

ISSN 2658-5340 (Print)



# СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2010 г.

## CONSTRUCTION PRODUCTION

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

## №3 2022

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)



**Лепидус  
Азари́й Абрамович**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**АБРАМОВ И. Л.** – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

**АШИХМИН О. В.** – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный 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»

**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»

**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»

**ХАВИН Д. В.** – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

**ЦОПА Н. В.** – д-р эконом. наук, профессор, ФГОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Академия строительства и архитектуры

**ЭКЛЕР Н. А.** – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова»

**ЮДИНА А. Ф.** – д-р техн. наук, профессор ГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

## СОДЕРЖАНИЕ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОБИЛЬНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА КОНСТРУКЦИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕН И ПЕРЕКРЫТИЙ МОБИЛЬНЫХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОДУЛЕЙ**

Лепидус А. А., Амбарцумян С. А., Долгов О. С., Колпаков А. М., Мещеряков А. С., Горбачевский В. П. . . . . . 2

**ТЕХНОЛОГИЯ ВИНТОВОЙ И БОЛТОВОЙ СБОРКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛНОСБОРНЫХ, МОНОЛИТНЫХ И СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ИРАКА**

Аль-Хабиб А. А. Х. . . . . . 11

**СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЯ**

Зеленцов Л. Б., Пирко Д. В., Свитенко Д. В., Саид Ю. С. С., Аль-Саррай И. А. Х. . . . . . 20

**ТЕХНОЛОГИЯ ПАССИВНОГО МОНТАЖА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ В УСЛОВИЯХ ИРАКА**

Абасс А. А. А. . . . . . 27

**РАБОТА СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Каган П. Б., Рыбакова А. О., Титенко В. И. . . . . . 34

**МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНА КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ**

Леонович С. Н., Шанюкевич И. В., Полонина Е. Н. . . . . . 41

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОЗАТРАТ ВОЗВЕДЕНИЯ АЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ УКРУПНЕНИЯ АРМОБЛОКА**

Морозенко А. А., Шашков А. А. . . . . . 47

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

Адамцевич Л. А., Пиляй А. И. . . . . . 54

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0 ДЛЯ МОНИТОРИНГА АКТУАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Адамцевич Л. А., Харисов И. З., Камаева Ю. В. . . . . . 58

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПРИНТЕРА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Зеленцов Л. Б., Маилян Л. Д., Пирко Д. В., Аль-Саррай И. А. Х., Саид Ю. С. С. . . . . . 66

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОРГАНИЗАЦИИ МАССОВОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА БЫСТРОВОВОДИМЫХ ЗДАНИЙ**

Погодин Д. А., Абрамова А. И. . . . . . 73

**ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФАЗЫ КРУПНОБЛОЧНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ АЭС**

Морозенко А. А., Шашков А. А. . . . . . 76

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

Топчий Д. В., Волков Р. В., Каширцев М. С. . . . . . 82

УДК 69.057

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_2

# Исследование влияния технологических и функциональных особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей

Investigation of the Influence of Technological and Functional Features of Mobile Conveyor Robotic Production Lines on the Design of Reinforced Concrete Walls and Floors of Mobile Large-Sized Modules

## Лapidус Азарий Абрамович

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

Lapidus Azarij Abramovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, the 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

## Амбарцумян Сергей Александрович

Профессор, доктор технических наук, генеральный директор, ООО «Группа Компаний «Монарх»», Россия, 125284, Москва, Ленинградский проспект, 31А, строение 1, sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

Ambartsumyan Sergey Alexandrovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, General Director, Monarch Group Companies Ltd, Russia, 125284, Moscow, Leningradsky prospekt, 31A, stroenie 1, sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

## Долгов Олег Сергеевич

Профессор, доктор технических наук, директор дирекции института № 1, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, dolgov@mai.ru

Dolgov Oleg Sergeevich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Director of the Directorate of the Institute No. 1, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, dolgov@mai.ru

## Колпаков Андрей Михайлович

Кандидат технических наук, научный сотрудник с ученой степенью НИО-101, старший преподаватель кафедры 104, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, a.kolpakov@mai.ru

Kolpakov Andrey Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Research Associate with an academic degree of NIO-101, Senior Lecturer of the Department 104, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, 125993, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, a.kolpakov@mai.ru

## Мещеряков Александр Сергеевич

Заместитель генерального директора, ООО «Концерн МонАрх», Россия, 125284, Москва, Ленинградский проспект, д. 31А, строение 1, a.meshcheryakov@mon-arch.ru

Meshcheryakov Alexander Sergeevich

Deputy General Director, Concern MonArch Ltd, Russia, 125284, Moscow, Leningradsky prospekt, 31A, stroenie 1, a.meshcheryakov@mon-arch.ru

## Горбачевский Валентин Петрович

Инженер, ООО «Концерн МонАрх», Россия, 125284, Москва, Ленинградский проспект, 31А, строение 1, v.gorbachevskiy@mon-arch.ru

Gorbachevskii Valentin Petrovich

Engineer, Concern MonArch Ltd, Russia, 125284, Moscow, Leningradsky prospekt, 31A, stroenie 1, v.gorbachevskiy@mon-arch.ru

**Аннотация.** Существует острая необходимость исследования влияния технологических и функциональных особенностей мобильных роботизированных конвейерных технологических линий на составные элементы конструкции мобильных крупногабаритных модулей. Настоящая работа направлена на исследования влияния технологических и функциональных

особенностей мобильных роботизированных конвейерных технологических линий на составные элементы конструкции мобильных крупногабаритных модулей. В настоящей работе использовались такие методы научного исследования, как анализ, синтез и дедукция, с целью обобщенной систематизации и анализа информации в рамках обозначенного направления иссле-

дования. В рамках исследований описан процесс конвейерного изготовления конструкций плоских изделий (стен) мобильных крупногабаритных модулей по технологии Группы компаний «МонАрх». Произведена классификация типов вертикальных плоских изделий, изготавливаемых индивидуально, входящих в конструкцию мобильных крупногабаритных модулей с описанием особенностей процесса изготовления. Описаны процессы изготовления стеновых панелей модулей и формирования объемной сборной конструкции модуля. Выявлены ограничения, накладываемые на конструкцию плоских изделий, изготов-

**Abstract.** There is an urgent need to study the influence of technological and functional features of mobile robotic conveyor technological lines on the structural components of mobile large-sized modules. This work is aimed at studying the influence of technological and functional features of mobile robotic conveyor production lines on the constituent elements of the design of mobile large-sized modules. In this work, we used such methods of scientific research as analysis, synthesis and deduction for the purpose of generalized systematization and analysis of information within the designated area of research. As part of the research, the process of conveyor manufacturing of structures of flat products (walls) of mobile large-sized modules using the technology of the MonArch Group of Companies is described. The classification of types of vertical flat products made individually, included in the

## Введение

Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстроем России) опубликована «Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

Одной из целей Стратегии является «формирование высокотехнологичных, конкурентоспособных отраслей строительства и жилищно-коммунального хозяйства».

При этом основной стратегической задачей является развитие экономики за счет строительной отрасли и ЖКХ [1].

Ввиду наличия огромных малоосвоенных или неосвоенных территорий РФ, строительство комбинатов по производству железобетонных изделий не представляется высокорентабельным, а следовательно, пришло время применения новых технологий строительного производства.

Выходом из сложившейся ситуации в перспективе может стать применение мобильных конвейерных роботизированных технологических линий по производству мобильных крупногабаритных модулей высокой степени заводской готовности (80–90 %) по технологии Группы компаний «МонАрх» [2–7]. Готовые модули применяются в составе модульных зданий и сооружений.

Результатами применения мобильных роботизированных технологических линий в перспективе могут стать:

- возможность организации производства и резкое увеличение объемов строительства, в том числе в труднодоступных районах страны;
- увеличение темпов строительства (в частности в ЖБ-исполнении) зданий различного назначения;
- сокращение времени ввода объектов в эксплуатацию за счет сокращения времени строительства и осуществления внутренней отделки модулей в заводских условиях;
- снижение себестоимости производства за счет применения роботизации технологических конвей-

ливаемых индивидуально. Описана взаимосвязь ограничений при проектировании конструктивно-силовых схем стен модулей с технологическими особенностями алгоритма создания жилого комплекса из мобильных крупногабаритных модулей.

**Ключевые слова:** мобильная конвейерная технологическая линия, мобильные крупногабаритные модули, конвейерное производство мобильных крупногабаритных модулей, технологическое проектирование, конструктивно-силовая схема, быстровозводимые здания, габаритные ограничения, весовые ограничения, функциональные ограничения.

design of mobile large-sized modules with a description of the features of the manufacturing process. The processes of manufacturing the wall panels of the modules and the formation of the volumetric prefabricated structure of the module are described. The limitations imposed on the design of flat products manufactured individually are revealed. The interrelation of constraints in the design of structural and power circuits of module walls with the technological features of the algorithm for creating a residential complex from large-sized modules is described.

**Keywords:** mobile conveyor technological line, mobile bulky modules, conveyor production of mobile bulky modules, technological design, structural and power scheme, prefabricated buildings, dimensional restrictions, weight restrictions, functional restrictions.

ерных линий и автоматизации технологических процессов и, как следствие, снижение рыночной стоимости для конечного потребителя.

Концепция применения мобильных роботизированных технологических линий состоит из следующих этапов:

1. Возведение быстровозводимого здания;
2. Переброска технологического оборудования и оборудования для энергетического обеспечения;
3. Обеспечение бесперебойного снабжения необходимым количеством строительных материалов;
4. Наладка серийного изготовления мобильных модулей в требуемом количестве;
5. Осуществление транспортировки на строительные площадки с использованием транспортных коммуникаций (автодорожный, речной, морской транспорт);
6. Завершение выполнения требуемой программы по застройке;
7. Переброска персонала и технологического оборудования роботизированной технологической линии в следующий пункт назначения;
8. Перепрофилирование здания бывшего мобильного завода в качестве общественно значимого объекта (торговый центр / образовательная организация / градообразующее предприятие).

Несмотря на бурное развитие и последующее освоение новейших технологий в области строительного производства, способствующие их повсеместному внедрению, следует отметить отсутствие методик по созданию облика конструктивно-силовых схем (КСС) мобильных конструкций высокой степени готовности для освоения модульного домостроения.

Таким образом, существует острая необходимость исследования влияния технологических и функциональных особенностей мобильных роботизированных конвейерных технологических линий на составные элементы конструкции мобильных крупногабаритных модулей. В первую очередь это касается конструктивно-силовых схем

стеновых конструкций модулей, поскольку они являются наиболее сложными в техническом исполнении ввиду их функционального назначения (обеспечение несущей способности конструкции здания).

#### Материалы и методы

В настоящей работе использовались такие методы научного исследования, как анализ, синтез и дедукция, с целью обобщенной систематизации и анализа информации в рамках обозначенного направления исследования. Настоящая работа направлена на исследование влияния технологических и функциональных особенностей мобильных роботизированных конвейерных технологических линий на составные элементы конструкции мобильных крупногабаритных модулей. Источниками информации, позволившими выполнить исследование, послужили нормативные документы, общедоступные информационные ресурсы, научные работы [8–23], внутренние документы Группы компаний «МонАрх», включая конструкторско-технологическую документацию и отчеты о достигнутых результатах.

#### Результаты

Для формирования детального перечня ограничений, формирующихся ввиду технологических и функциональных особенностей мобильных конвейерных технологических линий, и исследования их влияния на формирование обливо конструктивно-силовых схем стен мобильных крупногабаритных модулей, необходимо описать алгоритм проектирования зданий и дорог жилого комплекса из мобильных крупногабаритных модулей, который представлен на рисунке 1.

На этапе разработки архитектурно-планировочных решений мобильных крупногабаритных модулей осуществляется формирование конструктивно-силовых схем стен мобильных крупногабаритных модулей. На данном этапе



Рис. 1. Алгоритм проектирования зданий и дорог жилого комплекса из мобильных крупногабаритных модулей  
Fig. 1. Algorithm for designing buildings and roads of a residential complex from mobile large-sized modules

необходимо осуществить учет полного перечня ограничений, формирующегося ввиду технологических и функциональных особенностей мобильных конвейерных технологических линий.

При этом следует учитывать, что стеновые панели модулей могут иметь следующее конструктивное исполнение:

- трехслойные – стеновые панели, представляющие собой железобетонную раму с внутренним заполнением в виде двух железобетонных плит – диафрагм, объединенных системой внутренних вертикальных и горизонтальных ребер, опалубкой для которых служат теплоизоляционные вкладыши (рисунок 2);
- двухслойные – стеновые панели, представляющие собой железобетонную раму с внутренним заполнением в виде железобетонной плиты – диафрагмы, объединенной с системой внутренних вертикальных и горизонтальных ребер, опалубкой для которых служат теплоизоляционные вкладыши (рисунок 3);
- однослойные без внутреннего заполнения – стеновые панели, представляющие собой железобетонную раму без внутреннего заполнения (рисунок 4).



