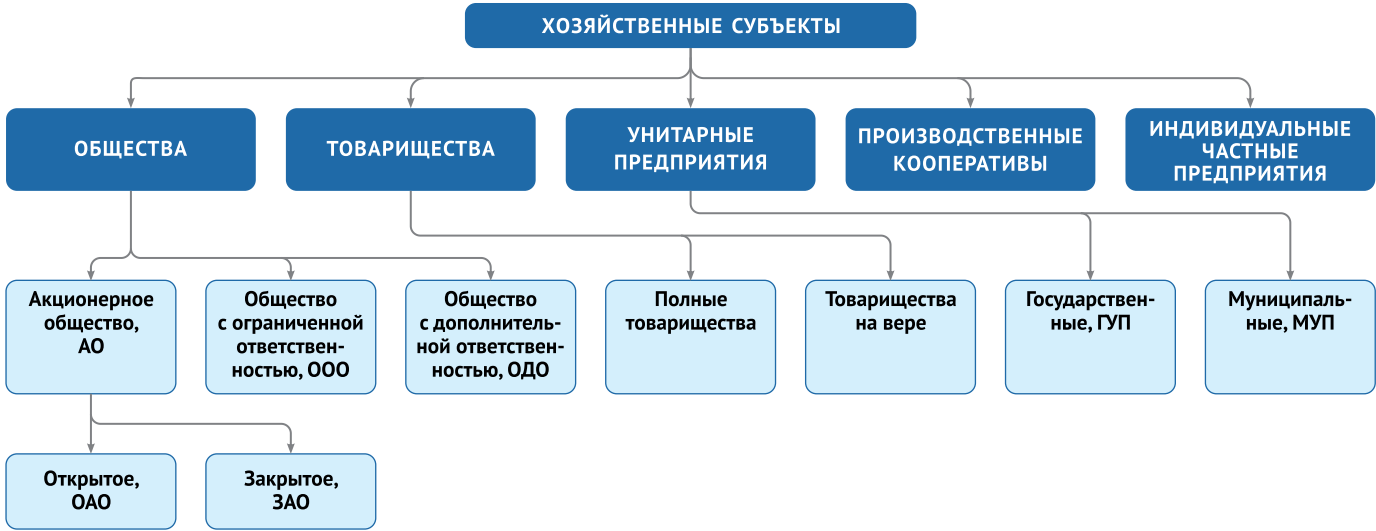


Рис. 1. Организационно-правовые формы хозяйственных субъектов
Fig. 1. Organizational and legal forms of economic entities

рыночных отношений одни строительные организации выжили и закрепились на строительном рынке, другие разорились, а третьи распались на более мелкие фирмы.

В этих условиях неоднократно изменялась законодательная база, которая, в конечном счете, закрепила следующие виды собственности: государственная, муниципальная, частная, общественная, арендная, смешанная. Независимо от форм собственности, возникло пять видов хозяйственных субъектов: хозяйственные общества, хозяйственные товарищества, производственные кооперативы, унитарные предприятия и индивидуальные частные предприятия (рисунок 1). Первые четыре вида хозяйственных субъектов являются юридическими лицами. К юридическим лицам относятся организации, которые прошли регистрацию в государственных органах, имеют расчетный счет в банке, ведут самостоятельный финансовый баланс, владеют собственным имуществом и этим имуществом отвечают за свои обязательства, а также являются субъектом гражданского права. В то же время физическое лицо представляет гражданин, вступивший в имущественные или финансово-экономические отношения с юридическими и физическими лицами.

Для строительных и проектных организаций наиболее характерными формами хозяйствования являются общества – акционерные, с ограниченной ответственностью, с дополнительной ответственностью. Хозяйственные субъекты в виде общества представляют собой объединение не лиц, а капиталов, а значит, члены общества являются вкладчиками и имеют свою долю прибыли.

Переход строительного комплекса страны на рыночные методы управления оказался крайне тяжелым. В то же время благодаря радикальным экономическим реформам строительный комплекс к 2000 г. практически в целом перестроился, а к 2010 г. – стабилизировался. В результате принципиально изменилась вся система финансирования и инвестиционной деятельности, освоен выпуск широкой гаммы новых видов продукции и услуг, широко используется система управления процессом реализации проекта от маркетинга до сдачи (продажи) объекта «под ключ» с гарантийным обслуживанием, внедряют-

ся современные технологии строительного производства с учетом требований рынка и повышения конкурентоспособности. Большую роль в становлении строительного комплекса в новом качестве сыграли такие законы как:

- Закон Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»;
- Закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
- Закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;
- Закон Российской Федерации от 22 июня 2008 г. № 148-ФЗ «О саморегулируемых организациях».

Доля негосударственного сектора в общем объеме подрядных работ превысила 89 %. Строительный комплекс сегодня объединяет около 150 тыс. подрядных организаций, предприятий промышленности, стройматериалов и стройиндустрии, проектных, научно-исследовательских институтов и других фирм, в том числе свыше 110 тыс. предприятий малого бизнеса. В отрасли активно формируются финансово-промышленные группы, лизинговые компании, инжиниринговые фирмы.

Значительно укрепилась законодательная и правовая база. За последние годы разработано и принято более 200 законодательных и нормативных актов, связанных с инвестиционной деятельностью. Осуществлен переход на современную нормативно-техническую основу.

Основным приоритетом в строительном комплексе стало развитие жилищного строительства, а в общем объеме введенного жилья доля индивидуального жилищного строительства составила в среднем по стране 43,3 %, а в ряде регионов достигла 70 %.

Заключение

Проведенные в стране реформы качественно изменили деятельность строительного комплекса и, в первую очередь, формы собственности и методы производственных отношений хозяйственных субъектов.

К настоящему времени строительный рынок насыщен широким ассортиментом конструкций, изделий и мате-

риалов, постоянно совершенствуются объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений, на стройках используются современные методы организации строительства и прогрессивные технологические

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология возведения полносборных зданий : учебник / А. А. Афанасьев, С. Г. Арутюнов, И. А. Афонин, Ю. А. Вильман, Е. А. Король, Г. К. Соколов, А. М. Тауенис ; под общ. ред. А. А. Афанасьева. – Москва : Издательство АСВ, 2000. – 364 с.

2. Справочник строителя. Строительное производство. Том 2. Организация и технология работ. – Москва : Стройиздат, 1989. – 527 с.

3. Олейник, П. П. Научно-технический прогресс в строительном производстве : монография / П. П. Олейник. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – 442 с.

4. Аннотированный указатель научно-исследовательских работ Гипрооргстроя, СтройЦНИЛ и ЛИМС за 1938–1939 гг. / Всесоюзный научно-исследовательский институт по проектированию организации строительных работ ; Нар. ком по строительству СССР, Тех. упр. – Москва ; Ленинград : Гостройиздат, 1941. – 32 с.

5. Временные технические условия на проектирование организации и производства строительных работ. Вып. 1-2. – Москва : Гипрооргстрой, 1933.

6. Вутке, О. А. Функционально-поточный метод в стандартном строительстве : Общая методология организации потока / О. А. Вутке. – Москва–Ленинград : Госстройиздат, 1932.

7. Российская архитектурно-строительная энциклопедия: в

REFERENCES

1. Tekhnologiya vozvedeniya polnosbornykh zdaniy : uchebnik [Technology of construction of fully assembled buildings: textbook] / A. A. Afanasyev, S. G. Arutyunov, I. A. Afonin, Yu. A. Vilman, E. A. Korol, G. K. Sokolov, A. M. Tauenis ; under the general editorship of A. A. Afanasyev. – Moscow : Publishing House DIA, 2000. – 364 p.

2. Spravochnik stroitel'ya. Stroitel'noe proizvodstvo. Tom 2. Organizatsiya i tekhnologiya rabot [The builder's Handbook. Construction production. Volume 2. Organization and technology of work]. – Moscow : Stroyizdat, 1989. – 527 p.

3. Oleinik, P. P. Nauchno-tekhnicheskij progress v stroitel'nom proizvodstve : monografiya [Scientific and technical progress in construction production : monograph] / P. P. Oleinik. – Moscow : DIA Publishing House, 2019. – 442 p.

4. Annotirovannyj ukazatel' nauchno-issledovatel'skikh rabot Giproorgstroya, StrojTSNIL i LIMS za 1938–1939 gg. [Annotated index of research works of Giproorgstroy, Stroitnil and LIMS for 1938–1939] / Vsesoyuznyj nauchno-issledovatel'skij institut po proektirovaniyu organizatsii stroitel'nykh rabot ; Nar. kom po stroitel'stvu SSSR, Tekh. upr. [All-Union Research Institute for the Design of the Organization of construction works; Nar. com for the construction of the USSR, Tech. upr.]. – Moscow ; Leningrad : Gostroyizdat, 1941. – 32 p.

5. Vremennye tekhnicheskie usloviya na proektirovanie organizatsii i proizvodstva stroitel'nykh rabot. Vyp. 1-2 [Temporary technical conditions for the design of the organization and production of construction works. Issue 1-2]. – Moscow : Giproorgstroy, 1933.

6. Vutke, O. A. Funktsional'no-potochnyj metod v standartnom stroitel'stve : Obshhaya metodologiya organizatsii potoka [Functional flow method in standard construction: General methodology of flow organization] / O. A. Vutke. – Moscow–Leningrad : Gosstroyizdat, 1932.

7. Rossijskaya arkhitekturno-stroitel'naya ehntsiklopediya: v 4 tomakh. Tom 1. Strojindustriya, stroitel'nye materialy, tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva rabot. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Russian Architectural and Construction Encyclopedy: in 4 volumes. Volume 1. Construction industry, construction materials, technology and organization of work. Construction machines and equipment] / V. A. Alekseev, N. I. Alyoshin, S. A. Ambartsumyan. – Moscow : Publishing house «Triada», 1995. – 495 p.

8. Katalog nauchno-issledovatel'skikh i proektno-konstruktor'skikh rabot TSNIOMTP, rekomenduemykh dlya vnedreniya v stroitel'stve [Catalog of research and design works of TSNIOMTP recommended for implementation in construction] / Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij i proektno-eksperimental'nyj institut organizatsii, mekhanizatsii i tekhnicheskoy pomoshhi stroitel'stvu (Moskva) [Central Research and Design Experimental Institute of Organization, Mechanization and Technical Assistance to Construction (Moscow)]. – Moscow : Stroyizdat, 1974. – 49 p.

9. Luchshie obratzys mobil'nykh zdaniy i sooruzhenij dlya stroitel'nykh i montazhnykh organizatsij. Al'bom-katalog [The best examples of mobile buildings and structures for construction and installation organizations. Album catalog] / Under the general editorship of D. A. Pankovsky. – Moscow : TSNIOMTP, 1987. – 168 p.

10. Basin, E. V. Gradostroitel'naya politika v rynochnykh usloviyakh [Town-planning policy in market conditions] / E. V. Basin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 1994. – № 9.

11. Oleynik, P. P. Kontseptsiya razvitiya TSNIOMTP [The concept of development of TSNIOMTP] / P. P. Oleynik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2000. – № 4.

12. Zarenkov, V. A. Problemy razvitiya stroitel'nykh kompanij v usloviyakh Rossijskoj ehkonomiki [Problems of development of construction companies in the conditions of the Russian economy] / V. A. Zarenkov. – St. Petersburg : Stroyizdat, 1999. – 285 p.

процессы, внедряется эффективная строительная техника и монтажная оснастка. Все это создает надежную основу качественного повышения организационно-технологического уровня строительного производства.

4 томah. Том 1. Стройиндустрия, строительные материалы, технология и организация производства работ. Строительные машины и оборудование / В. А. Алексеев, Н. И. Алешин, С. А. Амбарцумян. – Москва : Издательство «Триада», 1995. – 495 с.

8. Каталог научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ ЦНИИОМТП, рекомендуемых для внедрения в строительстве / Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству (Москва). – Москва : Стройиздат, 1974. – 49 с.

9. Лучшие образцы мобильных зданий и сооружений для строительных и монтажных организаций. Альбом-каталог / Под общ. ред. Д. А. Паньковского. – Москва : ЦНИИОМТП, 1987. – 168 с.

10. Басин, Е. В. Градостроительная политика в рыночных условиях / Е. В. Басин // Промышленное и гражданское строительство. – 1994. – № 9.

11. Олейник, П. П. Концепция развития ЦНИИОМТП / П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2000. – № 4.

12. Заренков, В. А. Проблемы развития строительных компаний в условиях Российской экономики / В. А. Заренков. – Санкт-Петербург : Стройиздат, 1999. – 285 с.

nologiya i organizatsiya proizvodstva rabot. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Russian Architectural and Construction Encyclopedy: in 4 volumes. Volume 1. Construction industry, construction materials, technology and organization of work. Construction machines and equipment] / V. A. Alekseev, N. I. Alyoshin, S. A. Ambartsumyan. – Moscow : Publishing house «Triada», 1995. – 495 p.

8. Katalog nauchno-issledovatel'skikh i proektno-konstruktor'skikh rabot TSNIOMTP, rekomenduemykh dlya vnedreniya v stroitel'stve [Catalog of research and design works of TSNIOMTP recommended for implementation in construction] / Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij i proektno-eksperimental'nyj institut organizatsii, mekhanizatsii i tekhnicheskoy pomoshhi stroitel'stvu (Moskva) [Central Research and Design Experimental Institute of Organization, Mechanization and Technical Assistance to Construction (Moscow)]. – Moscow : Stroyizdat, 1974. – 49 p.

9. Luchshie obratzys mobil'nykh zdaniy i sooruzhenij dlya stroitel'nykh i montazhnykh organizatsij. Al'bom-katalog [The best examples of mobile buildings and structures for construction and installation organizations. Album catalog] / Under the general editorship of D. A. Pankovsky. – Moscow : TSNIOMTP, 1987. – 168 p.

10. Basin, E. V. Gradostroitel'naya politika v rynochnykh usloviyakh [Town-planning policy in market conditions] / E. V. Basin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 1994. – № 9.

11. Oleynik, P. P. Kontseptsiya razvitiya TSNIOMTP [The concept of development of TSNIOMTP] / P. P. Oleynik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2000. – № 4.

12. Zarenkov, V. A. Problemy razvitiya stroitel'nykh kompanij v usloviyakh Rossijskoj ehkonomiki [Problems of development of construction companies in the conditions of the Russian economy] / V. A. Zarenkov. – St. Petersburg : Stroyizdat, 1999. – 285 p.

Перспективы применения в строительстве аддитивных технологий

Prospects for the Development of Additive Technologies 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 Science, Associate Professor of the Department «Technologies and Organization Construction Production», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, bolotova63@mail.ru

Бреева Мария Денисовна

Студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, breevam1@gmail.com

Breeva Maria Denisovna

Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, breevam1@gmail.com

Полякова Полина Геннадиевна

Студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, polina_polyakova_2017@inbox.ru

Polyakova Polina Gennadijevna

Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, polina_polyakova_2017@inbox.ru

Аннотация. Авторы рассматривают аддитивные технологии (АТ) в строительстве как наиболее перспективные технологии 21 века. **Цель исследования** – определить, имеет ли перспективы применение аддитивных технологий в строительной сфере в России. В данной статье описываются история и современные тенденции развития аддитивных технологий в современном мире. Рассмотрен процесс создания 3D-модели здания и сооружения для строительства с применением аддитивных технологий. В качестве **методов исследования** в работе применяются общенаучные логические подходы для выявления хронологического порядка, дедуктивного анализа материала и общего исследования актуальности применения аддитивных технологий. Кроме того, проанализированы объекты, построенные при помощи 3D-печати, и их процесс производства,

Abstract. The authors consider additive technologies (AT) in construction as the most promising technologies of the 21st century. **The purpose of the study** is to determine whether the application of additive technologies in the construction sector in Russia has prospects. This article describes the history and current trends in the development of additive technologies in the modern world. The process of creating a 3D model of a building and structure for construction using additive technologies is considered. **As research methods**, general scientific logical approaches are used in the work to identify the chronological order, deductive analysis of the material and general research on the relevance of the use of additive technologies. In addition, objects constructed using 3D printing and their production process are analyzed, complex

Введение

Говоря о перспективных технологиях 21 века, можно заметить, что все они направлены на упрощение деятельности людей, снижение человеческого фактора, тем самым делая жизнь людей лучше и безопаснее. В строительной сфере одним из методов, способных модернизировать и упростить привычную нам работу, является применение аддитивных технологий (АТ), или иначе говоря,

сложные процессы систематизированы и схематично представлены с использованием блок-схем. **В результате** проделанной работы определены факторы, влияющие на развитие АТ в строительстве, такие как необходимость обеспечения нормативно-правовой базы и обучение квалифицированных кадров, кроме того, недостатками являются высокая стоимость оборудования и нехватка необходимых строительных материалов для 3D-печати. **Выводы:** исследования и разработки АТ ведутся крупными мировыми институтами и большими корпорациями, в этой области существует большой потенциал, в том числе и для Российской Федерации.

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

processes are systematized and schematically presented using flowcharts. **As a result** of the work done, factors affecting the development of AT in construction have been identified, such as the need to ensure a regulatory framework and training of qualified personnel, in addition, the disadvantage is the high cost of equipment and the lack of necessary building materials for 3D printing. **Conclusions:** AP research and development is conducted by major global institutions and large corporations, there is great potential in this area, including for the Russian Federation.

Keywords: construction, digitalization, Additive Manufacturing, 3D printing, building information modeling, 3D technologies, 3D model.

3D-печати. Такая технология предполагает изготовление объекта по данным цифровой модели методом добавления материала. Технологии 3D-печати открывают новые возможности для конструкций, изготавливаемых из материалов на основе цемента, древесного клея, переработанных отходов, в том числе и строительных. Уникальность этой технологии состоит в том, что возможно существенно уменьшить издержки при производстве. Также одним

из основных преимуществ считается вероятность облегчения возведения сложных архитектурных решений, что позволяет дизайнерам и архитекторам не ставить определенных рамок при проектировании.

Аддитивные технологии начали применять в 80-х годах 20-го века, но не во всех отраслях промышленности. Рассмотрим историю развития аддитивных технологий в строительстве. В последнее десятилетие вызван большой интерес к идее быстро, эффективно и экономично «печатать» сооружения. Первопроходцами считают китайскую компанию WinSun. Очевидно, что в Китае спрос на жилую площадь особенно актуален, компании сегодня наиболее заинтересованы в создании таких машин, которые в кратчайшие сроки, с минимальными отходами, денежными ресурсами и человеческим фактором способны воссоздать любые планировочные решения архитекторов. Успехи компании действительно вносят большой вклад в историю развития АТ. Именно они в 2014 году первые предложили прототипы 10 домов, возведенных с помощью 3D-принтера. Сроки на строительство этих сооружений сократились на 50 %, экономия на трудозатратах 50–70 % и, с учетом снижения расходов на строительство, стоимость каждого дома составила 150 000 руб. Но на этом компания WinSun не остановилась, в 2016 году в ОАЭ был построен офис площадью 250 кв. м, однако технология 3D-печати использовалась для создания отдельных компонентов [1].

Стоит также отметить компанию Totalkustom (США), основателем которой является Андрей Руденко. Благо-

даря многочисленному опыту традиционного строительства он первый разработал мобильный 3D-принтер для бетона, а также метод строительства, снижающий потребность в ручном человеческом труде. В России наиболее известной прогрессивной компанией в сфере АТ в строительстве можно отметить Aris Cor. Особенность технологии заключается в применении безрамного устройства, представляющего собой моноопорную конструкцию с печатающей головкой. Граница возведения сооружения ограничивается 12,8 м в горизонтальной плоскости и 3,3 м – в вертикальной. В феврале 2017 года компания ArisCor представила дом площадью 38 кв. м, преимущество проекта которого является полноценная печать конструкций на строительной площадке. На этом открытия АТ в России не заканчиваются, в том же году компания «СпецАвия» напечатала первый жилой дом в Европе и СНГ (г. Ярославль).

Согласно проведенному анализу статей и учебной литературы, составлена диаграмма, отражающая важные вклады в развитие аддитивных технологий в хронологическом порядке. На рисунке 1 приведена история развития АТ в строительстве [2; 3]. Из приведенной диаграммы следует, что на развитие АТ в сфере строительства обращают внимание во всех точках земного шара. Аддитивные технологии в строительстве уже имеют практически десятилетнюю историю. Возможно, прогресс не такой большой, но, по данным отчета ResearchAndMarket, мировой рынок строительной 3D-печати в 2022 году оценивается в 354,3 млн долларов США, и, по прогнозам, достигнет

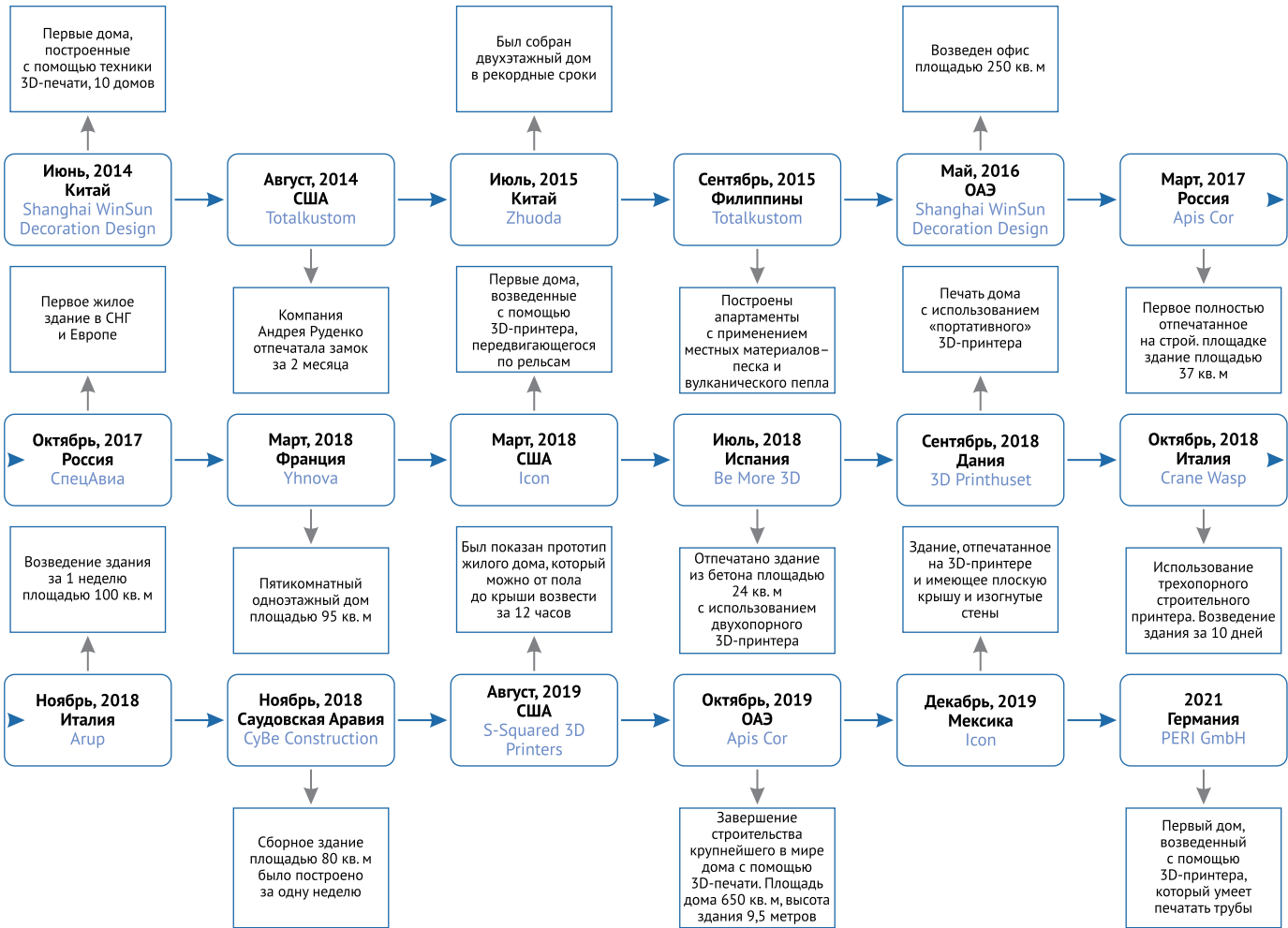


Рис. 1. История развития аддитивных технологий в строительстве
Fig. 1. History of additive technologies in construction

11068,1 млн долларов США к 2027 году, увеличившись на 99,04 % [4].