Рис. 2. Регулярная зона трехслойной конструктивно-силовой схемы монолитной стены сборного мобильного крупногабаритного модуля

Fig. 2. Regular zone of a three-layer structural-power scheme of a monolithic wall of a prefabricated mobile large-sized module



Рис. 3. Регулярная зона двухслойной конструктивно-силовой схемы монолитной стены сборного мобильного крупногабаритного модуля

Fig. 3. Regular zone of a two-layer structural-power scheme of a monolithic wall of a prefabricated mobile large-sized module

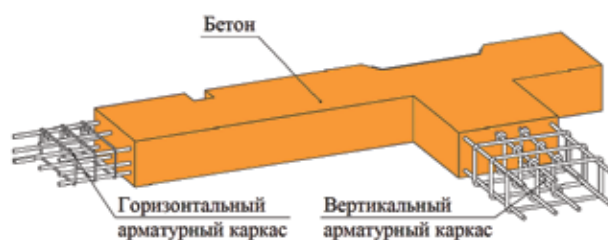


Рис. 4. Характерный сегмент железобетонной рамы  
Fig. 4. Characteristic segment of reinforced concrete frame

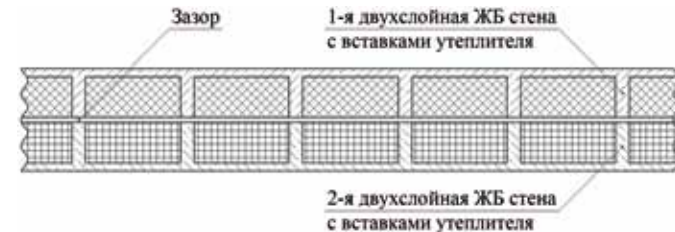


Рис. 5. Первый вариант  
Fig. 5. First option

Трехслойные стеновые панели (рисунок 2) применяются в стенах модулей с фасадами, а также в качестве внутренних межквартирных стен.

Двухслойные стеновые панели применяются в модулях смежных секций, а также в температурных швах (рисунок 5).

Для исключения двойных стен в здании в смежных жилых модулях и жилых модулях, смежных с ЛЛУ (лестнично-лифтовыми узлами) и МОП (местами общего пользования), в одном модуле применяются трехслойные стеновые панели (рисунок 2), в другом – однослойные (рисунок 4) без внутреннего заполнения (рисунок 6).

На рисунке 7 представлен алгоритм изготовления сборных железобетонных конструкций мобильных крупногабаритных модулей.



Рис. 6. Второй вариант  
Fig. 6. Second option

Как видно из рисунка 7, процесс создания сборной железобетонной конструкции мобильного крупногабаритного модуля, изготавливаемого на мобильной конвейерной технологической линии, накладывает ряд ограничений, касающихся обеспечения бесперебойного функционирования конвейерной линии, обеспечения необходимого количества производимой продукции, а также наличия специфических элементов конструкций, в том числе входящих в конструктивно-силовые схемы монолитных стен. Процесс изготовления стеновых панелей мобильных крупногабаритных модулей на рисунке 7 выделен красной рамкой, а процесс формирования объемной сборной конструкции мобильного крупногабаритного железобетонного модуля выделен синей рамкой. Таким образом, в выделенных подпунктах необходимо осуществить форми-

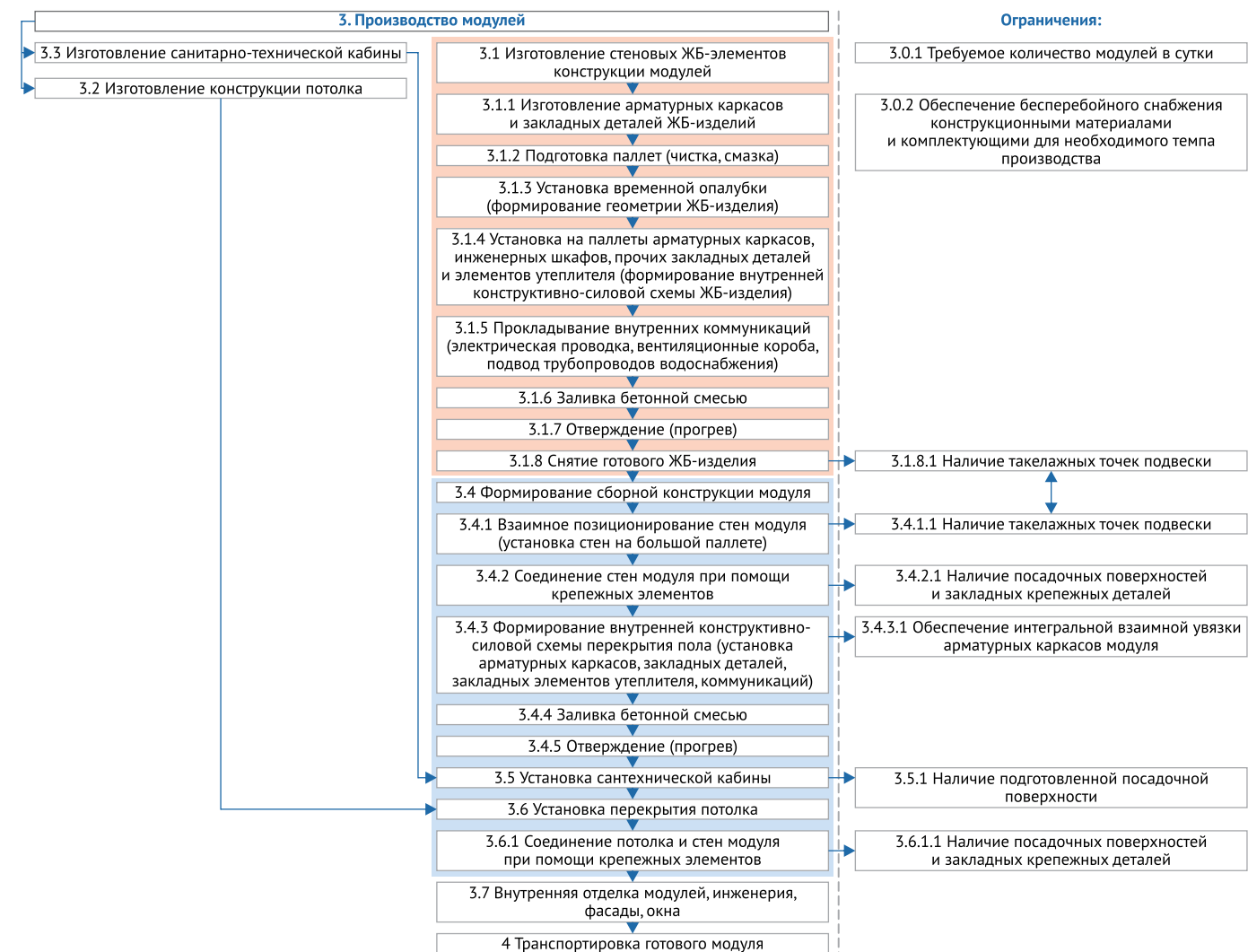


Рис. 7. Алгоритм изготовления сборных железобетонных конструкций мобильных крупногабаритных модулей на мобильных конвейерных технологических линиях  
Fig. 7. Algorithm for the manufacture of prefabricated reinforced concrete structures of mobile large-sized modules on mobile conveyor production lines

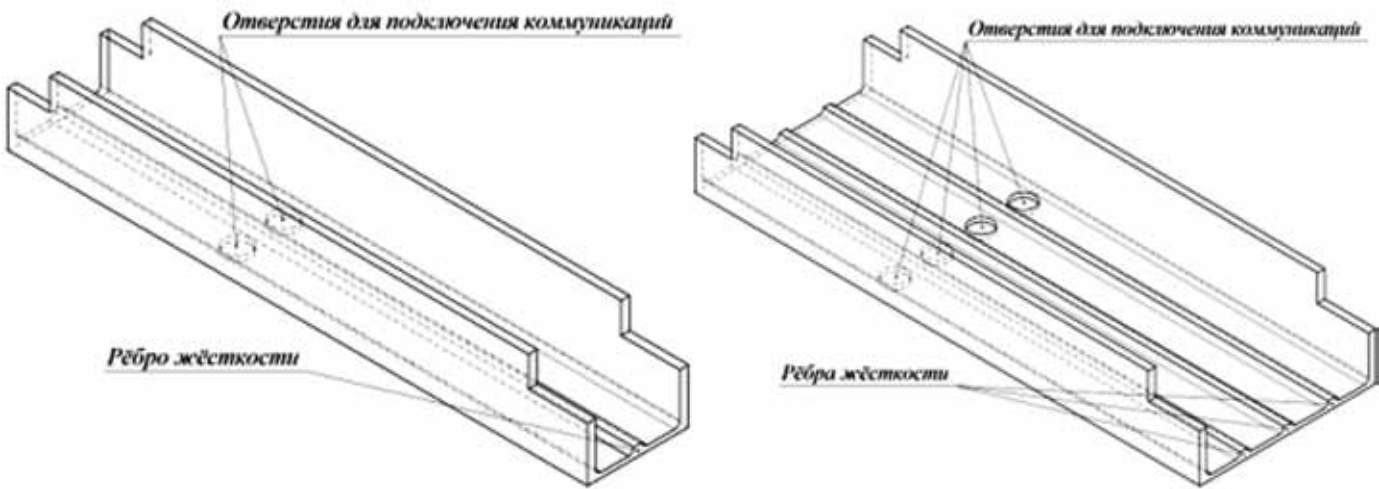


Рис. 8. Узкий (слева) и широкий (справа) инженерные шкафы  
Fig. 8. Narrow (left) and wide (right) engineering blocks

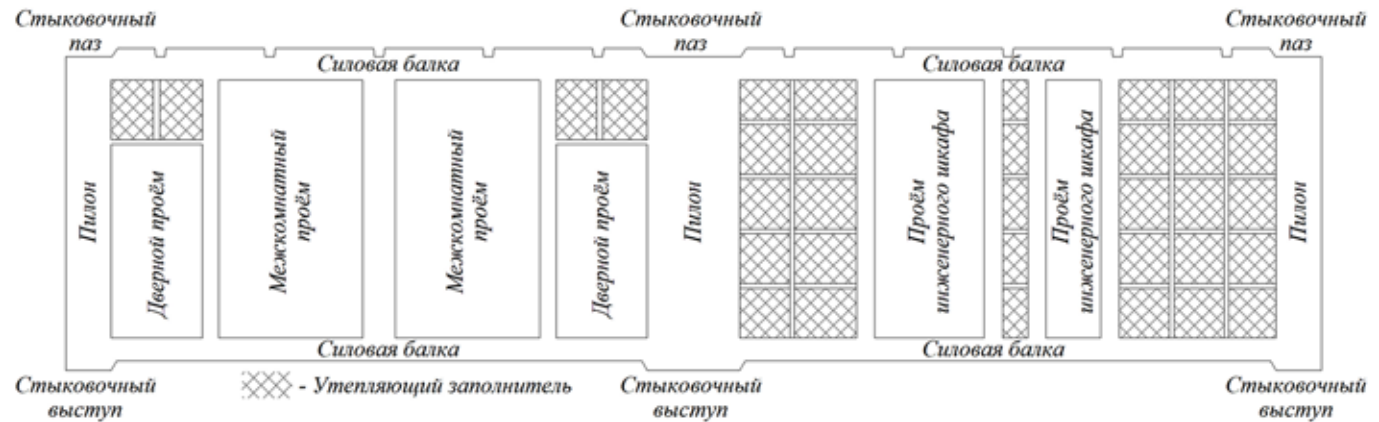


Рис. 9. Стеновая панель А  
Fig. 9. Wall panel A

рование специфических конструкторско-технологических решений, обеспечивающих возможность создания на мобильных конвейерных технологических линиях.

Для описания типового процесса изготовления сборной железобетонной конструкции мобильного крупногабаритного модуля на мобильной конвейерной технологической линии рассмотрим пример конструкции крупногабаритного модуля длиной 13 770 мм, шириной 6 880 мм и высотой 3 545 мм, изготовленного в 2022 году на экспериментальном заводе комбината инновационных технологий «МонАрх».

На рисунке 8 представлены общие виды железобетонных инженерных шкафов, изготавливаемых индивидуально.

На рисунке 9 и рисунке 10 представлен общий вид основных элементов стеновой панели мобильного крупногабаритного модуля с интегрированными инженерными шкафами.

На рисунке 11 и рисунке 12 представлены общие виды основных элементов стеновых панелей мобильных крупногабаритных модулей, изготавливаемых индивидуально. После завершения изготовления несущих стеновых

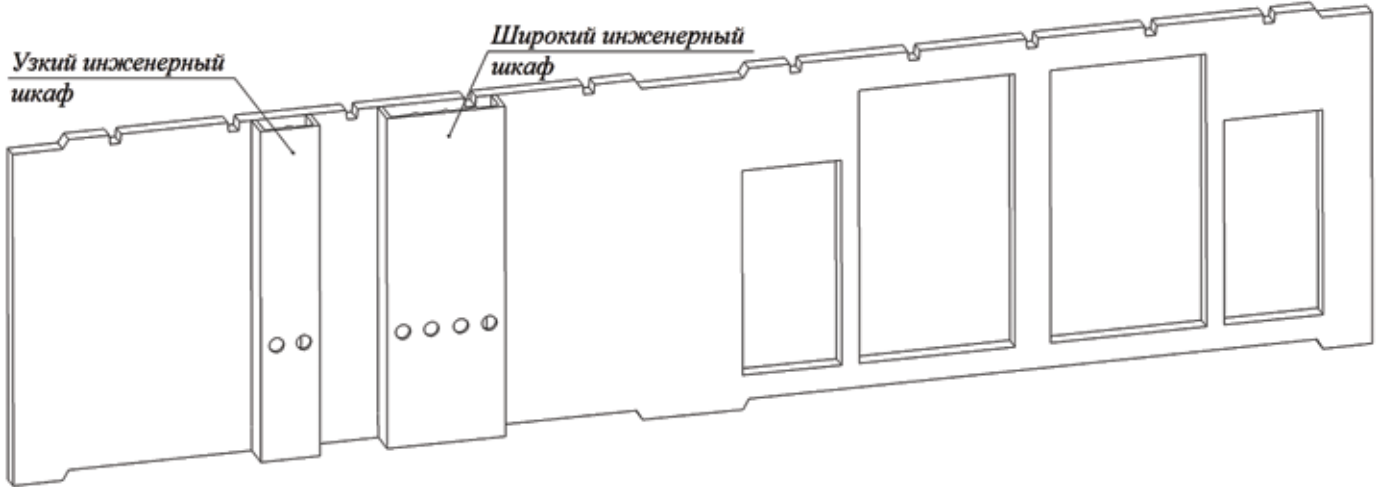


Рис. 10. Стеновая панель А: вид с внутренней стороны  
Fig. 10. Wall panel A: view from the inside

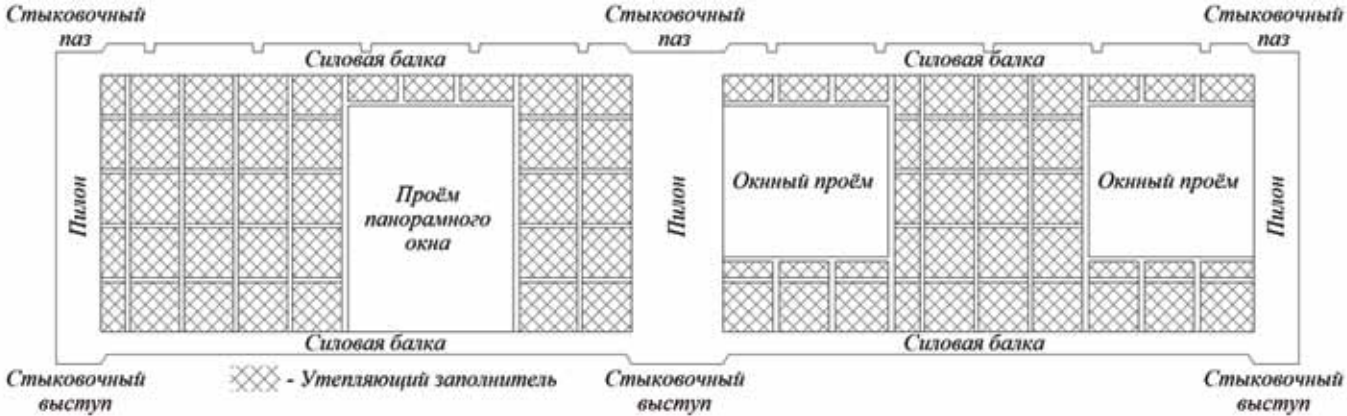


Рис. 11. Стеновая панель Б  
Fig. 11. Wall panel B

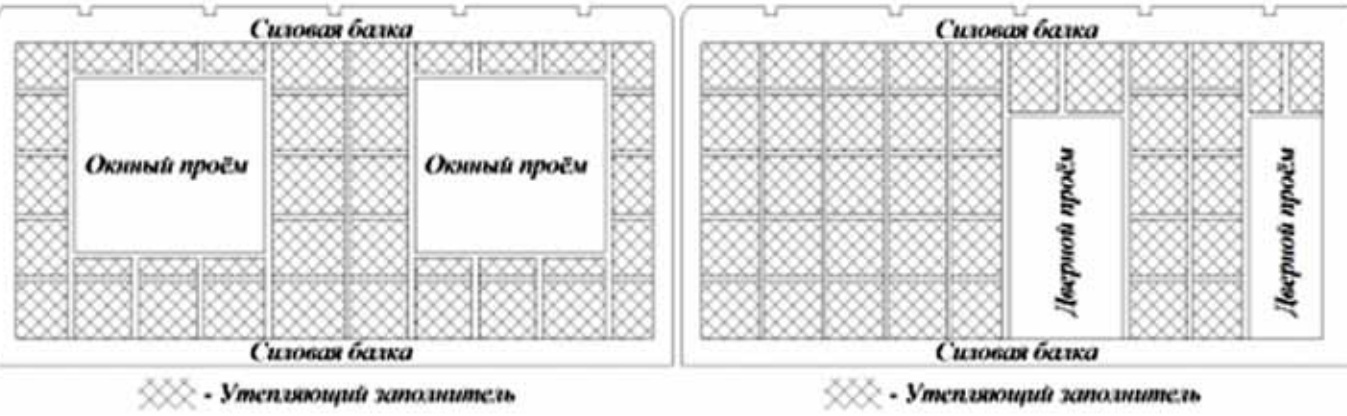


Рис. 12. Стеновая панель В (слева) и Г (справа)  
Fig. 12. Wall panel V (left) and G (right)

панелей мобильного крупногабаритного модуля осуществляется их подъем за такелажные элементы при помощи специализированных захватов [24] и их скрепление между собой при помощи крепежных изделий, через заранее отформованные отверстия – осуществляется формирование сборной объемной конструкции.

После стыковки стеновых панелей осуществляется изготовление интегрированной плиты перекрытия (рисунок 13). Для изготовления перекрытия на паллете устанавливается специальная опалубка, демонтируемая после набора отпускной прочности бетона. Арматурные каркасы перекрытия пола пропускаются через заранее отформованные в стеновых панелях технологические отверстия (на рисунках не обозначены). Несущие стены мобильного крупногабаритного модуля и закладные элементы утеплителя (на рисунках не обозначены) при этом

используются в качестве несъемной опалубки. Также при помощи съемных закладных элементов осуществляется формирование стыковочной поверхности для дальнейшей установки санитарно-технической кабины. Далее осуществляется заливка перекрытия пола бетонной смесью, с последующим управляемым технологическим процессом отверждения.

После окончания прогрева плиты перекрытия пола на заранее отформованные в несущих стенах контактные площадки (рисунок 14) осуществляются установка облегченной плиты потолочного перекрытия [4] (рисунок 15) и скрепление короба мобильного крупногабаритного модуля с плитой потолочного перекрытия при помощи крепежных элементов и закладных элементов конструкции несущих стен. В результате всех проведенных технологических операций получается готовый кон-

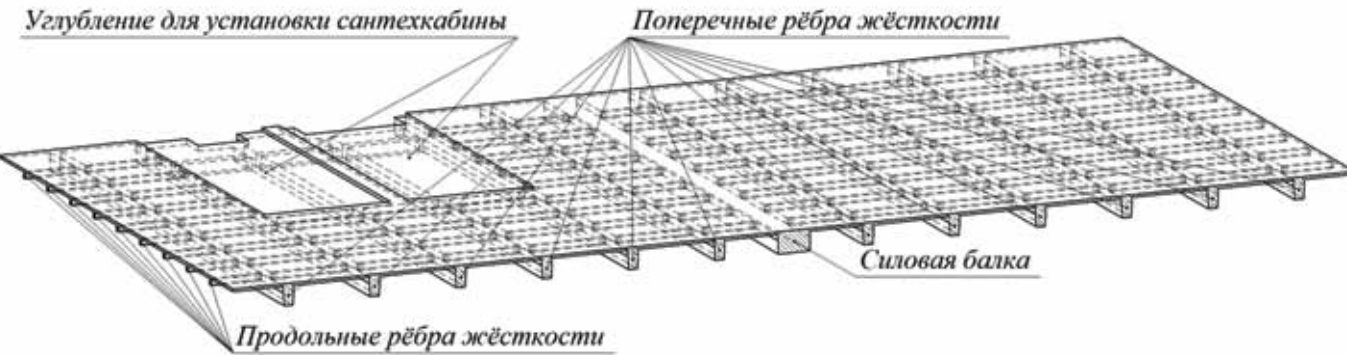


Рис. 13. Общий вид интегрированной конструкции перекрытия (пола) без стеновых панелей модуля  
Fig. 13. General view of the integrated floor structure without module wall panels



Рис. 14. Общий вид мобильного крупногабаритного модуля до установки потолочной плиты и монтажа перегородок и сантехкабин

Fig. 14. General view of the mobile large-sized module before the installation of the ceiling plate and the installation of partitions and sanitary cabins

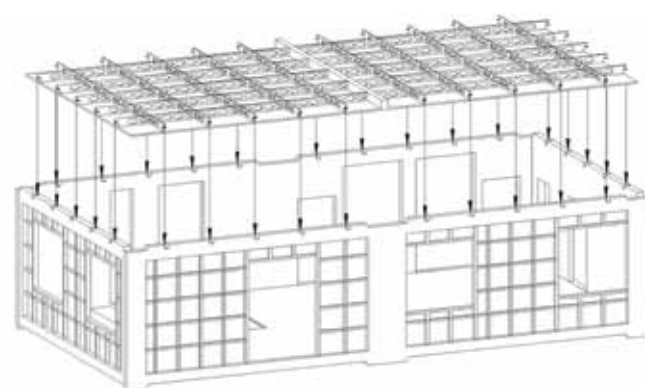


Рис. 15. Установка потолочной плиты перекрытия  
Fig. 15. Ceiling slab installation

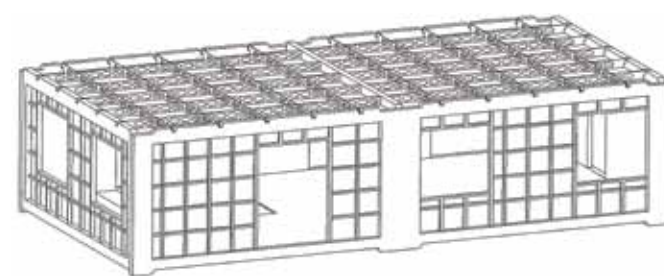


Рис. 16. Общий вид мобильного крупногабаритного модуля в сборе (элементы теплоизоляции, перегородки и сантехкабины условно не показаны)

Fig. 16. General view of the assembled mobile large-sized module (thermal insulation elements, partitions and sanitary cabins are conventionally not shown)

структивно-силовой мобильный крупногабаритный модуль (рисунок 16).

Далее осуществляется перемещение готовой конструкции по конвейерной линии, где проводятся внутренние отделка и прокладка дополнительных коммуникаций.

#### Обсуждение

С целью осуществления необходимого темпа производства модулей при помощи мобильной конвейерной технологической линии необходимо обеспечить его бесперебойное снабжение конструкционными материалами и комплектующими. В связи с данным обстоятельством на этапе детального проектирования КСС мобильных модулей и их составных элементов (в том числе стен), архитектору необходимо руководствоваться доступностью конструкционных материалов в регионе расположения мобильной конвейерной технологической линии.

КСС стен мобильных модулей должна обеспечивать:

- наличие такелажных точек подвески, необходимых как в процессе производства модулей, так и в процессе их монтажа в конструкцию здания;
- наличие посадочных поверхностей в зонах стыков стен модулей;
- наличие закладных крепежных деталей;
- наличие заранее отформованных отверстий с целью обеспечения интегральной взаимной увязки арматурных каркасов элементов конструкции модуля;

- наличие подготовленных посадочных поверхностей для установки внутри модулей крупногабаритных элементов конструкции (например, сантехническая кабина);
- наличие закладных крепежных деталей (для обеспечения скрепления стен модулей);
- учет ограничений габаритных размеров готовых конструкций модулей ввиду ограничений транспортных операций по перевозке модулей с места производства до места осуществления строительства зданий (автомобильным, речным, морским транспортом);
- учет ограничений веса готовых конструкций модулей (ТТХ транспортных средств, при помощи которых планируется осуществлять транспортировку);
- наличие закладных элементов конструкции в стенах модулей, являющихся внешними стенами модульных зданий, для обеспечения ускорения установки внешних фасадов зданий;
- наличие интегрированных в конструкцию стен модулей инженерных шкафов, необходимых для прокладки коммуникаций.