Материалы и методы

Рассмотрим подробнее процесс создания 3D-модели здания и сооружения для строительства и печати с применением аддитивных технологий. Для начала необходимо сказать, что аддитивное производство, как и традиционный метод строительства, не исключает этап проектирования. Разница лишь в том, что создание проектируемого объекта с использованием аддитивных технологий не мыслимо без 3D-моделирования.

Автоматизация процесса проектирования и строительства напрямую связана с внедрением цифровых технологий, которые подразумевают создание информационной модели здания, содержащей численное описание и организованную информацию о целом объекте, технологии печати и технических характеристиках 3D-принтера. Выбор технологий строительного производства влияет на набор и значения характеристик объекта строительства и отражается в параметрах его информационной модели. Готовое изделие, напечатанное на 3D-принтере, должно соответствовать требованиям, изложенным в проектной документации.

Мы проанализировали процесс печати 3D-модели в строительстве от разработки технического задания (ТЗ) на проектирование до применения напечатанного объекта, основные процессы систематизированы и приведены в виде блок-схемы на рисунке 2. Во-первых, ТЗ на проектирование 3D-модели должно содержать информацию о количестве конструкций и материально-технических ресурсах, необходимых для печати. Соответственно, первым делом нужно ответить на вопрос: что печатаем на 3D-принтере? Затем – где печатаем? В качестве мест производства можно выбрать завод или строительную площадку. Решаем, какую технологию возведения объекта строительства будем использовать. Исходя из этих шагов определяем параметры элементов информационной модели для 3D-печати.

Далее выбираем 3D-принтер по его техническим характеристикам, после чего можно, наконец, приступить к разработке 3D-модели будущего здания. Но и здесь у нас несколько вариантов: создание 3D-модели объекта можно выполнять с применением технологий 3D-сканирования (оцифровать существующее здание) или используя объемное моделирование (например, 3D-программы Autodesk AutoCAD, Revit и др. для нового объекта) [5].

После создания 3D-модели ее необходимо конвертировать в файлы 3D-формата (.STL, .DXF и др.) с помощью программ 3D-моделирования. 3D-печать возможна только для цельных (замкнутых) 3D-объектов, которые формируют основу для расчета слоев в целях последующего процесса нарезки 3D-модели объекта. Некоторые программы, например, Fusion 360, позволяют сразу конвертировать разработанную для 3D-печати модель в формат .STL и получить тем самым готовый файл для печати. Помимо файлов формата .STL существует также G-code файл. Разберемся, зачем нам файл G-кода. Данный формат составляется слайсером, специальной программой для получения кода управления 3D-принтером. Другими словами, G-code файл содержит в себе траекторию движения печатающей головки на каждом слое с описанием объекта, а чтобы преобразовать STL-файл в G-code, необ-

ходим слайсер [6].

Перед началом изготовления объекта производится настройка 3D-принтера. Настраиваемые параметры могут отличаться друг от друга в зависимости от выбранного типа 3D-принтера. Создание объектов 3D-принтером осуществляется автоматически после отправки файлов формата .STL, .DXF и др. или готового G-code в 3D-принтер путем выполнения процесса послойного построения объекта согласно 3D-модели. После того, как модель была успешно напечатана и завершился процесс застывания, она подвергается тщательному осмотру. Мы постарались описать общий алгоритм создания какой-либо конструкции с помощью аддитивных технологий, на практике к каждому объекту создается свой план, включающий все особенности и сложности воссоздания проекта [7].

Результаты

Итак, анализируя процесс создания объекта при помощи аддитивных технологий, можно сделать вывод, что разработка 3D-моделей и использование 3D-принтеров упрощает, автоматизирует и совершенствует этапы возведения зданий и сооружений по сравнению с традиционными методами строительства. В зависимости от выбранной строительной технологии, здания и сооружения могут быть как сборными, состоящими из отдельных модульных систем, из которых объект «собирается» и монтируется непосредственно на строительной площадке, так и монолитными. При помощи 3D-принтера объект можно целиком напечатать на строительной площадке, поэтому при АТ рационально возведение монолитных конструкций. При использовании информационных технологий 3D-моделирования и печати возможно внесение оперативных изменений в проект еще на стадии производства, вследствие чего достигается высокая точность изготовления конструкции. Таким образом, данные технологии дают возможность быстро конструировать и возводить объекты с высокой трудоемкостью в условиях обычного традиционного производства, что и является одним из главных преимуществ передовых технологий 3D-печати, способствующих разработке и оптимизации форм управления строительным производством.

На данном этапе строительство при помощи АТ только набирает обороты, несмотря на то что первые дома по этой технологии начали возводить еще 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 АТ, 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.

Обсуждение

В России наблюдается небольшой рост в использовании данных технологий, а соответственно, и скромное

число специалистов в этой области, возможно, как раз из-за того, что государство не так ярко заинтересовано в данном методе возведения зданий и сооружений. Однако люди, работающие в этой отрасли, не лишены оптимизма. Основатель компании по производству строительных 3D-принтеров Arkon Борис Козлов считает, что «технология должна созреть, дорасти от гипотезы до пилотного внедрения и, наконец, до начала коммерциализации и масштабирования (то, что происходит сейчас). Немаловажную роль играет и вопрос нормирования и сертификации». По его словам, указанный временной период является естественным циклом становления технологии, которую, вероятно, ждет экспоненциальный рост в ближайшее десятилетие.

Довольно положительно высказываются и архитекторы, например, Екатерина Рейзбих, член Союза архитекто-

ров России: «Самым веселым будет печатать квадратные дома на склоне скалы. Понимаете, о чем я? Технологии трехмерной печати открывают возможности быть более гибкими, гуманными к окружению, создавать неповторимые индивидуальные решения. Но, все по порядку, думаю, мы к этому еще придем» [8-10]. Да, аддитивные технологии открывают новые возможности для творчества, помогают взглянуть на строительство совершенно под другим углом, и, возможно, совсем скоро мы увидим уникальные постройки, которые сегодня нам и не снились. Можно сказать, мы в самом начале пути развития новой технологии в масштабном строительстве.

Заключение

Рассмотренные вопросы применения в строительстве аддитивных технологий видятся нам перспективным направлением. Аддитивные технологии в промышленности

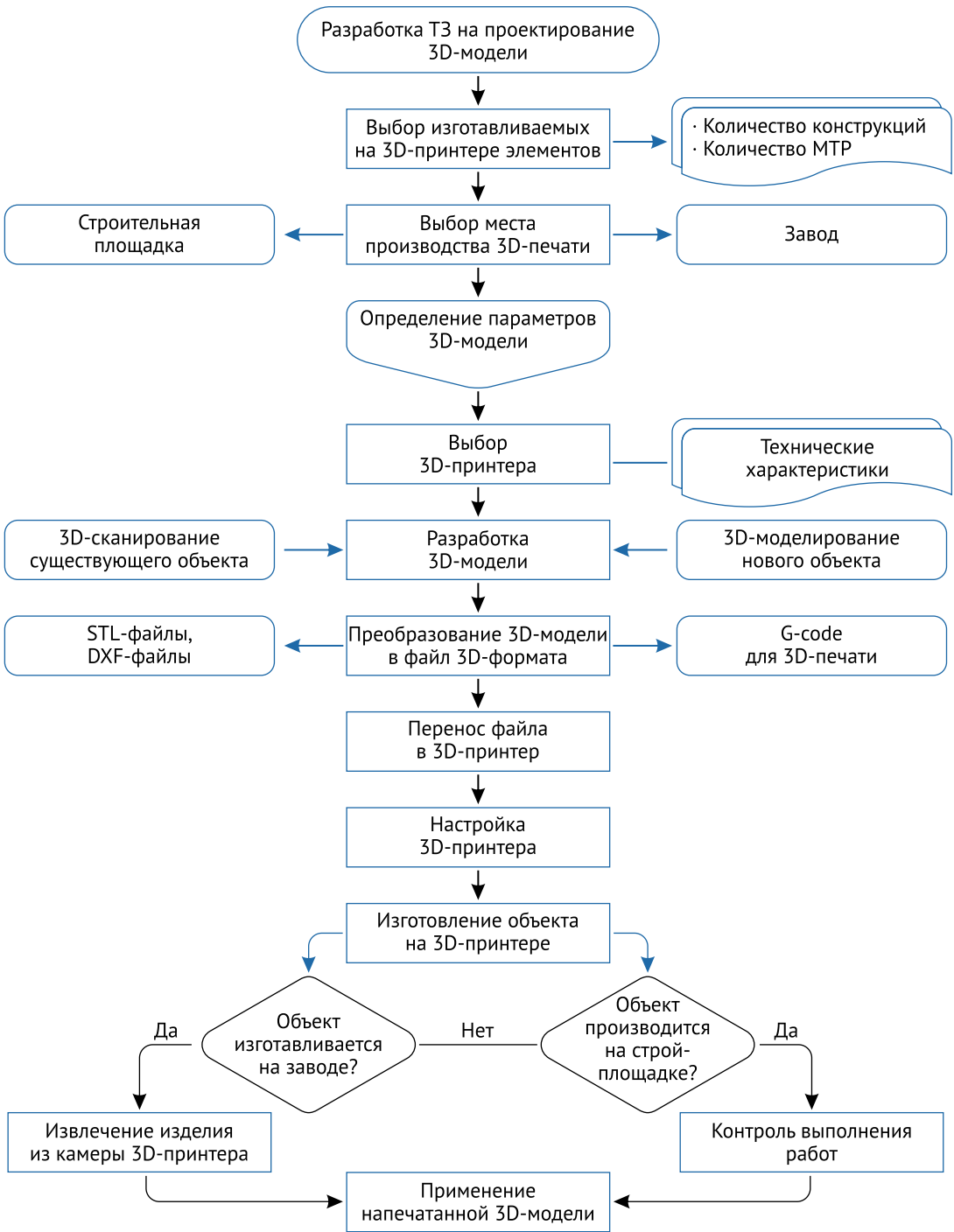


Рис. 2. Процесс разработки и печати 3D-модели в строительстве
Fig. 2. The process of developing and printing a 3D model in construction

сейчас очень популярны. Но строительство довольно консервативная отрасль и отстает в применении 3D-печати от других производств. Процесс проектирования и возведения зданий и сооружений сам по себе сложный, поэтому внедрение в него новых технологий занимает еще больше времени. Многие университеты, и тем более крупные компании, ведут свои разработки в области 3D-печати, так как АТ могут совершенно изменить рынок недвижимости и смежных отраслей. Учитывая, что исследования и разработки АТ ведутся крупными мировыми институтами и большими корпорациями, в этой области существует большой потенциал.