#### Заключение

Аспекты технологического проектирования, рассмотренные в статье, позволят архитектору спроектировать конструктивно-силовую схему монолитных стен мобильных крупногабаритных модулей, с учетом влияния техно-

логических и функциональных особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий, применение которых в перспективе может позволить осуществить один из шагов по достижению целей «Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года // Минстрой России : [официальный сайт]. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/> (дата обращения: 20.07.2022).
2. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А. Способ изготовления крупногабаритного готового объемного модуля и способ строительства здания из крупногабаритных готовых объемных модулей / Патент на изобретение № 2712845 от 31.01.2020. – Москва : Роспатент, 2020.
3. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А. Способ производства объемного модуля / Патент на изобретение № 2715781 от 03.03.2020. – Москва : Роспатент, 2020.
4. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А. Плита перекрытия и способ ее изготовления / Патент на изобретение № 2738049 от 07.12.2020. – Москва : Роспатент, 2020.
5. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А. Способ изготовления лестничного объемного модуля / Патент на изобретение № 2747028 от 23.04.2021. – Москва : Роспатент, 2021.
6. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А. Способ изготовления лифтового узла / Патент на изобретение № 2747091 от 26.04.2021. – Москва : Роспатент, 2021.
7. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А., Стоянчук, Ю. С., Агарцев, Е. В., Пахомова, Л. А. Автоматическая траверса / Патент на изобретение № 2749677 от 16.06.2021. – Москва : Роспатент, 2021.
8. Самсонова, М. Г. История и тенденции развития объемно-блочного домостроения в России и за рубежом / М. Г. Самсонова, Э. Е. Семёнова // Высокие технологии в строительном комплексе. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2019. – № 2. – С. 37–43. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41672663>.
9. Пахомова, Л. А. Комфортное жилье нового индустриального поколения / Л. А. Пахомова, П. П. Олейник // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 23–28.
10. Лукьянко, Л. А. Модульное строительство как современное направление возведения доступного жилья / Л. А. Лукьянко, Ю. В. Артемьева, Н. И. Шайбакова // Социально-экономическое управление: теория и практика. – Ижевск : Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 2018. – № 2 (33). – С. 102–106. – URL: <https://www.elibrary.ru/Lapiitem.asp?id=35147434>.
11. Захарова, М. В. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии / М. В. Захарова, А. Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 148–155. – URL: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.1.13>.
12. Липидус, А. А. Исследование комплексного показателя качества выполнения работ при возведении строительного объекта / А. А. Липидус, Я. В. Шестерикова // Современная наука и инновации. – 2017. – № 3. – С. 161–167.
13. Андрыш, М. А. Модульное строительство / М. А. Андрыш //

#### REFERENCES

1. Proekt strategii razvitiya stroitel'noj otrasli i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda [Draft strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035] // Minstroy Rossii : [Ministry of Construction of Russia : [official website]]. –

Это, в свою очередь, может поспособствовать решению стратегической задачи по восстановлению экономики за счет строительной отрасли и ЖКХ, увеличить рентабельность строительной отрасли, а также может поспособствовать решению кадрового вопроса в строительной отрасли.

- Colloquium-journal. – 2022. – № 17 (140). – С. 6–7. – URL: <https://doi.org/10.244123/2520-6990-2022-17140-4-5>.
14. Мотылев, Р. В. Анализ системы документирования строительного контроля в сравнении с зарубежными подходами / Р. В. Мотылев, А. С. Карпушкин. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-87-95 // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 6 (89). – С. 87–95.
15. Intelligent Novel IMF D-SWARA-Rough MARCOS Algorithm for Selection Construction Machinery for Sustainable Construction of Road Infrastructure / B. Matić, M. Marinković, S. Jovanović, S. Sremac, Ž. Stević // Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P. 1059. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12071059>.
16. Rehman, M. S. U. Automated Computer Vision-Based Construction Progress Monitoring: A Systematic Review / M. S. U. Rehman, M. T. Shafiq, F. Ullah // Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P. 1037. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12071037>.
17. Заятдинов, Г. В., Модульное строительство в России // Colloquium-journal. – 2021. – № 15 (102). – С. 4–5. – URL: <https://doi.org/10.244123/2520-6990-2021-15102-4-5>.
18. Проектирование зданий, проектные работы, быстровозводимые здания в Красноярске и Сибири // Стройтрейдинг : [электронный ресурс]. – Красноярск, 2014. – URL: <http://stroy-trading.ru/information/article/469> (дата обращения: 14.12.2015).
19. Хубаев, А. О. Мировая практика в области модульного строительства / А. О. Хубаев, С. С. Саакян, Н. В. Макаев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 99–108. – URL: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.2.09>.
20. Terzioglu, T. Formwork System Selection in Building Construction Projects Using an Integrated Rough AHP-EDAS Approach: A Case Study / T. Terzioglu, G. Polat // Buildings. – 2022. – № 12 (8). – P. 1084. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12081084>.
21. Акрстиний, В. А. Анализ реализуемых методов строительно-технической экспертизы проектной документации / В. А. Акрстиний, Д. А. Жарков // Integral. – 2019. – № 4–2. – С. 16.
22. Баркалов, С. А. Оперативно-организационное управление в автоматизированных цехах производства объемно-блочных изделий / С. А. Баркалов, В. Е. Белоусов, З. Б. Тутаришев // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 67–73.
23. Об утверждении Требований к архитектурно-градостроительным решениям многоквартирных жилых зданий, проектирование и строительство которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы : Постановление Правительства Москвы № 305-ПП от 21.05.2015 : вступает в силу со дня его подписания / Официальный сайт Правительства Москвы. – URL: <http://www.mos.ru>.
24. Амбарцумян, С. А., Мещеряков, С. А., Агарцев, Е. В., Горбачевский, В. П. Грузозахватное устройство / Патент на изобретение № 2751379 от 13.07.2021. – Москва : Роспатент, 2021.

URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/> (date of application: 20.07.2022).

2. Ambartsumyan, S. A., Meshcheryakov, S. A. Sposob izgotovleniya krupnogabaritnogo gotovogo ob'yomnogo modulya i sposob stroitel'stva zdaniya iz krupnogabaritnykh gotovykh ob'yomnykh module [Method of manufacturing a large-sized ready-made volumetric module and a method of building construction from large-sized ready-made volumetric

Технология винтовой и болтовой сборки железобетонных элементов полносборных, монолитных и сборно-монолитных зданий в условиях Ирака

The Technology of Screw Assembly of Reinforced Concrete Elements of Fully Prefaced Buildings in Iraq

Аль-Хабиб Ахмед Али Хуссейн

Аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, abojaber877@gmail.com

Al-Habeeb Ahmed Ali Hussein

Postgraduate student of the Department of Industrial, Civil Engineering and Real Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 19, abojaber877@gmail.com

Аннотация.

**Цель.** Предложена инновационная разработка различных моделей винтового соединения строительных элементов и бетонных конструкций для повышения эффективности с точки зрения скорости и энергопотребления.

**Методы.** Методические разработки направлены на создание новой, высокоскоростной, высококачественной, высокотехнологичной и энергоэффективной системы для строительства быстровозводимых полносборных и сборно-монолитных зданий и сооружений заводского изготовления с использованием винтовых и болтовых соединений между элементами конструкции.

**Результаты.** Сделаны необходимые расчеты для энергозатрат предлагаемых строительных систем и проведено сравнение между пятью разработанными системами для выбора системы, имеющей меньшие затраты энергии в технологических

Abstract.

**Purpose.** The purpose of this article is to propose an innovative development of various models of screw connection of building elements and concrete structures to improve efficiency in terms of speed and power consumption.

**Methods.** The aim of methodological developments is to create a new, high-speed, high-quality, high-tech, and energy-efficient system for the construction of prefabricated and precast-monolithic prefabricated buildings using screw and bolt connections between structural elements.

**Results.** The necessary calculations were made for the energy costs of the proposed building systems and a comparison was made between the five developed systems to select a system that has lower energy costs in technological processes during installation.

Введение

В Ираке до сих пор используются традиционные методы строительства, а именно монолитные строительные системы, возведение которых на строительных площадках осуществляется в длительные сроки, под воздействием высоких температур, которые летом могут превышать 50 °C (таблица 1).

Следует также принимать во внимание, что разрушенная в результате предыдущих боевых действий и бездействия строительного сектора инфраструктура не соответствует требованиям реального прироста населения, проживающего в Ираке (рисунок 1) [2].

Причины, упомянутые выше, ясно указывают на то, что Ирак должен перейти от практики нынешних строительных систем к строительству быстровозводимых зданий, что в значительной степени будет способствовать

процессам при монтаже.

**Выводы.** Современные винтовые системы характеризуются скоростью реализации, что приводит к ускорению строительного монтажа. С уменьшением количества соединений уменьшаются «мокрые» и сварочные работы, снижается трудоемкость за счет максимального использования механизации. В совокупности все это приводит к получению технологичных и энергоэффективных решений, обеспечивая перспективный уровень строительства, основанный на использовании технологических процессов, ускоряющих монтаж элементов конструкции в иракских условиях. В результате сравнения выяснилось, что системой с наименьшими энергозатратами из пяти разработанных систем является система КУБ–2.5.

**Ключевые слова:** полносборное здание, сборно-монолитная система, железобетонная конструкция, винтовое и болтовое соединение, энергозатраты, условия Ирака.

**Conclusions.** The conclusions show modern screw systems, characterized by the speed of implementation, which leads to an acceleration of the

By comparison, it turned out that the system with the lowest energy consumption of the five developed systems is the KUB–2.5 system. Installation of the building; decrease in the number of connections; reduce «wet» and welding work; to reduce labor intensity by maximizing the use of mechanization.

All this leads to obtaining manufacturability and energy efficiency of advanced level solutions in construction, based on the use of technological processes that accelerate the installation of structural elements in Iraqi conditions.

**Keywords:** prefabricated buildings, prefabricated monolithic systems, reinforced concrete structures, screw and bolt connection, energy costs, conditions in Iraq.



Рис. 1. Увеличение численности населения в Ираке  
Fig. 1. Increase in the population in Iraq

modules] / Patent na izobretenie № 2712845 ot 31.01.2020 [Patent for invention No. 2712845 dated 31.01.2020]. – Moscow : Rospatent, 2020.

3. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A. Sposob proizvodstva ob'emnogo modulya [Method of production of a volumetric module] / Patent na izobretenie № 2715781 ot 03.03.2020 [Patent for invention No. 2715781 dated 03.03.2020]. – Moscow : Rospatent, 2020.

4. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A. Plita perekrytiya i sposob ee izgotovleniya [Floor slab and method of its manufacture] / Patent na izobretenie № 2738049 ot 07.12.2020 [Patent for invention No. 2738049 dated 07.12.2020]. – Moscow : Rospatent, 2020.

5. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A. Sposob izgotovleniya lestnichnogo ob'yomnogo modulya [Method of manufacturing a ladder volumetric module] / Patent na izobretenie № 2747028 ot 23.04.2021 [Patent for invention No. 2747028 dated 04/23/2021]. – Moscow : Rospatent, 2021.

6. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A. Sposob izgotovleniya liftovogo uzla [Method of manufacturing an elevator assembly] / Patent na izobretenie № 2747091 ot 26.04.2021 [Patent for invention No. 2747091 dated 04/26/2021]. – Moscow : Rospatent, 2021.

7. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A., Stoyanchuk, Y. S., Agartsev, E. V., Pakhomova, L. A. Avtomaticheskaya traversa [Automatic traverse] / Patent na izobretenie № 2749677 ot 16.06.2021 [Patent for invention No. 2749677 dated 06/16/2021]. – Moscow : Rospatent, 2021.

8. Samsonova, M. G. Istoriya i tendentsii razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya v Rossii i za rubezhom [History and trends in the development of bulk-block housing construction in Russia and abroad] / M. G. Samsonova, E. E. Semyonova // Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse [High technologies in the construction complex]. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Voronezh State Technical University], 2019. – № 2. – P.37–43. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41672663>.

9. Pakhomova, L. A. Komfortnoe zhil'e novogo industrial'nogo pokoleniya [Comfortable housing of the new industrial generation] / L. A. Pakhomova, P. P. Olejnik // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 2. – P.23–28.

10. Luk'yan'ko, L. A. Modul'noe stroitel'stvo kak sovremennoe napravlenie vozvedeniya dostupnogo zhil'ya [Modular construction as a modern direction of affordable housing construction] / L. A. Luk'yan'ko, Y. V. Artem'eva, N. I. Shajbakova // Sotsial'no-ehkonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika [Socio-economic management: theory and practice]. – Izhevsk : Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. M. T. Kalashnikova [Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov], 2018. – № 2 (33). – P.102–106. – URL: <https://www.elibrary.ru/Lapiitem.asp?id=35147434>.

11. Zakharova, M. V. Opyt stroitel'stva zdaniy i sooruzhenij po modul'noj tekhnologii [Experience in the construction of buildings and structures using modular technology] / M. V. Zakharova, A. B. Ponomarev // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of PNRPU. Construction and architecture]. – 2017. – № 1. – P.148–155. – URL: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.1.13>.

12. Lapidus, A. A. Issledovanie kompleksnogo pokazatelya kachestva vypolneniya rabot pri vozvedenii stroitel'nogo ob'ekta [The study of a complex indicator of the quality of work performed during the construction of a construction object] / A. A. Lapidus, Y. V. Shesterikova // Sovremennaya nauka i innovatsii [Modern science and innovation]. – 2017. – № 3. – P.161–167.

13. Andrysh, M. A. Modul'noe stroitel'stvo [Modular construction] / M. A. Andrysh // Colloquium-journal. – 2022. – № 17 (140). – P. 6–7. – URL: <https://doi.org/10.244123/2520-6990-2022-17140-4-5>.

14. 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. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-87-95 // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2021. – № 6 (89). – P.87–95.

15. Intelligent Novel IMF D-SWARA–Rough MARCOS Algorithm for Selection Construction Machinery for Sustainable Construction of Road Infrastructure / B. Matić, M. Marinković, S. Jovanović, S. Sremac, Ž. Stević // Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P.1059. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12071059>.

16. Rehman, M. S. U. Automated Computer Vision-Based Construction Progress Monitoring: A Systematic Review / M. S. U. Rehman, M. T. Shafiq, F. Ullah // Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P.1037. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12071037>.

17. Zayatdinov, G. V., Modul'noe stroitel'stvo v Rossii [Modular construction in Russia] // Colloquium-journal. – 2021. – № 15 (102). – P.4–5. – URL: <https://doi.org/10.244123/2520-6990-2021-15102-4-5>.

18. Proektirovanie zdaniy, proektnye raboty, bystrovovzvodimye zdaniya v Krasnoyarske i Sibiri [Building design, design works, prefabricated buildings in Krasnoyarsk and Siberia] // Strojtrehding [Stroytrading : [electronic resource]]. – Krasnoyarsk, 2014. – URL: <http://stroy-trading.ru/information/article/469> (data obrashheniya: 14.12.2015).

19. Khubaev, A. O. Mirovaya praktika v oblasti modul'nogo stroitel'stva [World practice in the field of modular construction] / A. O. Khubaev, S. S. Saakyan, N. V. Makaev // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of PNRPU. Construction and architecture]. – 2020. – T. 11, № 2. – P.99–108. – URL: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.2.09>.

20. Terzioglu, T. Formwork System Selection in Building Construction Projects Using an Integrated Rough AHP-EDAS Approach: A Case Study / T. Terzioglu, G. Polat // Buildings. – 2022. – № 12 (8). – P.1084. – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings12081084>.

21. Akristinij, V. A. Analiz realizuemykh metodov stroitel'no-tekhnicheskoy ehkspertizy proektnoj dokumentatsii [Analysis of implemented methods of construction and technical expertise of project documentation] / V. A. Akristinij, D. A. Zharkov // Integral. – 2019. – № 4–2. – P.16.

22. Barkalov, S. A. Operativno-organizatsionnoe upravlenie v avtomatizirovannykh tsekhakh proizvodstva ob'emno-blochnykh izdelij [Operational and organizational management in automated workshops for the production of bulk-block products] / S. A. Barkalov, V. E. Belousov, Z. B. Tutarishev // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 2. – P.67–73.

23. Ob utverzhdenii Trebovanij k arkhitekturno-gradostroitel'nyh resheniyam mnogokvartirnykh zhilykh zdaniy, proektirovanie i stroitel'stvo kotorykh osushhestvlyaetsya za schet sredstv byudzheta goroda Moskvy [On approval of Requirements for architectural and urban planning solutions of multi-apartment residential buildings, the design and construction of which is carried out at the expense of the budget of the city of Moscow] : Postanovlenie Pravitel'stva Moskvy № 305-PP ot 21.05.2015 [Decree of the Government of Moscow No. 305-PP dated 21.05.2015] : vstupayet v silu so dnya ego podpisaniya [comes into force from the date of its signing] / Ofitsial'nyj sayt Pravitel'stva Moskvy [Official website of the Government of Moscow]. – URL: <http://www.mos.ru>.

24. Ambartsumyan, S. A., Meshheryakov, S. A., Agartsev, E. V., Gorbachevskij, V. P. Gruzozakhatnoe ustrojstvo [Cargo handling device] / Patent na izobretenie № 2751379 ot 13.07.2021 [Patent for invention No. 2751379 dated 13.07.2021]. – Moscow : Rospatent, 2021.

|                     | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь |
|---------------------|--------|---------|------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|
| Дневная температура | 18°C   | 20°C    | 26°C | 32°C   | 38°C | 43°C | 47°C | 47°C   | 43°C     | 34°C    | 24°C   |
| Ночная температура  | 5°C    | 7°C     | 12°C | 16°C   | 21°C | 24°C | 29°C | 28°C   | 24°C     | 18°C    | 10°C   |
| Дождливые дни       | 2      | 8       | 6    | 2      | 0    | 0    | 0    | 0      | 0        | 3       | 2      |
| Снежные дни         | 0      | 0       | 0    | 0      | 0    | 0    | 0    | 0      | 0        | 0       | 0      |

Табл. 1. Среднемесячные температуры в Багдаде в 2015–2022 гг.  
Tab. 1. Average monthly temperatures in Baghdad in 2015–2022

ускорению темпов строительства и роста отрасли, как в развитых странах [1].

Анализ энергоэффективных разработок в строительной отрасли показал, что важными факторами повышения энергетической эффективности в этой сфере являются техника и способы соединения сборных железобетонных элементов, с учетом минимизации затрат на технологические процессы и средства их механизации.

В статье описывается изобретенное сухое механическое винтовое соединение «male–female» для железобетонных сборных каркасов. Предлагаемое сухое механическое соединение имеет цилиндрическую внешнюю резьбу, предполагающую соединение с ограничением крутящего момента для систем «колонна–колонна».

**Методы винтового и болтового соединений железобетонных элементов**

Разработанное контактное резьбовое соединение сборных железобетонных колонн состоит из верхней и нижней колонн со стальной внешней и внутренней резьбой цилиндрической формы в нижней и верхней частях колонн. Для монтажа колонны выбирается плановая отметка нижней концевой секции верхней колонны, при этом верхняя колонна опускается и привинчивается к нижней колонне, закручивание происходит по всей контактной поверхности за счет резьбы, а верхняя колонна одновременно погружается, и стыки между элементами закрепляются.

Профили колонн должны совпадать в конце монтажа.

Поскольку разработанные методики монтажа не имеют аналогов, предложенные резьбовые соединения между железобетонными колоннами требуют проверки на реальные усилия и нагрузки, таким образом, необходимы подтверждающие расчеты для определения вертикальных сил и изгибающих моментов, действующих на разработанные винтовые колонны (рисунок 2).

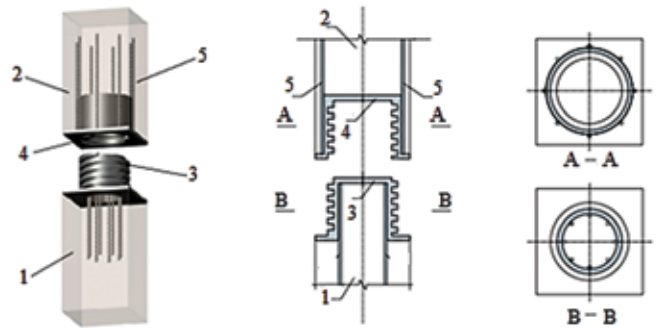


Рис. 2. Контактное винтовое соединение сборных железобетонных колонн: 1 – верхняя колонна, 2 – нижняя колонна, 3 – цилиндрическая наружная резьба, 4 – цилиндрическая внутренняя резьба, 5 – продольный рабочий стержень  
Fig. 2. Contact screw connection of precast concrete columns: 1 – upper column, 2 – lower column, 3 – cylindrical external thread, 4 – cylindrical internal thread, 5 – longitudinal working rod

Выбрано 16-этажное здание на 60 квартир с подвалом, имеющее прямоугольную форму, в плане 51 x 21 м, общая высота здания 48 м, высота этажа 3 м и высота подвала 2,4 м. Были определены вертикальные силы и изгибающие моменты, действующие на разработанные винтовые колонны.

Определены и рассчитаны нагрузки (постоянная нагрузка, временная нагрузка, ветровая нагрузка), действующие на конструкции здания. После проведения расчетов получаем величины вертикальной силы ( $N$ ) и изгибающего момента ( $M$ ) колонны № 3, как показано на рисунке 4, которые будут применяться при исследовании (рисунок 3).

Необходимо рассчитать и запроектировать базу силовой внецентренно сжатой колонны на расчетные усилия  $N = 1530$  кН,  $M = 180$  кНм, согласно формуле:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq (Rb \cdot \gamma_c), \quad (1)$$

где  $A$  – площадь сечения колонны;  $N$  – вертикальные нагрузки;  $M$  – изгибающий момент;  $W$  – момент сопротивления сечения;  $\sigma$  – максимальное и минимальное значения давления;  $Rb$  – нормативные значения сопротивления бетона, согласно СП «Бетонные и железобетонные конструкции»;  $\gamma_c = 0,75$  при классе бетона по прочности на сжатие  $B30 = 22$  Мпа.

После проведения расчетов получаем:  
 $\sigma_{max} = 14,76$  МПа ( $Rb \cdot \gamma_c = 16,5$  МПа – допустимое значение,  
 $\sigma_{min} = -2,52$  МПа ( $Rb \cdot \gamma_c = 16,5$  МПа – допустимое значение.

Теперь необходимо рассчитать  $\sigma_{резьбы}$  с использованием треугольников подобия (рисунок 4).

Образованные на основной (рабочей) поверхности соединяемых колонн и расположенные по спиральной линии, давления требуют доказательного расчета на на-

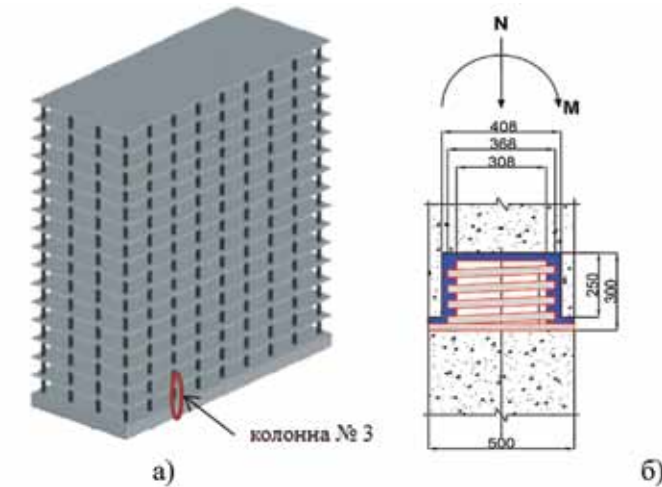


Рис. 3. а) Многоэтажное здание; б) Разрез колонны № 3  
Fig. 3. а) Multi-storey building; б) Section of column No. 3

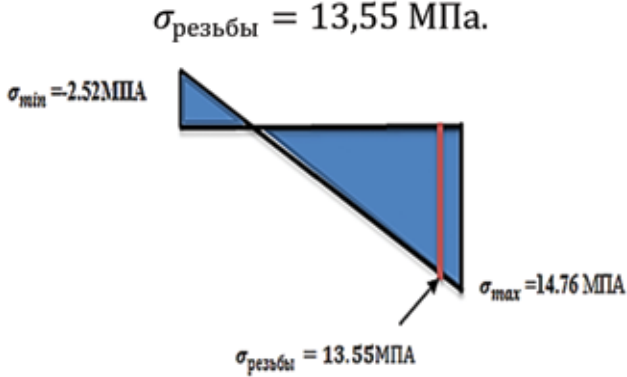


Рис. 4. Расчет максимального и минимального краевого давления  
Fig. 4. Calculation of maximum and minimum edge pressure

пряжения смятия. Напряжения смятия  $\sigma_{см}$  рассчитаны согласно [3]:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot z} \leq [\sigma_{см}], \quad (2)$$

$[\sigma_{см}] = 130$  МПа – допускаемое напряжение смятия (марка стали 10 Н-Ц-В59).

После проведения необходимых расчетов получено:  
 $\sigma_{см} = 9,61$  МПа  $< [\sigma_{см}] = 130$  МПа – допустимое значение (рисунок 5).