Подведем итог: на сегодняшний день, чтобы условно подсчитать затраты на возведение объекта при помощи АТ, использовались укрупненные показатели. Доказано,

что сроки строительства сокращаются примерно на 55 %. Однако технология возведения оказалась дороже на 7 %, чем традиционное строительство из газосиликатных блоков или кирпича. Да, с первого взгляда, это не большой прорыв, но предполагается, что в будущем эти показатели изменятся, если данная идея попадет в массовое производство, а для начала – это достаточно неплохие цифры. Переход от традиционного производства к возведению зданий с помощью 3D-технологий и BIM-моделирования – неизбежный процесс, так как за счет автоматизации процесса проектирования и строительства повышается производительность, скорость возведения зданий, что приводит к сокращению трудозатрат, сроков сдачи объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D-печать в строительстве / Н. И. Ватин, Л. И. Чумадова, И. С. Гончаров, В. В. Зыкова, А. Н. Карпеня, А. А. Ким, Е. А. Финашенков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 1 (52). – С. 27–46.

2. 10 зданий, напечатанных на 3D-принтере // 3Dpulse.ru : [сайт]. – URL: <https://www.3dpulse.ru/news/stroitelstvo/10-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere/>.

3. Неустроев, Д. В. Аддитивные технологии и их применение в промышленном и транспортном строительстве / Д. В. Неустроев, И. Г. Овчинников // Вестник Евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 2.

4. Корнвейц, А. Строительная 3D-печать в ожидании прорыва / А. Корнвейц // Хабр : [электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/673542/>.

5. Шеянова, О. В. Проектирование и моделирование 3D-объектов в строительстве / О. В. Шеянова, А. Е. Майорова, Н. Я. Кузин // Качество в производственных и социально-экономических системах. – Курск : Университетская книга, 2018. – С. 179–183.

6. Коротеев, Д. Д. Применение аддитивных технологий произ-

водства в строительстве на примере разработки 3D-модели с последующей печатью / Д. Д. Коротеев, А. И. Коренева // Системные технологии. – 2021. – № 2 (39). – С. 21–30.

7. Анализ технологий 3D-печати стен малоэтажных зданий и их классификация / П. В. Монастырев, В. А. Езерский, И. А. Иванов, А. Д. Бальтозар // Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути их решения : Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Курск, 22 мая 2019 года. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 70–80.

8. Тихоненко, Е. С. Технологии 3D-печати: преимущества и недостатки / Е. С. Тихоненко, А. А. Елистратова, И. С. Коршакевич // Секция «Информационно-экономические системы». – 2015. – С. 557–559. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-3d-pechat-i-preimushchestva-i-nedostatki/viewer>.

9. Ган, Е. Аддитивное строительство – это классная штука! : Интервью с Екатериной Рейзбих / Е. Ган // Цифровая трансформация Санкт-Петербурга : [электронный ресурс]. – URL: <https://dt.petersburg.ru/аддитивное-строительство-это-классн/>.

REFERENCES

1. 3D-pechat' v stroitel'stve [3D printing in construction] / N. I. Vatin, L. I. Chumadova, I. S. Goncharov, V. V. Zyкова, A. N. Karpenya, A. A. Kim, E. A. Finashenkov // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2017. – № 1 (52). – P. 27–46.

2. 10 zdaniy, naпечатannykh na 3D-printere [10 buildings printed on a 3D printer] // 3Dpulse.ru : [website]. – URL: <https://www.3dpulse.ru/news/stroitelstvo/10-zdaniy-napechatannyh-na-3d-printere/>.

3. Neustroev, D. V. Additivnye tekhnologii i ikh primeneniye v promyshlennom i transportnom stroitel'stve [Additive technologies and their application in industrial and transport construction] / D. V. Neustroev, I. G. Ovchinnikov // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2021. – Vol. 13, № 2.

4. Kornweitz, A. Stroitel'naya 3D-pechat' v ozhidanii proryva [Construction 3D printing in anticipation of a breakthrough] / A. Kornweitz // KHabr [Habr] : [electronic resource]. – URL: <https://habr.com/ru/post/673542>.

5. Sheyanova, O. V. Proektirovanie i modelirovanie 3D-ob'ektov v stroitel'stve [Design and modeling of 3D objects in construction] / O. V. Sheyanova, A. E. Mayorova, N. Ya. Kuzin // Kachestvo v proizvodstvennykh i sotsial'no-ehkonomicheskikh sistemakh [Quality in production and socio-economic systems]. – Kursk : Universitetskaya kniga [University Book], 2018. – P. 179–183.

6. Koroteev, D. D. Primeneniye additivnykh tekhnologiy proizvodstva v stroitel'stve na primere razrabotki 3D-modeli s posleduyushhej pechat'yu [Application of additive manufacturing technologies in construction on the example of the develop-

ment of a 3D model with subsequent printing] / D. D. Koroteev, A. I. Koreneva // Sistemnye tekhnologii [System technologies]. – 2021. – № 2 (39). – P. 21–30.

7. Analiz tekhnologiy 3D-pechaty sten maloetazhnykh zdaniy i ikh klassifikatsiya [Analysis of 3D printing technologies of walls of low-rise buildings and their classification] / P. V. Monastirev, V. A. Ezersky, I. A. Ivanov, A. D. Baltozar // Sovremennye problemy v stroitel'stve: postanovka zadach i puti ikh resheniya : Sbornik nauchnykh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kursk, 22 maya 2019 goda [Modern problems in construction: setting tasks and ways to solve them : Collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference, Kursk, May 22, 2019]. – Kursk : Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet [Southwest State University], 2019. – P. 70–80.

8. Tikhonenko, E. S. Tekhnologii 3D-pechaty: preimushhestva i nedostatki [3D printing technologies: advantages and disadvantages] / E. S. Tikhonenko, A. A. Elistratova, I. S. Korshakevich // Sektsiya «Informatsionno-ehkonomicheskie sistemy» [Section «Information and economic systems»]. – 2015. – P. 557–559. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-3d-pechat-i-preimushchestva-i-nedostatki/viewer>.

9. Gan, E. Additivnoe stroitel'stvo – ehto klassnaya shuka! : Interv'y u s Ekaterinoj Rejbikh [Additive construction is a cool thing! : Interview with Ekaterina Reizbikh] / E. Gan // Tsifrovaya transformatsiya Sankt-Peterburga [Digital transformation of St. Petersburg] : [electronic resource]. – URL: <https://dt.petersburg.ru/аддитивное-строительство-это-классн/>.

УДК 69.001.5:0.04

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_161

Методика расчета оптимальной ширины окна и величины перекрытия в задаче извлечения диагностических параметров данных технической диагностики объектов капитального строительства

Methodology for Calculating the Optimal Width of a Window and an Overlap Value in the Problem of Extracting Diagnostic Parameters of Technical Diagnostic Data of Capital Construction Objects

Кац Владислав Анатольевич

Аспирант кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, vladk_94@mail.ru

Kats Vladislav Anatolievich

Postgraduate student of the Department «Informational Systems, Technology and Automatization in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, vladk_94@mail.ru

Аннотация. Развитие дефектов в объектах капитального строительства может привести к катастрофическим последствиям, а также большим финансовым потерям. Своевременное детектирование эволюционирующего дефекта в структуре материала наблюдаемого объекта позволяет предупредить множественные риски, связанные с выводом объекта из эксплуатации.

При проектировании систем мониторинга достаточно часто используются датчики, регистрирующие данные мониторинга, представляющие собой временные ряды акустических сигналов, излучаемых от дефекта.

С целью осуществления эффективной классификации и прогнозирования развития дефектов часто возникает необходимость получить расширенное представление временного ряда сигнала.

В статье предложен способ определения оптимальной ширины окна и величины перекрытия, учитывающий особенности

Abstract. In order to detect defects in capital construction projects, various methods and techniques are used. One of the most common methods is non-destructive testing (NDT), which involves testing the material or structure without damaging it. NDT methods include ultrasonic testing, radiographic testing, magnetic particle testing, and visual inspection.

Another method for detecting defects is structural health monitoring (SHM), which involves installing sensors on the structure to monitor its behavior and detect any changes or anomalies. SHM can provide real-time data on the condition of the structure, allowing for early detection of defects and timely repairs.

When designing monitoring systems, sensors are often used that record monitoring data, which are time series of acoustic signals emitted from a defect.

In order to effectively classify and predict the development of defects, it often becomes necessary to obtain an extended representation of the signal time series.

Введение

Техническое обслуживание объектов капитального строительства требует систематического и комплексного подхода. При этом актуальной становится задача разработки современных методов диагностики, контроля и мониторинга материалов и конструкций, которые обеспечат своевременное обнаружение эксплуатационных дефектов. Такой подход позволит сохранять высокую степень безопасности и эффективности использования объектов капитального строительства.

контролируемого объекта и исключающий влияние человеческого фактора. Для этого используется генетический алгоритм и методы извлечения признаков, которые преобразуют временной ряд сигнала в матрицу диагностических признаков. Это позволяет проводить классификацию дефектов по степени опасности с высокой точностью.

Показано, что скорость сходимости алгоритма наибольшая при использовании функции приспособленности, построенной на вычислении метрики RMSE.

Установлено, что полученные результаты могут быть использованы для эффективного решения задач, связанных с мониторингом технического состояния объектов капитального строительства.

Ключевые слова: способ извлечения диагностических параметров, объекты капитального строительства, метрики, классификация дефектов, мониторинг объектов.

The article proposes a method for choosing the optimal window width, as well as the amount of overlap, considering the specifics of the controlled object and excluding the influence of the human factor. The method is based on the use of a genetic algorithm. In this case, the so-called feature extraction methods are used. Feature extraction methods map the signal time series into a matrix of diagnostic features that can be used for the subsequent task of classifying defects by severity.

It is shown that the rate of convergence of the algorithm is the highest when using the fitness function based on the calculation of the RMSE metric.

It has been established that the results obtained can be used to effectively solve problems related to monitoring the technical condition of capital construction projects.

Keywords: methodology of extracting diagnostic parameters, capital construction objects, metrics, classification of defects, monitoring of objects.

В этой связи актуальной задачей становится разработка систем диагностического мониторинга, позволяющей обнаруживать дефект, определять его степень опасности и прогнозировать его эволюцию.

При проектировании систем мониторинга достаточно часто используются датчики, регистрирующие данные мониторинга, представляющие собой временные ряды акустических сигналов, излучаемых от дефекта. При этом эффективность классификации и прогнозирования дефектов существенно зависит от процесса извлечения диагностических параметров из временных рядов сигнала.

ла акустической эмиссии (АЭ). Для этого используются методы извлечения признаков, которые позволяют преобразовать временной ряд АЭ в матрицу диагностических признаков. Данные, полученные с датчиков – преобразователей акустической эмиссии, регистрируются с высокой частотой дискретизации, что приводит к большому объему данных мониторинга. Поэтому важно не только обеспечить сжатие исходных данных при извлечении признаков, но и учитывать чувствительность информативных признаков к изменению локальной структуры временного ряда при возникновении сигналов малой длительности.

В задачах распознавания полезных сигналов акустической эмиссии часто возникает проблема извлечения признаков на фоне шумов и помех естественной и техногенной природы. В работе [1] был представлен эффективный метод извлечения информативных признаков из временных рядов акустических сигналов. Он основан на последовательном вычислении статистических параметров формы импульса на двух временных масштабах: малом, соответствующем «анализирующим» окнам, и большом, который соответствует «агрегирующим» скользящим окнам.

Номенклатура диагностических признаков выбирается обычно исходя из предметной области и описана во множестве источников. Однако в подходе извлечения признаков из временного ряда АЭ-сигнала есть существенная проблема: для использования подхода необходимо рассчитывать признаки в скользящем окне с перекрытиями. При этом выбор ширины окна и степени перекрытия, как правило, носят субъективный характер, и чаще всего не позволяют получить наглядное отображение временного ряда АЭ-сигнала в матрицу диагностических признаков, что отрицательно сказывается на последующей классификации дефекта по степени опасности. Таким образом, возникает проблема выбора оптимального размера окон и степени перекрытия. Кроме того, достаточно часто алгоритмы извлечения признаков предполагают использование скользящих окон на двух и иногда и трех временных масштабах. Это приводит к необходимости определения множества настроечных параметров алгоритма, выбор которых зависит от человеческого фактора и напрямую влияет на качество и уровень доверия к результатам прогнозирования и классификации дефекта по степени опасности.

В работе [2] ширину окна на малом временном масштабе рекомендуется определять исходя из следующих соображений: с одной стороны, длина окна должна быть достаточно малой для обеспечения стационарности зашумленного сигнала и его спектра в пределах окна, с другой – длина окна должна быть достаточно большой для обеспечения репрезентативности расчета статистических признаков во временной области и, соответственно, необходимого спектрального разрешения в частотной. На втором же шаге в работе [3] предлагается следующий подход к выбору ширины скользящих окон: длина окна должна быть достаточно малой для выявления различий между шумовой и сигнальной компонентами и, с другой стороны, достаточно большой для выявления различий между сигнальными компонентами различных классов опасности, которые возникают в процессе долговременной эволюции дефектов-источников сигнала.

Существенно, что данные рекомендации позволяют

определить только диапазон возможных значений – как величин окон на малом и большом временных масштабах, так и степеней их перекрытия. Вместе с тем экспериментальные данные показывают, что результат извлечения признаков существенно зависит от величины скользящего окна и перекрытия [4].

В настоящей статье предложен способ выбора оптимальной ширины окна, а также величины перекрытия, учитывающий специфику контролируемого объекта и исключающий влияние человеческого фактора. Способ основан на применении генетического алгоритма.

Материалы и методы

Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, который начинается с формирования начальной популяции решений-кандидатов. Затем происходят итерации, в которых осуществляются операции скрещивания и мутации, а также оценка качества решений-кандидатов с использованием функции приспособленности. Решения с высокими значениями функции приспособленности сохраняются для следующего поколения, а решения с низкими значениями отбрасываются.

Процесс продолжается до нахождения оптимального решения или достижения максимального количества итераций. Генетический алгоритм широко применяется в различных областях, таких как проектирование алгоритмов искусственного интеллекта, финансовая аналитика, генетика, маркетинговые исследования и другие. Преимуществами генетического алгоритма являются:

- большое число свободных параметров, позволяющих эффективно встраивать эвристики;
- эффективное распараллеливание;
- работает заведомо не хуже абсолютно случайного поиска.

Важным фактором, определяющим эффективность работы генетического алгоритма, является корректный выбор функции приспособленности. С другой стороны, в задаче определения оптимальных размеров окон при извлечении признаков из временных рядов АЭ-сигналов принципиальным моментом является улучшение качества классификации дефектов по степени опасности. В этой связи возникает необходимость определить функцию приспособленности, как функцию, характеризующую качество классификации.

Существуют несколько метрик качества классификации. Каждая из них обладает своими преимуществами и недостатками. Подавляющая часть таких метрик основывается на сравнении результатов классификации с реальной степенью опасности дефекта, оцененной общепринятыми способами.

Метрика RMSE (квадратный корень среднеквадратичной ошибки) [6]. Представление среднеквадратичной ошибки (root-mean-squared error, RMSE) показывает разность между предсказанными и наблюдаемыми значениями в модели. Чем выше данный показатель, тем сильнее прогнозируемые значения классификации отличаются от размеченных данных обучающей выборки. Значение среднеквадратичной ошибки всегда неотрицательно.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}. \quad (1)$$

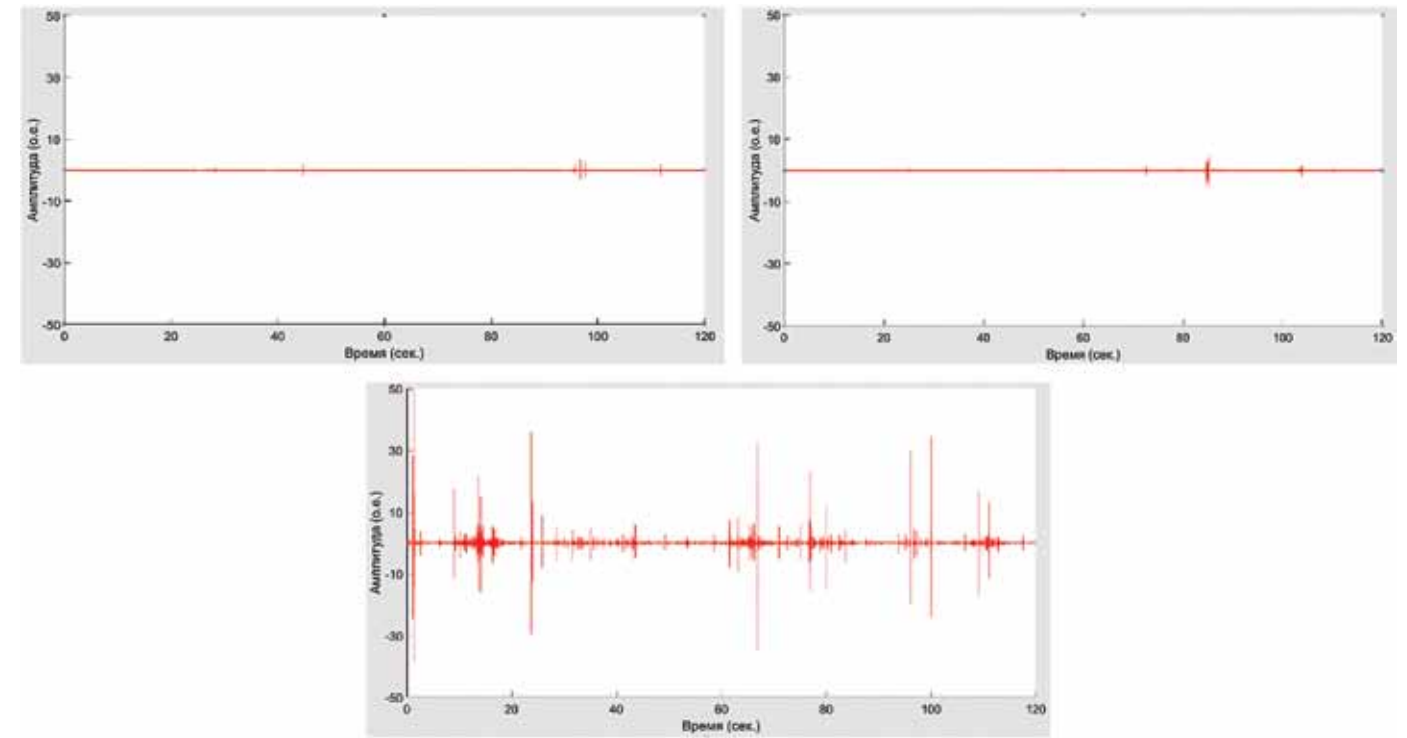


Рис. 1. Зашумленные временные ряды сигналов акустической эмиссии, полученные при диагностике технического состояния: а) дефект I-го класса опасности, б) дефект II-го класса опасности, в) дефект III-го класса опасности

Fig. 1. Noisy acoustic emission time series obtained via structural health monitoring: a) I-st damage class defect, b) second damage class defect, c) third damage class defect

Критерий взаимной информации. Взаимная информация между двумя результатами классификации рассчитывается следующим образом:

$$MI(U, V) = \sum_{i=1}^{|U|} \sum_{j=1}^{|V|} P(i, j) \log \left(\frac{P(i, j)}{P(i)P(j)} \right), \quad (2)$$

где U – полученный результат классификации в результате выбора размеров окон; V – степень опасности дефекта, полученного общепринятыми методами.

Недостаток этого критерия связан с ограниченностью применения только в методах обучения с учителем [6].

Индекс «силуэт» (silhouette). Данная метрика оценивает качество кластеризации на основе внутрикластерных и межкластерных расстояний [7]:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)}, \quad (3)$$

где a_i – среднее отличие от других данных кластера; b_i – наименьшее отличие от любого кластера, не являющегося членом, для каждого x_i и центра кластера y .

Коэффициент силуэта варьируется от –1 (худший рейтинг) до 1 (лучший рейтинг). Часто рассчитывается общее среднее значение силуэта.

Результаты

Верификация предложенного способа определения оптимального размера окон и величины перекрытия проводилась на объекте топливно-энергетического комплекса – нефтеналивном резервуаре РВС № 3 (Норильск). На рисунке 1 представлены временные ряды АЭ, полученных в результате АЭ-диагностики объекта контроля, где буквами а, б и в обозначены дефекты различных классов опасности, локализованные в объекте контроля.

В настоящей работе для целей извлечения признаков применяется набор диагностических параметров, рассчитанных в частотной и временной областях, а именно: спектральный поток, коэффициент размаха импульсов,

спектральный центроид, коэффициент затухания, энтропия и энергия [8].

На рисунке 2 показана сходимость генетического алгоритма к оптимальным значениям размера окон и перекрытия при использовании в качестве функции приспособленности показателя взаимной информации. Видно, что алгоритм сходится уже на двадцатой итерации, а после 20-й итерации величина функции приспособленности колеблется вокруг оптимальных значений.

Верификация информативности результатов извлечения особенностей для выбранных оптимальных значений ширины окна и степени перекрытия предполагает использование методов машинного обучения в многомерном пространстве признаков. В настоящей работе для редукции размерности пространства признаков и визуализации многомерных переменных применяется метод

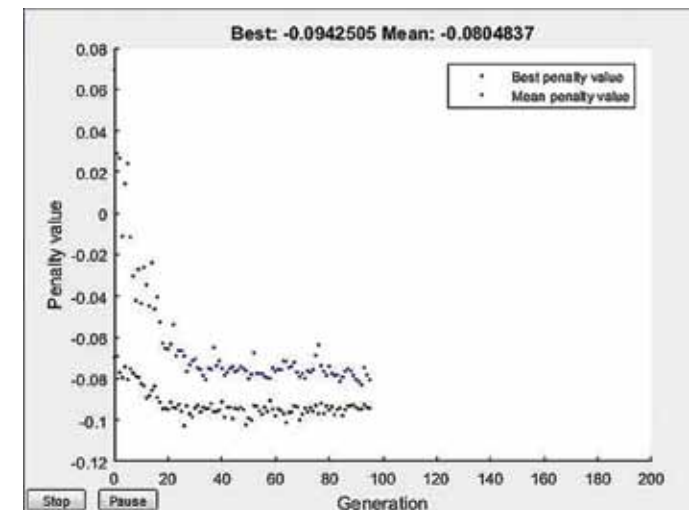


Рис. 2. Сходимость алгоритма к оптимальным значениям ширины окон и степени перекрытия

Fig. 2. Optimal window width algorithm convergence

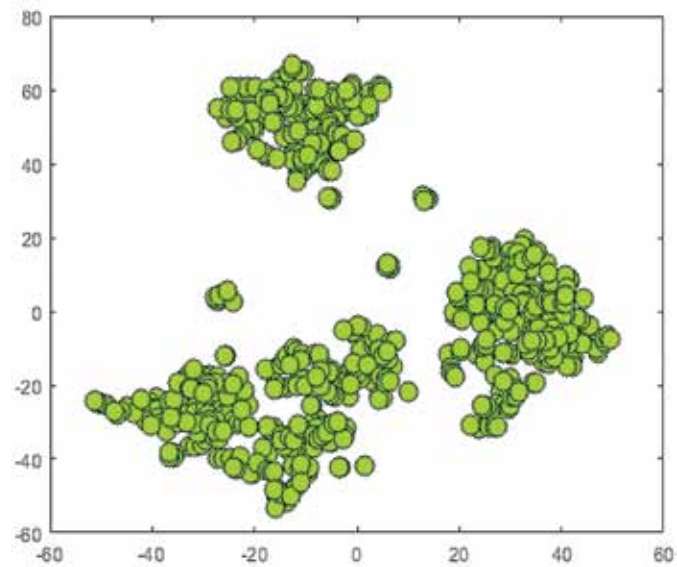


Рис. 3. Результаты извлечения особенностей пространства двух SNE-компонент для оптимальных значений окон и перекрытий
Fig. 3. Results of extracting features of the space of two SNE-components for optimal values of windows and ceilings

стохастического вложения соседних точек – Stochastic Neighbor Embedding (SNE-метод) [9].
В таблице 1 показаны результаты сравнения скорости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kattis, S. Noesis-Advanced Data Analysis, Pattern Recognition & Neural Networks Software for Acoustic Emission Applications / S. Kattis // Kolloquium Schallemission : Statusberichte zur Entwicklung und Anwendung der Schallemissionsanalyse. – 2017. – Vor. 12. – P. 9–10.
2. Kumar, D. Visual Approaches for Exploratory Data Analysis: A Survey of the Visual Assessment of Clustering Tendency (VAT) Family of Algorithms / D. Kumar, J. C. Bezdek // IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine. – 2020. – Vol. 6, Iss. 2. – P. 10–48.
3. Geometric accuracy of digital twins for structural health monitoring / R. Lu, C. Rausch, M. Bolpagni, I. Brilakis // Structural Integrity and Failure. – 2020.
4. Kats, V. Features extraction from non-destructive testing data in cyber-physical monitoring system of construction facilities / V. Kats, A. Volkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012149.