Напряжения среза ( $\tau$ ) рассчитаны согласно формуле:

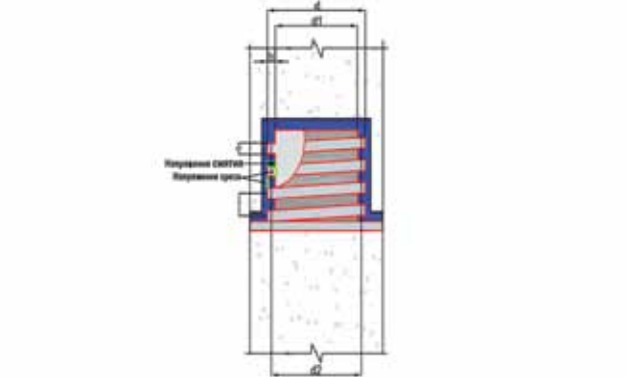


Рис. 5. Расположение касательных и раздавливающих напряжений в двух неподвижных колоннах  
Fig. 5. Location of shearing and crushing stresses in two fixed columns

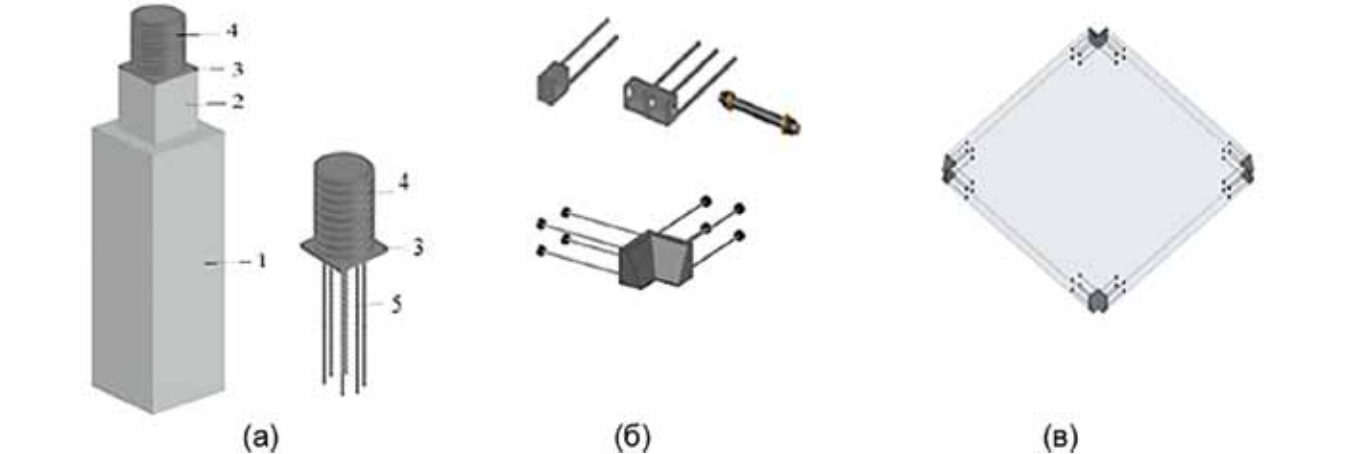


Рис. 6. а) Колонны: 1 – нижняя часть колонны, 2 – верхняя часть колонны, 3 – закладные детали, 4 – цилиндрическое винтовое соединение, 5 – деформированные стальные стержни; б) Закладные детали в углах плиты перекрытия и закладные детали в углах ригеля; в) Плита перекрытия  
Fig. 6. а) Columns: 1 – lower part of the column, 2 – upper part of the column, 3 – embedded parts, 4 – cylindrical screw connection, 5 – deformed steel rods; б) Embedded parts in the corners of the floor slab and embedded detail in the corners of the crossbars; в) Floor slab

| Резьба          | $k_n$ |
|-----------------|-------|
| Прямоугольная   | 0,50  |
| Трапецеидальная | 0,65  |
| Упорная         | 0,75  |
| Треугольная     | 0,87  |

Табл. 2. Коэффициент полноты профиля  
Tab. 2. Profile completeness factor

$$\tau_1 = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot p \cdot z \cdot k_n \cdot k_{her}} \leq [\tau] \text{ – для винта,} \quad (3)$$

$$\tau_2 = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot p \cdot z \cdot k_n \cdot k_{her}} \leq [\tau] \text{ – для гайки.} \quad (4)$$

Используя предыдущие формулы и значения, с учетом значений коэффициента полноты профиля (таблица 2), напряжения сдвига для винта и гайки были рассчитаны в допустимых пределах:

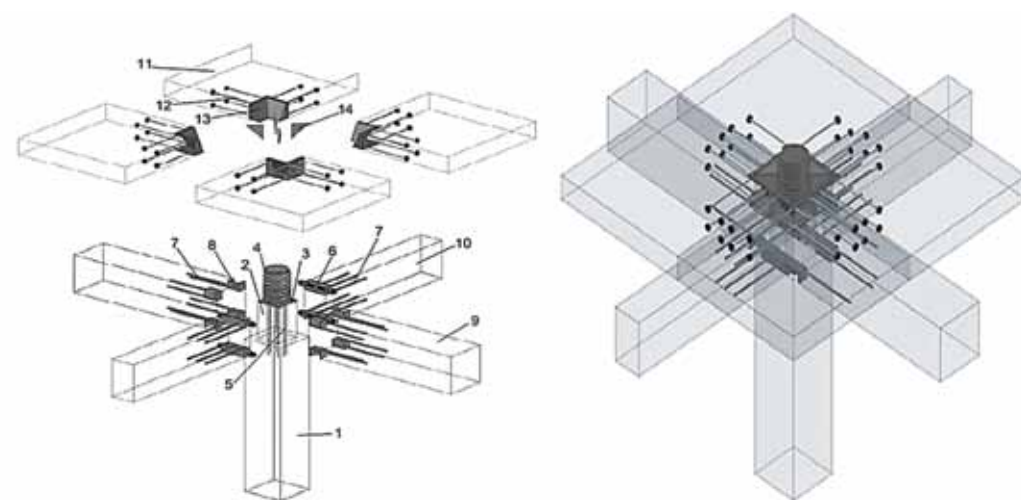
$$\tau_1 = 16.22 \text{ МПа} < [\tau] = 50 \text{ МПа (допустимый),}$$
$$\tau_2 = 13.58 \text{ МПа} < [\tau] = 50 \text{ МПа (допустимый).}$$

Выполнив расчеты и убедившись в надежности предлагаемого резьбового соединения, вставляем расчеты в пять строительных систем, чтобы увеличить скорость технологических процессов монтажа элементов железобетонных зданий.

Разработаны способы сборки элементов нескольких строительных систем с помощью винтовых соединений в ходе технологических процессов, описанные ниже.

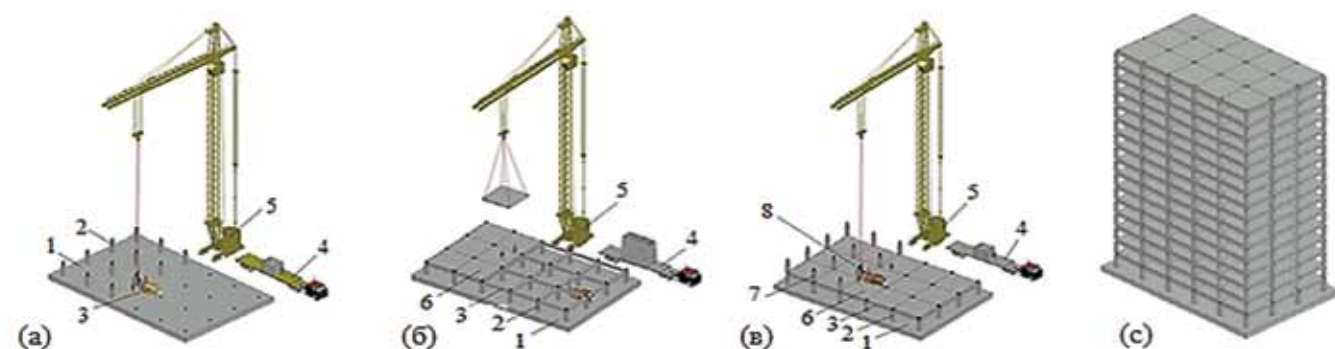
**1. Метод винтосборного соединения элементов полносборных железобетонных зданий** заключается в том, что полный контакт винтов и болтов сборными железобетонными элементами достигается за счет сборки железобетонных деталей, составляющих конструкцию здания, с использованием ряда стыков и закладных деталей.

Данный способ подразумевает монтаж без использования бетонной смеси, что позволяет увеличить технологичность процесса монтажа, уменьшить монтажную группу, избежать ошибок, связанных с человеческим фактором (рисунки 6, 7) [4].



**Рис. 7.** а) Железобетонные строительные элементы в разобранном виде: 1 – нижняя часть колонны, 2 – верхняя часть колонны, 3 – закладная деталь, 4 – цилиндрическое винтовое соединение, 5 – деформированные стальные стержни, 6 – затяжной винт, 7 – железные стержни, 8 – сварной уголок, 9 – ригель первого типа, 10 – ригель второго типа, 11 – плита перекрытия, 12 – железные стержни, 13 – закладные детали, 14 – металлическая пластина; б) Сборка железобетонных элементов здания

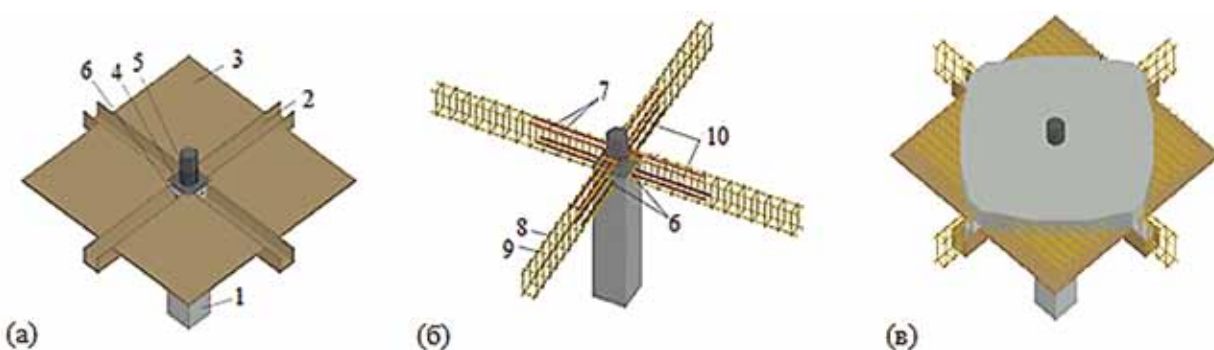
**Fig. 7.** a) Reinforced concrete building elements disassembled: 1 – the lower part of the column, 2 – the upper part of the column, 3 – embedded detail, 4 – cylindrical screw connection, 5 – deformed steel rods, 6 – tightening screw, 7 – iron rods, 8 – welded corner, 9 – the first type of beam, 10 – second type beam, 11 – floor slab, 12 – iron rods, 13 – embedded parts, 14 – metal plate; б) Assembly of reinforced concrete elements of the building



**Рис. 8.** Устройства и процессы винтосборного монтажа элементов полносборного здания: а) монтаж колонн первого этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – специальная машина для монтажа колонн, 4 – грузовая платформа, 5 – башенный кран); б) монтаж ригелей и плит перекрытия (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – ригели, 4 – самосвал, 5 – башенный кран, 6 – плиты перекрытия); в) процесс переноса специальной машины для установки колонн второго этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – ригели, 4 – самосвал, 5 – башенный кран, 6 – плиты перекрытия, 7 – монтаж колонн 2-го этажа, 8 – специальная машина для монтажа колонн); г) завершенное здание

**Fig. 8.** Devices and processes for screw assembly elements of a prefabricated building: а) installation of columns of the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – special machine for the installation of columns, 4 – platform truck, 5 – tower crane); б) installation of beam and floor slabs (1 – foundation, 2 – columns, 3 – beams, 4 – dump truck, 5 – tower crane, 6 – floor slabs); в) in the process of transferring a special machine for installing columns of the second floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – beam, 4 – dump truck, 5 – tower crane, 6 – floor slabs, 7 – installation of columns of the 2nd floor, 8 – special machine for installation of columns); г) completed building

**Fig. 8.** Devices and processes for screw assembly elements of a prefabricated building: а) installation of columns of the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – special machine for the installation of columns, 4 – platform truck, 5 – tower crane); б) installation of beam and floor slabs (1 – foundation, 2 – columns, 3 – beams, 4 – dump truck, 5 – tower crane, 6 – floor slabs); в) in the process of transferring a special machine for installing columns of the second floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – beam, 4 – dump truck, 5 – tower crane, 6 – floor slabs, 7 – installation of columns of the 2nd floor, 8 – special machine for installation of columns); г) completed building



**Рис. 9.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) 1 – колонна, 2 – деревянная опалубка ригеля, 3 – деревянная опалубка перекрытий, 4 – закладные детали, 5 – цилиндрическое винтовое соединение, 6 – отверстие; б) 7 – дополнительные арматурные стержни, 8 – продольная арматура стержней, 9 – поперечная арматура стержней, 10 – арматурные стержни; в) – общий вид узла соединения с заливкой бетона на деревянную опалубку

**Fig. 9.** General view of the connection node of the prefabricated monolithic reinforced concrete frame: а) 1 – column, 2 – wooden formwork of the crossbar, 3 – wooden formwork of the floors, 4 – embedded parts, 5 – cylindrical screw connection, 6 – holes; б) 7 – additional reinforcing bars, 8 – longitudinal reinforcement of the rods, 9 – transverse reinforcement of the rods, 10 – reinforcing bars; в) general view of the connection unit with pouring concrete on a wooden formwork

На рисунке 8 объясняются этапы технологии монтажа полносборного быстровозводимого здания и показано оборудование, помогающее в процессе установки.

2. Метод сборно-монолитного железобетонного каркаса зданий применяется в **сборно-монолитных ребристых перекрытиях и покрытиях**. Колонны имеют отверстия на разных уровнях на верхнем конце, через который проходит арматура в обоих направлениях для поддержки арматуры ригелей [5].

Ребристые перекрытия состоят из монолитного железобетона, который укладывают после подготовки деревянной опалубки и арматуры и закрепляют металлическими подмостками снизу деревянной опалубки в течение времени – от заливки бетона до момента застывания бетона и получения прочного железобетонного блока (рисунок 9).