REFERENCES

1. Kattis, S. Noesis-Advanced Data Analysis, Pattern Recognition & Neural Networks Software for Acoustic Emission Applications / S. Kattis // Kolloquium Schallemission : Statusberichte zur Entwicklung und Anwendung der Schallemissionsanalyse. – 2017. – Vor. 12. – P. 9–10.
2. Kumar, D. Visual Approaches for Exploratory Data Analysis: A Survey of the Visual Assessment of Clustering Tendency (VAT) Family of Algorithms / D. Kumar, J. C. Bezdek // IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine. – 2020. – Vol. 6, Iss. 2. – P. 10–48.
3. Geometric accuracy of digital twins for structural health monitoring / R. Lu, C. Rausch, M. Bolpagni, I. Brilakis // Structural Integrity and Failure. – 2020.
4. Kats, V. Features extraction from non-destructive testing data in cyber-physical monitoring system of construction facilities / V. Kats, A. Volkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1425. – P. 012149.

Функция приспособленности	Количество итераций
RMSE	21
Критерий взаимной информации	57
Индекс «силуэт»	89

Табл. 1. Скорость сходимости предложенного способа в зависимости от выбора функции приспособленности
Tab. 1. Convergence rate of the proposed method depending on the choice of the fitness function

сходимости функций приспособленности при использовании различных метрик. Из таблицы 1 следует, что быстрее всех к оптимальному значению алгоритм сходится при использовании в качестве функции приспособленности метрики RMSE.

Закключение

В настоящей работе предложен способ определения оптимального размера окон и степени перекрытий в контексте задачи извлечения признаков, основанный на генетическом алгоритме.

Показано, что скорость сходимости алгоритма наибольшая при использовании функции приспособленности, построенной на вычислении метрики RMSE.

Установлено, что полученные результаты могут быть использованы для эффективного решения задач, связанных с мониторингом технического состояния объектов капитального строительства.

5. Giannakopoulos, T. Introduction to Audio Analysis: A MATLAB Approach / T. Giannakopoulos, A. Pikrakis. – Elsevier Ltd., 2014. – 262 p.
6. Improving the Performance of Storage Tank Fault Diagnosis by Removing Unwanted Components and Utilizing Wavelet-Based Features / V. Tra, B. P. Duong, J. Y. Kim, M. Sohaib, J. M. Kim // Entropy. – 2019. – Vol. 21 (2). – P. 145.
7. A review on acoustic emission monitoring for damage detection in masonry structures / E. Verstrynge, G. Lacidogna, F. Accornero, A. Tomor // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 268. – P. 121089.
8. Wang, X. An improved index for clustering validation based on Silhouette index and Calinski–Harabasz index / X. Wang, Y. Xu // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 569, Iss. 5. – P. 052024.
9. Van der Maaten, L. Visualizing data using t-SNE / L. Van der Maaten, G. Hinton // Journal of Machine learning Research. – 2008. – Vol. 9, № 11. – P. 2579–2605.

5. Giannakopoulos, T. Introduction to Audio Analysis: A MATLAB Approach / T. Giannakopoulos, A. Pikrakis. – Elsevier Ltd., 2014. – 262 p.
6. Improving the Performance of Storage Tank Fault Diagnosis by Removing Unwanted Components and Utilizing Wavelet-Based Features / V. Tra, B. P. Duong, J. Y. Kim, M. Sohaib, J. M. Kim // Entropy. – 2019. – Vol. 21 (2). – P. 145.
7. A review on acoustic emission monitoring for damage detection in masonry structures / E. Verstrynge, G. Lacidogna, F. Accornero, A. Tomor // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 268. – P. 121089.
8. Wang, X. An improved index for clustering validation based on Silhouette index and Calinski–Harabasz index / X. Wang, Y. Xu // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 569, Iss. 5. – P. 052024.
9. Van der Maaten, L. Visualizing data using t-SNE / L. Van der Maaten, G. Hinton // Journal of Machine learning Research. – 2008. – Vol. 9, № 11. – P. 2579–2605.

УДК 69.009

DOI: 10.54950/26585340_2023_2_165

Проблемы и перспективы цифровизации процессов подготовки и согласования исполнительной документации (на примере экосистемы Exon)

Problems and Prospects of Digitalization of Processes of Preparation and Approval of Executive Documentation (on the Example of the Exon Ecosystem)

Воронков Иван Евгеньевич

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

Voronkov Ivan Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State Civil Engineering University (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, VoronkovIE@mgsu.ru

Алабин Александр Вячеславович

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

Alabin Alexander Vyacheslavovich

Senior Lecturer of the Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State Civil Engineering University (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, AlabinAV@mgsu.ru

Егорова Диана Витальевна

Студент 2-го курса магистратуры, кафедра «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, dian.egorova@yandex.ru

Egorova Diana Vitalievna

2nd year Master student, Department «Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings», National Research Moscow State Civil Engineering University (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, dian.egorova@yandex.ru

Васильева Дарья Алексеевна

Студент 4-го курса бакалавриата, кафедра «Менеджмент и инновации», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, VasilievaDA@mgsu.ru

Vasilyeva Darya Alekseevna

4th year Undergraduate student, Department «Management and Innovation», National Research Moscow State Civil Engineering University (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, VasilievaDA@mgsu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оценки перспектив и проблем цифровизации процессов составления, подписания и сдачи исполнительной документации (ИД), проанализирован внедряемый в настоящее время принципиально новый (электронный) вид ведения ИД. На базе актуальных трендов в области цифровизации строительного производства приведена сравнительная оценка отечественного и иностранного (Европа и США) подходов к выполнению ИД, выделены специфические особенности, преимущества каждого из них, а также основные принципиальные отличия друг от друга. В работе определены преимущества использования электронного документооборота ИД для двух категорий участников строительных проектов: застройщика, технического заказчика и ав-

Abstract. The article discusses the issues of assessing the prospects and problems of digitalization of the processes of compiling, signing and submitting executive documentation (ED), analyzed the currently introduced fundamentally new (electronic) type of ED maintenance. Based on current trends in the digitalization of construction production, a comparative assessment of domestic and foreign (Europe and the USA) approaches to the

торского надзора – с одной стороны – и генеральных подрядчиков и субподрядных организаций – с другой, а также влияние на строительный процесс в целом. Описаны схемы взаимодействия участников строительства непосредственно в самой системе. Проведена демонстрация перспектив, возможностей и ограничений реализации автоматизированного ПО для работы с ИД на примере комплекса электронного документооборота в строительстве Exon. Определены ведущие модули в структуре самой программы, а также сделаны выводы о дальнейших векторах развития конечного цифрового продукта.

Ключевые слова: цифровизация строительства, исполнительная документация, электронный документооборот в строительстве, цифровой инженер ПТО.

implementation of ED is given, specific features, advantages of each of them are highlighted, as well as the main fundamental differences from each other. The paper identifies the advantages of using electronic document management of the ED for two categories of participants in construction projects: the developer, technical customer and architectural supervision on the one hand, and general contractors and subcontractors on the other,

as well as the impact on the construction process as a whole. The schemes of interaction of construction participants directly in the system itself are described. A demonstration of the prospects, possibilities and limitations of the implementation of automated software for working with ED was carried out using the example of the Exon electronic document management complex in construction.

The leading modules in the structure of the program itself are identified, and conclusions are drawn about further vectors for the development of the final digital product.

Keywords: construction digitalization, as-built documentation, electronic document management in construction, PTD digital engineer.

Введение

Исполнительная документация (далее – ИД, документация) является неотъемлемой частью процесса строительства. Она – фундамент в последующей эксплуатации здания, так как именно в ней указаны фактические данные о положении тех или иных возведенных конструкций, а также проектные решения, применяемые при строительстве, капитальном ремонте, реконструкции, что позволяет в дальнейшем облегчить эксплуатационный процесс, а также дает всю необходимую информацию о техническом состоянии той или иной конструкции.

Долгое время процесс формирования ИД занимал очень продолжительный срок. Часто строительство уже заканчивалось и здание вводилось в эксплуатацию, а исполнительная документация сдавалась еще долгие месяцы. Помимо этого, сам процесс был достаточно трудоемким и объемным: каждый акт на выполненную работу должен быть проверен и завизирован каждым ответственным представителем от организации, участвующей в строительстве.

Идентичный процесс касается также и исполнительных схем. Приложения к актам заверяются и подписываются вручную ответственным инженером за тот или иной вид работ, и на финальной стадии все документы за отчетный период сдаются под реестр заказчику. Не стоит упускать из внимания и то, что часто представители, подписывающие документацию, находятся не на строительной площадке, а в разных местах, порой даже в разных городах, что существенно усложняет и продлевает процедуру подписания, и это еще без учета того, что комплекты исполнительной документации могут возвращаться на доработку при выдаче замечаний одного из представителей. Такое может происходить не один раз, соответственно, вся процедура подписания начинается заново.

Но прогресс не стоит на месте, поэтому, согласно Постановлению Правительства РФ № 331 от 15.03.2021, официально строительные предприятия постепенно стали переходить на формирование и ведение информационной

модели строительства, иными словами – началась активная работа с IT-продуктами управления строительными проектами, а также обучение непосредственно рабочих кадров специфике работы в них, подготовка цифровых инженерно-технических работников, где главным регламентирующим документом является ГОСТ Р 70108-2022 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде», вступивший в силу 01.01.2023. В данном нормативном документе указан порядок и правила осуществления процессов формирования и ведения ИД в электронном виде, а также организационные моменты в части взаимодействия заказчика и эксплуатирующей организации при передаче документации после завершения строительства.

Материалы и методы

Европейский опыт использования IT-продуктов такого плана широк. Они используются как полностью программное обеспечение (далее – ПО), через которое контролируется процесс строительства, так и вместе с традиционной бумажной формой. Чтобы перейти к сравнению используемого за рубежом ПО с применяемыми в отечественной практике аналогами, целесообразно выявить различия в структурах составления исполнительной документации российской и за рубежом. В европейской системе не регламентируется в традиционном понимании оформление ИД и отсутствует обязательная утвержденная форма, в России же все сводится к четко определенной системе, которая опирается на ряд официальных документов, за счет этого можно сделать вывод, что она в какой-то степени более структурирована и понятна.

К примеру такой структурированности можно отнести акт скрытых работ (далее – АОСР), который составляется после выполнения строительно-монтажных работ для фиксации контроля качества и соответствия рабочей документации тех работ, которые впоследствии будут скрыты под другими строительно-монтажными работами (далее – СМР), а доступ к ним будет не возможен без вскрытия и демонтажа вышележащих конструкций. Его

формируют, ссылаясь на запись в общем журнале работ, где четко определен тип монтируемой конструкции, место и дата ее монтажа, а также объем материала, используемый в данном типе конструкции [1].

В отечественной структуре единым производственным документом является общий журнал работ. За границей же практика такова, что вместо журнала общих работ фиксация происходит в ежедневном (еженедельном, ежемесячном) отчете, как и по учету и использованию материалов, используемых в производстве работ. В России же для этих случаев используется журнал верификации закупленной продукции [2].

Помимо этого, можно отметить и то, что отечественная документация в большинстве своем формируется, хранится и ведется подрядчиками, технический заказчик выступает как контролирующий орган. За рубежом же значительная часть записей контроля строительства ведется также и техническим заказчиком наряду с подрядчиками [3]. На рисунке 1 отчетливо видно различие европейской и российской систем составления исполнительной документации.

Сравнивая две системы, можно вывести несколько отличий друг от друга в начинке и структуре. Используемое в Европе и США ПО использует различные формы финансовой отчетности, которые неразрывно связаны с проектом. В отечественном ПО чаще всего этот модуль или не так развит, как, например, в облачной платформе для автоматизации и управления строительными процессами Exon, или же вовсе отсутствует в программе. BIM-модель также является неотъемлемой частью, на которой чаще всего строится вся платформа программы, или для нее выделяются отдельные модули, можно сказать, что это сердце всего зарубежного проекта. В России же если и используется BIM-модель, то отдельно от такого вида программы, как отдельный инструмент для работы [4].

Из вышесказанного можно сделать вывод, что несмотря на то, что и в России, и за рубежом полным ходом идет практика работы на таких платформах, их начинка, набор модулей и функций существенно различаются и специально подобраны под стандарты и формы той страны, в которой они используются.

Результаты

Внедрение цифровизации в России – это закономерная стадия развития сферы строительства. Она началась еще в 2015 году с программы Hardroller, но до настоящего момента были лишь локальные попытки перехода на новый режим работы, так как только единичное количество строительных организаций изъявляло желание использовать эту модернизированную концепцию документооборота. И в этом плане их можно понять.

Во-первых, достаточно сложно отойти от того, что годами использовалось и проверено временем, даже если это имеет ряд значительных недостатков, хотя сам процесс практически не меняется, меняется сама среда работы. Во-вторых, это требует финансовых и временных затрат. Для успешной работы в программе необходимо переучивать персонал, создавать и поддерживать актуальную базу, на что не всегда имеется время у сотрудников.

В-третьих, все мы знаем, что каждый новый IT-продукт проходит стадию притирки, то есть не бывает программного обеспечения, которое с самого начала ввода в эксплуатацию начинает работать в штатном режиме без выдачи

ошибок, без корректировки самой начинки и в принципе без плановых работ на серверах продукта. Сразу же возникает вопрос: а разве тестирование продукта не происходит до его запуска в массовое пользование, чтобы избежать всех этих неурядиц при работе? И тут ответ прост: конечно, тестирование производится, и даже в несколько этапов, но по достаточно укороченной временной программе. Соответственно, несмотря на ряд этих мероприятий, ПО, чаще всего, все равно выходит в массы достаточно «сырым», и доработки уже происходят в онлайн-процессе его использования потребителями. Поэтому присутствует риск сотруднику просто-напросто в рабочее время не получить доступ в программу при возникновении таких работ и возникающих ошибок.

В-четвертых, нужно учитывать еще то, что эти программы не так распространены и известны: строительные компании просто не знают об их существовании.

Теперь поговорим о преимуществах электронного документооборота ИД для застройщика, технического заказчика, авторского надзора, как и для генеральных подрядчиков и субподрядных организаций. В таблице 1 представлены основные преимущества (таблица 1).

При использовании цифровых платформ пользователи получают всю необходимую информацию для проверки ИД в одном интерфейсе, имеют возможность хранить все версии документов на этапе их корректировки и вести удобный учет всех подписанных документов из состава ИД.

Напоследок можно отметить то, что в России сейчас порядка десяти таких программ, и каждая из них по своему хороша в использовании, но полный спектр всех нужных разделов, функций и инструментов для инженера ПТО имеют лишь несколько из них.

Вопросы совершенствования процессов подготовки согласования подписания исполнительной документации оказывают чрезвычайно большое значение, однако существует ряд проблем, препятствующих развитию этого процесса. На примере реконструкции объекта энергетики в городе Москве с использованием комплекса электронного документооборота в строительстве Exon хотелось бы продемонстрировать результат ренижиниринга процессов работы с ИД, демонстрирующий, что подготовку, подписание и сдачу исполнительной документации можно значительно облегчить, не прерывая цепочек взаимодействия друг с другом всех представителей, начиная от представителя лица, выполнившего работы, подлежащие освидетельствованию, до представителя технического заказчика. Этот единый облачный сервис для всех участников строительства позволяет не только упорядоченно контролировать свою зону ответственности, но и производить мониторинг выполнения работ другими звеньями, например, это очень удобно в отношениях заказчик – генеральный подрядчик – подрядчик [5].

Также зачастую техническими заказчиками при строительстве крупных объектов энергетики выступают государственные предприятия, например, такие как Концерн «Росэнергоатом». Специфика работы с государственными заказчиками такова, что им, как никому другому, важна и нужна прозрачность всех аспектов строительства, цифровой вид документации позволяет это организовать [6].

На объекте в связи с обилием строительно-монтажных работ было задействовано несколько десятков подрядных

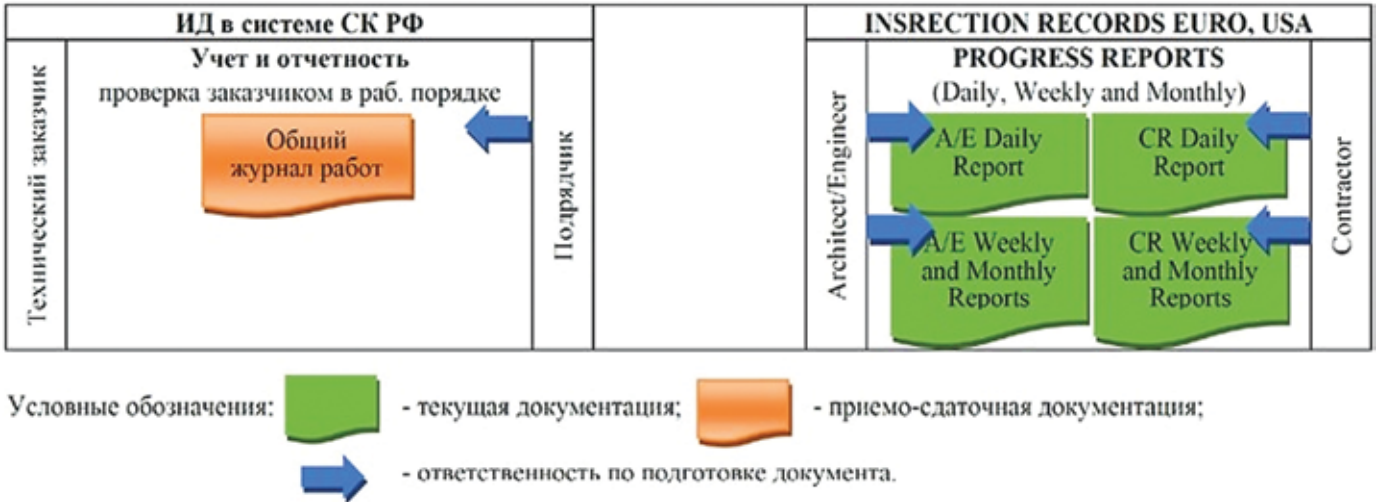


Рис. 1. Инфографика состава и видов учетной документации отечественной и зарубежной систем СК
Fig. 1. Infographics of the composition and types of accounting documentation of domestic and foreign construction control systems

№	Преимущества электронного документооборота ИД для застройщика, технического заказчика и авторского надзора	Преимущества для генеральных подрядчиков и субподрядных организаций
1	Повышение качества и оптимизация временных затрат на проверку и подписание ИД	Оптимизация процесса подготовки и подписания ИД застройщиком (техническим заказчиком) – весь обмен производится через информационную систему
2	Сокращение количества рутинных операций по проверке одной и той же информации в разных документах	Все выданные замечания к сформированной ИД размещаются в единой информационной системе, где отражены следующие данные: автор, формулировка замечания, дата выдачи, а также версии правок по выданным замечаниям
3	Возможность автоматического отображения необходимой информации одновременно с проверяемым документом	Сокращение временного разрыва между фактическим выполнением и получением оплаты за выполнение работы
4	Исключение потери документов и необходимости их восстановления	
5	Своевременное информирование о предполагаемых отступлениях от проектной документации	

Табл. 1. Преимущества электронного документооборота при подготовке и согласовании исполнительной документации
Tab. 1. Advantages of electronic document management in the preparation and approval of executive documentation

организаций. Соответственно, контроль за выполнением работ каждого звена являлся одной из доминирующих проблем на объекте. Несмотря на достаточное количество ИТР-кадров у генподрядной организации, проверка объемов работ, состава исполнительной документации, ее правильное оформление часто затягивались, так как эта «начинка» часто не поступала вовремя в руки к инженерам. При иерархии заказчик – генеральный подрядчик – подрядчик без подписи ответственного лица от генерального подрядчика невозможно было дать дальнейший ход документации и отдать ее на проверку вышестоящим звеньям, например, представителю строительного контроля. Соответственно, все сроки при таком нестабильном взаимодействии часто срывались [7]. Отсюда вытекали финансовые вопросы, ведь оплата заказчиком напрямую зависит от бухгалтерских форм актов выполненных работ КС-2, КС-3 и, если необходимо, КС-6а, которые делаются на основании подписанной исполнительной документации.

Цифровизация позволила значительно пересмотреть весь этот долгий и трудоемкий процесс. В системе Ехон четко видно проседающие документы по СМР, что значительно облегчает работу инженера ПТО. Наглядно видно, какой подрядчик в какой области отстает, достаточно сопоставить загруженный материал в систему и его привязку к акту, также все возникшие вопросы можно с легкостью урегулировать в системе.

Помимо этого был решен вопрос, который долгое время создавал дискомфорт всем участникам строительства, а именно: согласование и подписание отчетной и других видов документации. За счет того, что в системе используется электронная цифровая подпись (далее – ЭЦП), значительно упростился рабочий процесс инженера ПТО. Данная подпись создается на основании 63-ФЗ «Об электронной подписи» на имя владельца в соответствующих аккредитованных удостоверяющих центрах. Она защищена шифрованием, доступ к ней происходит через мобильное устройство владельца подписи, на которое приходит программный код, тем самым защищая от незаконного подписания документации другим лицом. Соответственно, такие технологии позволяют согласовывать и подписывать документацию дистанционно, а в настоящее время это как никогда актуальная форма работы. Благодаря такому подходу к работе время всех процедур сократилось в разы [8]. Также можно отметить еще одно существенное преимущество: при формировании акта и отправки его на

согласование на самом акте и исполнительной схеме появляется qr-код, просканировав который через мобильное устройство можно узнать статус и стадию подписания, а также увидеть все замечания, если такие имеются. Эта система удобна тем, что работать теперь можно удаленно, в настоящее время это как никогда актуальная форма работы [9].

Но несмотря на то, что процесс максимально автоматизирован, чаще всего технический заказчик все же требует сдавать исполнительную документацию по месячным выполнениям в одном экземпляре в архив, и тут Ехон также значительно упрощает данную задачу. Если раньше каждый лист комплекта штамповался печатью «копия верна» и заверялся подписью ответственного инженера, а также печатью самой организации, то с применением этой платформы при выгрузке на приложениях уже автоматически проставлен этот штамп – это опять же так экономит время [10]. Также удобна система тем, что она автоматически формирует реестр к комплекту исполнительной документации и ее цифровой вид непосредственно для передачи заказчику.

Однако, как уже говорилось ранее, у каждой программы, тем более той, которая относительно недавно поступила на потребительский рынок, есть свои недостатки и недоработки, и Ехон в данном случае не исключение. При использовании этого ПО в течение трех месяцев на объекте строительства были сделаны некоторые выводы, в том числе и по недостаткам, которые могут коснуться обычного рядового пользователя, в данном случае – инженера ПТО.