На рисунке 10 объясняются этапы технологии монтажа сборно-монолитного быстровозводимого здания и показано оборудование, помогающее в процессе установки.

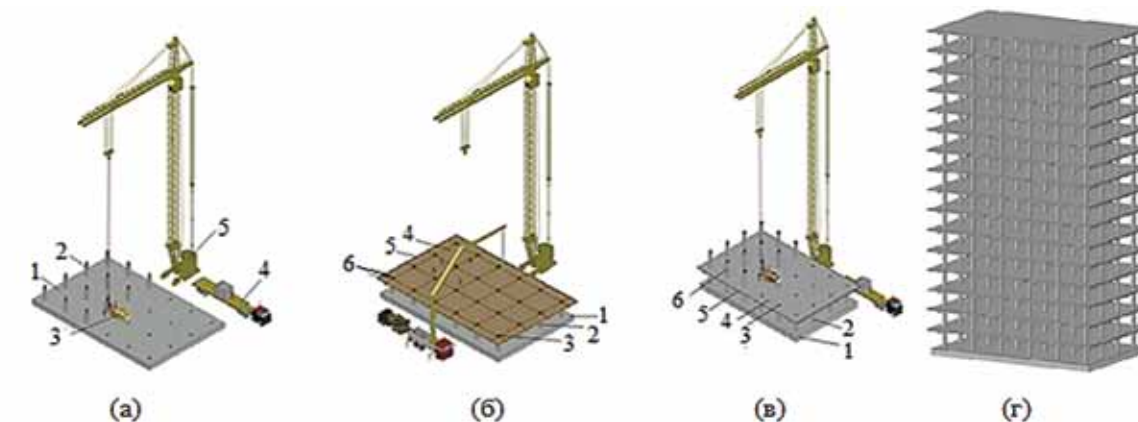
3. Метод сборно-монолитного железобетонного каркаса зданий внедряется для разработки **сборно-монолитной системы без балочного перекрытия и покрытия**. Плита перекрытия состоит из монолитного

железобетона, который заливается после подготовки деревянной опалубки и арматуры и закрепляется металлическими подмостками снизу деревянной опалубки в течение времени – от заливки бетона до момента застывания бетона и получения прочного и долговечного железобетонного блока [6].

После процесса застывания бетона деревянную опалубку снимают, таким образом, мы получаем один однородный железобетонный блок, который состоит из плиты перекрытия и видимой части закладных деталей для крепления сборных колонн в виде винтовых соединений между колоннами (рисунок 11).

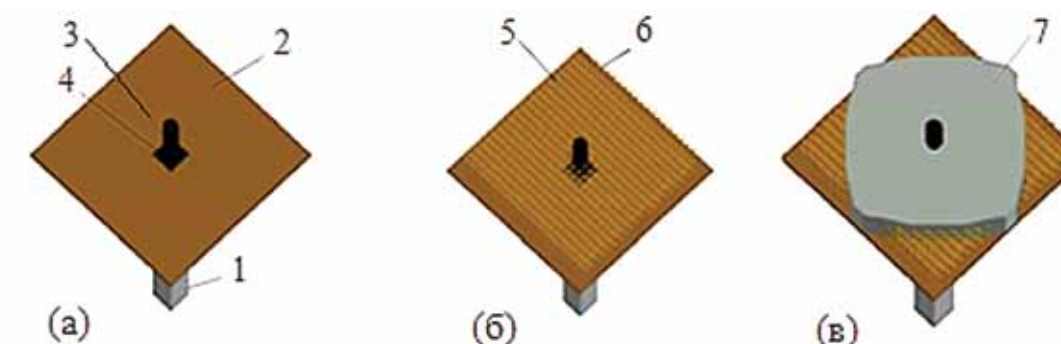
На рисунке 12 объясняются этапы технологии монтажа сборно-монолитного быстровозводимого здания и показано оборудование, помогающее в процессе установки.

4. Метод сборно-монолитного железобетонного каркаса зданий был использован для разработки **сборно-монолитного перекрытия и покрытия** [7]. Бетонные колонны имеют отверстия разного уровня на верхнем конце, через который проходит арматура в обоих направлениях для поддержки арматуры ригелей. На сборных, предварительно напряженных, ригелях имеются зазоры с продольными бороздками для укладки монтажной арматуры.



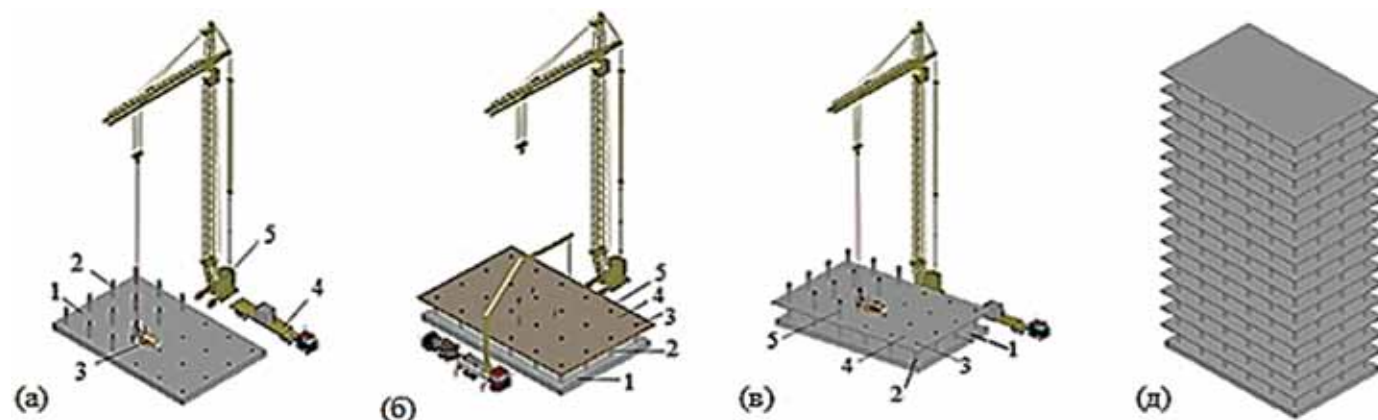
**Рис. 10.** а) Монтаж колонн первого этажа: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – специальная машина для монтажа колонн, 4 – грузовая платформа, 5 – башенный кран; б) Подготовка и заливка бетона первого этажа: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – армирование, 5 – деревянная опалубка для перекрытий, 6 – деревянная опалубка для ригеля; в) Монтаж колонн второго этажа: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – монолитная плита первого этажа, 5 – ригели первого этажа, 6 – колонны второго этажа; г) Завершенное здание

**Fig. 10.** а) Installation of the columns of the first floor: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – a special machine for the installation of columns, 4 – truck platform, 5 – tower crane; б) Preparation and pouring of concrete of the first floor: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts the upper part of the column, 4 – reinforcement, 5 – wooden formwork for floors, 6 – wooden formwork for the crossbar; в) Installation of columns of the second floor: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – monolithic slab of the first floor, 5 – beams of the first floor, 6 – columns of the second floor; г) Completed building



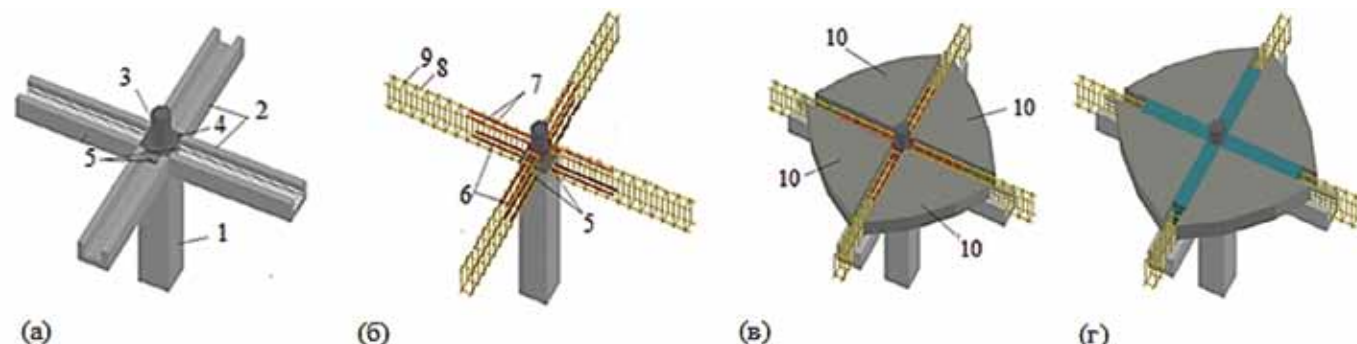
**Рис. 11.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) 1 – колонна, 2 – деревянная опалубка перекрытий, 3 – цилиндрическое винтовое соединение, 4 – закладные детали; б) арматура сетки с продольной и поперечной арматурой стержней; в) плита перекрытия после заливки бетона на деревянную опалубку

**Fig. 11.** General view of the connection node prefabricated-monolithic reinforced concrete frame: а) 1 – column, 2 – wooden formwork of floors, 3 – cylindrical screw connection, 4 – embedded parts, embedded parts; б) mesh reinforcement contain longitudinal and transverse reinforcement of rods; в) floor slabs after pouring concrete onto wooden formwork



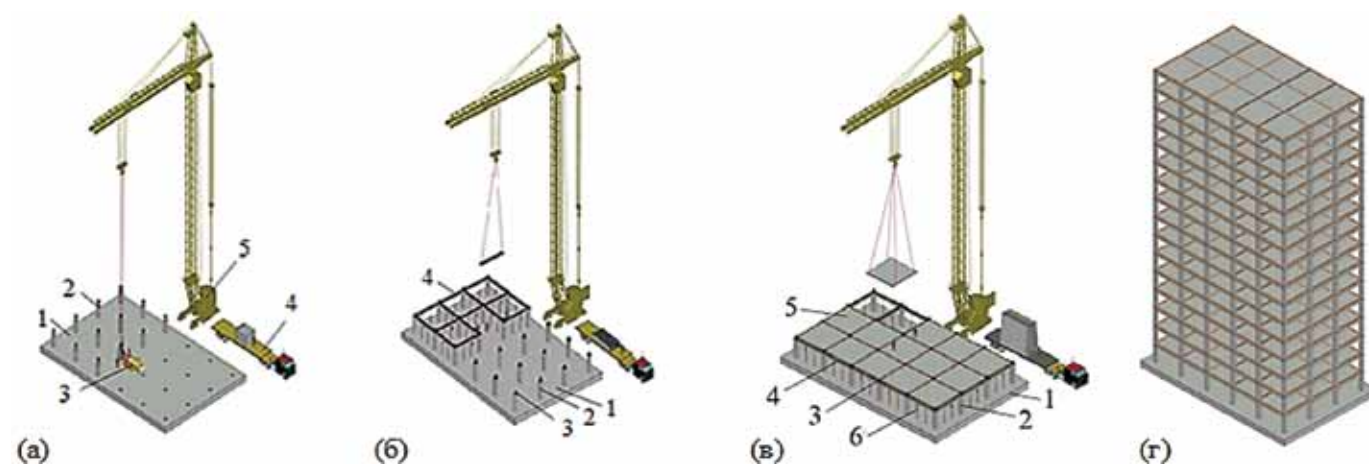
**Рис. 12.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) монтаж колонн первого этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – специальная машина для монтажа колонн, 4 – грузовая платформа, 5 – башенный кран); б) подготовка и заливка бетона первого этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонны, 4 – армирование, 5 – деревянная опалубка для перекрытий); в) монтаж колонн второго этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонны, 4 – монолитная плита первого этажа, 5 – колонны второго этажа); г) завершенное здание

**Fig. 12.** General view of the connection node of the cathedral-monolithic reinforced concrete frame: a) installation of the columns of the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – a special machine for the installation of columns, 4 – truck platform, 5 – tower crane); b) preparation and pouring of concrete on the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – reinforcement, 5 – wooden formwork for floors); c) installation of columns of the second floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – monolithic slab of the first floor, 5 – columns of the second floor); d) completed building



**Рис. 13.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) 1 – колонна; 2 – сборный ригель; 3 – цилиндрическое винтовое соединение; 4 – закладные детали; 5 – отверстия; б) 6, 7 – дополнительные армирующие стержни; 8 – продольное армирование стержней; 9 – поперечное армирование стержней; в) 10 – сборные плиты перекрытий, по краям которых устанавливаются ригели; г) монолитные зазоры, расположенные между плитами и вдоль ригелей

**Fig. 13.** General view of the junction of the cathedral-monolithic reinforced concrete frame: a) 1 – column, 2 – prefabricated crossbar, 3 – cylindrical screw connection, 4 – embedded parts, 5 – holes; b) 6, 7 – additional reinforcing bars, 8 – longitudinal reinforcement of the bars, 9 – transverse reinforcement of the bars; c) 10 – prefabricated floor slabs, installs crossbars over the edges; d) monolithic gaps located between the slabs and along the crossbars



**Рис. 14.** а) Монтаж колонн первого этажа: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – специальная машина для монтажа колонн, 4 – грузовая платформа, 5 – башенный кран; б) Монтаж ригелей: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – ригели; в) Монтаж плиты перекрытия: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – ригели, 5 – плита перекрытия, 6 – стойка телескопическая, 7 – армирование; г) Завершенное здание

**Fig. 14.** a) Installation of the columns of the first floor: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – special machine for the installation of columns, 4 – truck platform, 5 – tower crane; b) Installation of beams: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – beam; c) Installation of the floor slab: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – beam, 5 – floor slab, 6 – telescopic stand, 7 – reinforcement; d) Completed building

туры стержня. Ригели закрепляют металлическими подмостками снизу до момента заливки бетона и его схватывания. Сборные плиты перекрытий устанавливаются над краями ригелей. Зазоры, расположенные между плитами и вдоль ригелей, замоноличены заодно с выпущенными в них арматурными выпусками из сборных элементов каркаса (рисунок 13).