Данными недостатками являются:

- 1) Кратковременные сбои в работе, которые могут нанести урон информации, находящейся в программе. Данный продукт определенно требует внимания, но из-за ошибок, которые возникают при использовании, например, можно потерять данные, загруженные ранее, соответственно, их нужно будет восстанавливать. Также может пропасть или, наоборот, задвоиться ЭЦП одного или нескольких подписантов. Часто происходит и такая ситуация: вылетает системная ошибка, и акт нельзя отредактировать или добавить к нему недостающие приложения, периодически могут пропадать целые рабочие блоки программы. Это все отнимает силы и время, часть исполнительной документации все равно приходится дорабатывать вручную, но нельзя сказать, что все

эти сбои перерастают в систематику, обычно их достаточно быстро устраняют.

- 2) Коллизии в датах взаимосвязи документов, например, при недостатке лабораторных заключений. Из-за того, что акт нельзя выпустить более поздней датой, чем текущая, часто происходят ошибки и нестыковки.
- 3) Окончательный отход от бумажного формата полноценно не произошел. Как ранее говорилось, заказчик требовал сдачу комплекта в бумажном формате с заверением каждого акта «живой» подписью каждого ответственно лица рядом с электронной. Целесообразность и перспективность сохранения подобной практики вызывает вопросы.
- 4) Нехватка кадров для работы с такими продуктами. Несмотря на то, что цифровые технологии в сфере строительства присутствуют уже достаточно давно, поиск специалиста, который сможет работать и обрабатывать информацию на такой платформе – задача не из легких. Частично эта проблема была решена с помощью бесплатного обучения при покупке данного софта, которое происходит как в онлайн, так и в офлайн-формате непосредственно со специалистами-разработчиками. Это позволило чуть отладить процесс, но проблема все еще остается актуальной [11].

Заключение

Подводя итоги анализа использования цифровых технологий в строительной отрасли, можно сказать, что это может быть несколько и неуверенный из-за недоработки некоторых элементов системы, но достаточно значимый шаг. Несмотря на ряд недостатков и достаточно противоречивые отзывы, отдельно взятый инвестиционно-строительный проект действительно становится одним целым, не разрозненным элементом, взаимодействие между

участниками строительства повышается, а экономия времени заметно возрастает. В настоящее время популярность использования этих программ только набирает обороты в строительной отрасли, соответственно, увеличивается как выбор IT-продуктов, так и их качество. В данном случае это, как раз, та ситуация, когда спрос, действительно, порождает предложение и симулирует повышение качества предлагаемых продуктов. Разработчики ПО в желании занять новую нишу на рынке специализированного ПО стремятся зарекомендовать свой продукт как то, что действительно поможет и облегчит работу и задачи инженера ПТО.

Широкий спектр модулей и возможностей в программах позволяет решать производственные вопросы на уровне пары клавиш, что крайне актуально при высокой динамике строительства. На данный момент процесс цифровой трансформации еще требует значительных работ и доведения системы до совершенства, на которое нужно определенное время, но уже сейчас можно сказать с уверенностью, что цифровые IT-продукты – это большое подспорье в сфере строительства, а популярность использования их в качестве рабочего пространства управления строительными проектами со стороны заказчика будет только увеличиваться, что показал рассмотренный опыт использования программного продукта Ехон.

Перспективной областью дальнейших исследований в рамках данного направления является изучение потенциала и механизмов модернизации и увеличения перечня модулей в программном обеспечении, что позволит существенно повысить производительность труда и удобство профессиональной деятельности инженеров ПТО. В данном случае под увеличением количества модулей понимается в том числе и внедрение BIM-модели, а также автоматическое формирование смет на основании подписанных актов скрытых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мотылев, Р. В. Анализ системы документирования строительного контроля в сравнении с зарубежными подходами / Р. В. Мотылев, А. С. Карпушкин // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 6 (89). – С. 87–95.
2. Ashford, J. L. The management of quality in construction / J. L. Ashford. – 1st edition. – 1989. – 252 p. – URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203473153/management-quality-construction-ashford>.
3. Болотова, А. С. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России / А. С. Болотова, Я. И. Маршавина. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 // Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 70–80.
4. Fisk, E. R. Construction project administration / E. R. Fisk, W. D. Reynolds. – 9th ed. – New Jersey : Prentice Hall, 2010. – 415 p.
5. Морозенко, А. А. Аналитический расчет надежности участников инвестиционно-строительных проектов как элементов организационной структуры / А. А. Морозенко, И. Е. Воронков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 8. – С. 27–29.
6. Требования к приемо-сдаточной (исполнительно-технической) документации на объекты строительства нефтедобычи / К. Л. Титлов, А. Н. Коркишко, М. С. Чухлатый, А. Н. Сергеев // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5420.
7. Цопа, Н. В. Исследование теоретических и методических

особенностей процедуры проведения строительного контроля / Н. В. Цопа, А. С. Карпушкин, А. К. Горин // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 4 (73). – С. 91–101.
8. Камакин, В. Д. Модели электронной цифровой подписи / В. Д. Камакин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – № 4 (23). – С. 85–89. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32321764> (дата обращения: 21.05.2022).
9. Карпушкин, А. С. Сравнительный анализ элементов планирования, уведомления технического заказчика и предъявления работ в отечественной системе строительного контроля и зарубежной практике / А. С. Карпушкин // Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции «Технология и организация строительного производства», Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2021 г. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – С. 96–110.
10. Цопа, Н. В. Исполнительная документация в строительстве: состав и порядок ведения / Н. В. Цопа, А. С. Карпушкин // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – № 4 (77). – С. 56–65.
11. Роль цифровых технологий при строительстве и повышении остаточного ресурса промышленной и строительной продукции / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 4 (81). – С. 429–437.

REFERENCES

1. Motylev, R. V. Analiz sistemy dokumentirovaniya stroitel'nogo kontrolya v sravnenii s zarubezhnymi podkhodami [Analysis of the system of documentation of construction control in comparison with foreign approaches] / R. V. Motylev, A. S. Karpushkin // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2021. – № 6 (89). – P. 87–95.
2. Ashford, J. L. The management of quality in construction / J. L. Ashford. – 1st edition. – 1989. – 252 p. – URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203473153/management-quality-construction-ashford>.
3. Bolotova, A. S. Problemy vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v Rossii [Problems of introduction of information modeling technologies in Russia] / A. S. Bolotova, Ya. I. Marshavina. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – № 2. – P. 70–80.
4. Fisk, E. R. Construction project administration / E. R. Fisk, W. D. Reynolds. – 9th ed. – New Jersey : Prentice Hall, 2010. – 415 p.
5. Morozenko, A. A. Analiticheskij raschet nadezhnosti uchastnikov investitsionno-stroitel'nykh projektov kak ehlementov organizatsionnoj struktury [Analytical calculation of reliability of participants of investment and construction projects as elements of organizational structure] / A. A. Morozenko, I. E. Voronkov // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region]. – 2018. – № 8. – P. 27–29.
6. Trebovaniya k priemo-sdatochnoj (ispolnitel'no-tekhnicheskoy) dokumentatsii na ob'ekty stroitel'stva nefte dobychi [Requirements for acceptance (executive and technical) documentation for oil production construction facilities] / K. L. Titlov, A. N. Korkishko, M. S. Chukhaty, A. N. Sergeev // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2019. – № 1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5420.
7. Tsopa, N. V. Issledovanie teoreticheskikh i metodicheskikh osobennostej protsedury provedeniya stroitel'nogo kontrolya [Research of theoretical and methodological features of the procedure of construction control] / N. V. Tsopa, A. S. Karpushkin, A. K. Gorin // Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya [Economics of construction and environmental management]. – 2019. – № 4 (73). – P. 91–101.
8. Kamakin, V. D. Modeli ehlektronnoj tsifrovoj podpisi [Models of electronic digital signature] / V. D. Kamakin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologij [Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies]. – 2017. – № 4 (23). – P. 85–89. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32321764> (accessed: 05/21/2022).
9. Karpushkin, A. S. Sravnitel'nyj analiz ehlementov planirovaniya, uvedomleniya tekhnicheskogo zakazchika i pred'yavleniya rabot v otechestvennoj sisteme stroitel'nogo kontrolya i zarubezhnoj praktike [Comparative analysis of planning elements, notification of a technical customer and presentation of works in the domestic construction control system and foreign practice] / A. S. Karpushkin // Materialy vs Rossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva», Sankt-Peterburg, 28–29 aprelya 2021 g. [Materials of the All-Russian Youth scientific and practical conference «Technology and organization of construction production», St. Petersburg, April 28–29, 2021]. – St. Petersburg : SPbGASU, 2021. – P. 96–110.
10. Tsopa, N. V. Ispolnitel'naya dokumentatsiya v stroitel'stve: sostav i poryadok vedeniya [Executive documentation in construction: composition and order of conduct] / N. V. Tsopa, A. S. Karpushkin // Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya [Economics of construction and environmental management]. – 2020. – № 4 (77). – P. 56–65.
11. Rol' tsifrovyykh tekhnologij pri stroitel'stve i povyshenii ostatocnogo resursa promyshlennoj i stroitel'noj produktsii [The role of digital technologies in construction and increasing the residual resource of industrial and construction products] / S. G. Abramyan, O. V. Burlachenko, O. V. Oganessian, A. O. Burlachenko // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. – 2020. – Iss. 4 (81). – P. 429–437.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Статья или ее части не должны быть ранее опубликованы или находиться на рассмотрении в других изданиях. Автор несет ответственность за соответствие информации, содержащейся в представленных документах.
2. Статьи должны содержать результаты научных исследований, аналитику, описание проектов и др. в области технического регулирования в строительстве.
3. Статью необходимо представить в электронном виде.
4. Перед названием статьи должен быть указан индекс УДК.
5. Название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотацию, ключевые слова, название таблиц и иллюстраций следует приводить на русском и английском языках.
6. На отдельном листе нужно представить сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.
7. Объем рукописи не должен превышать 20 страниц (файл в формате .doc в MS Word).
8. Текст статьи должен быть напечатан следующим образом: с подрисовочными подписями, номерами рисунков и необходимыми пояснениями к ним; шрифт – Times New Roman, 12 пт., межстрочный интервал – полуторный.
9. Рисунки с подрисовочными подписями и номерами следует направлять отдельными файлами в формате .jpeg (разрешение не менее 300 dpi). Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи.
10. Библиографический список на русском и английском языках должен включать только литературу, цитируемую в статье. Ссылки на источники следует приводить в тексте в квадратных скобках. Список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5 - 2008.

Страна: Россия Город: Москва
ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ (4 выпуска в год)

ISSN 2658-5340 (Print)

**Научно-технический журнал
«Строительное производство» издается с 2010 года
под следующими наименованиями:**

с 2010 года – «Техническое регулирование. Строительство.
Проектирование. Изыскания»

с 2012 года – «Технология и организация строительного производства»

с 2019 года – «Строительное производство»

Издатель: ООО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР»

Учредитель Ефимов В. В.

Главный редактор Липидус А. А.

Выпускающий редактор Бабушкина Д. Д.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 75299
от 25.03.2019 ЭЛ № ФС 77 – 75165 от 22.02.2019**

Цитирование, частичное или полное воспроизведение материалов
только с согласия редакции

Авторы опубликованных материалов несут ответственность
за достоверность приведенных в статьях сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за использование в статьях данных,
не подлежащих открытой публикации

Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы
и объявлений

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 2 (46) 2023
Дата публикации: 30 марта 2023 года

Отпечатано в типографии ООО «PROMZONA»
105066, Москва, ул. Ольховская, д. 14, стр. 4
Тираж 550 экз. Свободная цена

Корректор Широкова М. А.
Дизайн и верстка: Соколов А. Е.



Телефон: +7 (495) 162 61 02
e-mail: info@build-pro.press
сайт журнала: www.build-pro.press

127018, РФ, Москва, Суцевский вал,
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405
сайт издательства: www.mosnec.com

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2023