На рисунке 14 объясняются этапы технологии монтажа сборно-монолитных зданий и показано оборудование, помогающее в процессе установки.

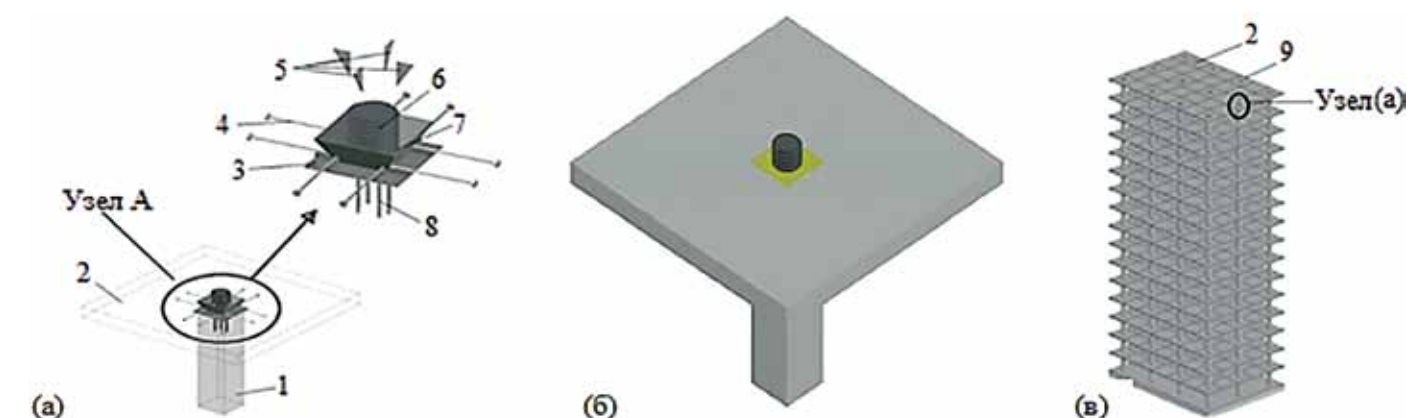
**5. Метод винтосборного соединения элементов КУБ–2.5 полносборных железобетонных зданий** является разработкой строительной системы КУБ–2.5.

Плита перекрытия изготавливается из сборного железобетона квадратной формы. Плита перекрытия бывает двух видов: первый не имеет отверстия посередине, второй тип имеет отверстие посередине. Отверстие имеет закладные детали, которые крепятся к плите перекрытия с

помощью стальных стержней. Сборные железобетонные плиты соединяются с колоннами через эти отверстия, соединение верхней часть колонны, содержащей резьбовые закладные детали, с закладными деталями плит перекрытия производится сваркой металлических пластин треугольной формы во всех направлениях. После сварки треугольных металлических панелей и соединения колонны с плитами перекрытия происходит процесс заливки и заполнения пустот бетоном (рисунок 15) [8].

На рисунке 16 объясняются этапы технологии монтажа сборно-монолитных зданий и показано оборудование, помогающее в процессе установки.

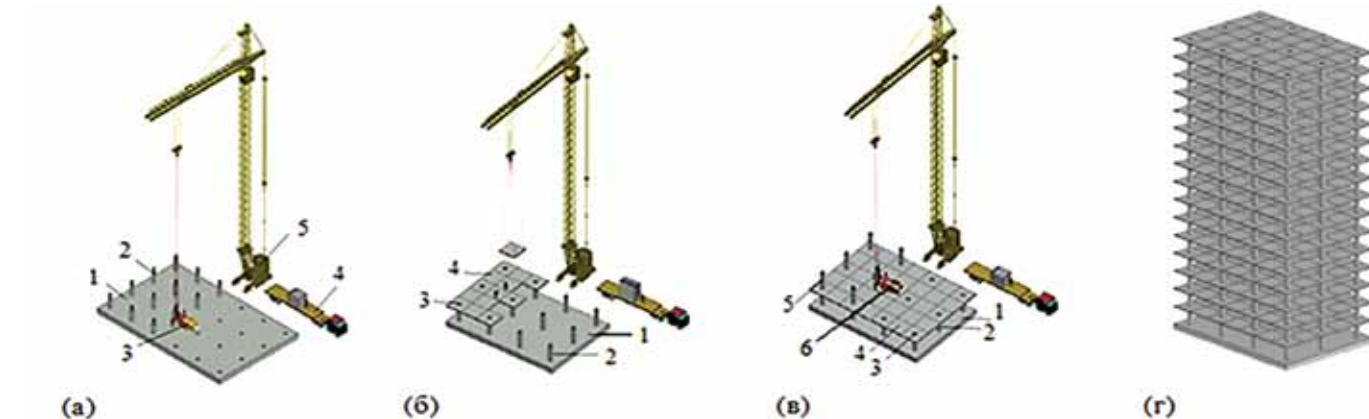
Для установки колонны можно использовать оборудование после внесения в него некоторых механических модификаций, в соответствии с требованиями установки, например, харвестеры, оборудование для крепления свай и оборудование для бурения скальных пород (рисунок 17) [9].



**Рис. 15.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) 1 – колонна, 2 – плита перекрытия, 3 – закладная деталь, 4 – стальные стержни, 5 – металлические пластины треугольной формы, 6 – цилиндрическое винтовое соединение, 7 – закладная деталь, 8 – стальные стержни; б) общий вид узла соединения А с применением бетона для заполнения пустот после завершения процесса соединения колонн и плиты перекрытия; в) общий вид быстровозводимого модульного здания (2 – плиты перекрытия с отверстием посередине, 9 – плиты перекрытия без отверстия посередине)

**Fig. 15.** General view of the junction of the cathedral-monolithic reinforced concrete frame: a) 1 – column, 2 – floor slabs, 3 – embedded part, 4 – steel rods, 5 – triangular metal plates, 6 – cylindrical screw connection, 7 – embedded part, 8 – steel rods; b) general view of the connection node A with the use of concrete to fill the voids after the completion of the process of connecting the columns and the floor slab; c) general view of a prefabricated modular building (2 – floor slabs have holes in the middle, 9 – floor slabs do not have a hole in the middle)

**Fig. 15.** General view of the junction of the cathedral-monolithic reinforced concrete frame: a) 1 – column, 2 – floor slabs, 3 – embedded part, 4 – steel rods, 5 – triangular metal plates, 6 – cylindrical screw connection, 7 – embedded part, 8 – steel rods; b) general view of the connection node A with the use of concrete to fill the voids after the completion of the process of connecting the columns and the floor slab; c) general view of a prefabricated modular building (2 – floor slabs have holes in the middle, 9 – floor slabs do not have a hole in the middle)



**Рис. 16.** Общий вид узла соединения сборно-монолитного железобетонного каркаса: а) монтаж колонн первого этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – специальная машина для монтажа колонн, 4 – грузовая платформа, 5 – башенный кран); б) монтаж перекрытий первого этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – плита перекрытия); в) монтаж колонн второго этажа (1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – закладные детали верхней части колонн, 4 – плита перекрытия, 5 – колонны второго этажа, 6 – специальная машина для монтажа колонн); г) завершенное здание

**Fig. 16.** General view of the connection node of the prefabricated modular reinforced concrete frame: a) installation of the columns of the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – a special machine for the installation of columns, 4 – truck platform, 5 – tower crane); b) installation of floors of the first floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – floor slab); c) installation of columns of the second floor (1 – foundation, 2 – columns, 3 – embedded parts upper part of the column, 4 – floor slab, 5 – columns of the second floor, 6 – a special machine for the installation); d) completed

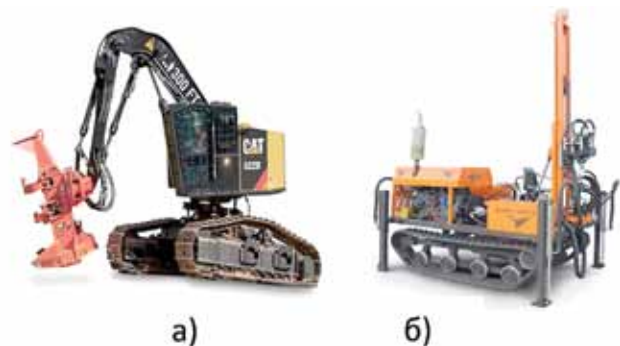


Рис. 17. Предлагаемое оборудование для установки колонн:

а) манипулятор; б) бурильная машина

Fig.17. Proposed equipment for the installation of columns:  
a) harvester machine; b) drilling machine

### Результаты

Таким образом, сделаны необходимые расчеты для энергозатрат предлагаемых строительных систем. В таблице 3 показан пример метода расчета энергозатрат разработанной строительной системы – каркасно-панельной, с общей площадью здания 6324 м<sup>2</sup>, проведено сравнение между пятью разработанными системами для выбора системы, имеющей меньшие энергозатраты в технологических процессах при монтаже (таблица 4) [10].

### Выводы

1. На основе вновь установленного понятия «энергозатрат монтажа» в иракских условиях были разработаны новые категории строительных систем и методов монтажа.

2. С учетом технологичности и энергоэффективности решений продемонстрирован перспективный уровень строительства, основанный на использовании технологи-

ческих процессов, ускоряющих монтаж элементов конструкций в иракских условиях.

3. Разработаны винтовые и болтовые соединения для полносборных и сборно-монолитных зданий (заявка патента РФ № 2022108963).

4. Было проведено сравнение затрат энергии на пяти различных строительных системах (каркасно-панельная, КУБ–2.5, сборно-монолитная без балочного перекрытия и покрытия, сборно-монолитная с ребристым перекрытием и покрытием, сборно-монолитная), в которых их элементы соединяются при помощи разработанных винтовых и болтовых соединений.

5. Выявлено, что применение винтовых методов монтажа строительных систем снижает машиноёмкость и затраты времени в системе КУБ–2.5, в отличие от других предлагаемых систем. Но относительная трудоемкость в системе КУБ–2.5 = 322.53 чел.-ч, что больше, чем в некоторых из предлагаемых систем, поскольку содержит сварочные работы, требующие большего трудового вмешательства в условиях Ирака. В результате сравнения выяснилось, что системой с наименьшими энергозатратами из пяти разработанных систем является система КУБ–2.5.

В общем, получены современные винтовые системы, характеризующиеся скоростью реализации, что приводит к ускорению строительного монтажа; с уменьшением количества соединений удается уменьшить «мокрые» и сварочные работы, снизить трудоемкость благодаря максимальному использованию механизации, что также повышает производительность и снижает сроки монтажа за счет унификации узлов и использования винтовых и болтовых соединений.

| Каркасно-панельная система (S = 6324 м <sup>2</sup> ) |                                                                        |           |             |               |                           |                           |                      |                       |                              |                      |                                        |                                                                                        |                                          |                                            |                                 |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|---------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|
| № п/п                                                 | Строительные процессы                                                  | Ед. изм.  | Объем работ |               |                           | Норма энергозатрат, кВт-ч | Трудоемкость, чел.-ч | Машиноёмкость, маш.-ч | Суммарные затраты времени, ч | Энергоёмкость, кВт-ч | Механизмы                              | Состав бригады                                                                         | Затраты энергии, кВт на 1 м <sup>2</sup> | Затраты энергии, кВт на 100 м <sup>2</sup> | Затраты энергии на здание кВт-ч |
|                                                       |                                                                        |           | Ед. изм.    | Кол-во единиц | Норма трудозатрат, чел.-ч |                           |                      |                       |                              |                      |                                        |                                                                                        |                                          |                                            |                                 |
| 1                                                     | 2                                                                      | 3         | 4           | 5             | 6                         | 7                         | 8                    | 9                     | 10                           | 11                   | 12                                     | 13                                                                                     | 14                                       | 15                                         | 16                              |
| Е4-1-4                                                | Установка колонн без капитального уровня                               | 1 элемент | 384         | 2,5           | 0,53                      | 58,00                     | 120,00               | 25,44                 | 203,52                       | 11804,16             | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 5 р. – 1, 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1 | 1,87                                     | 186,66                                     | 11804,16                        |
|                                                       | Установка колонн с помощью винтовых соединений                         | 1 элемент | 384         | 1,3           | 0,25                      | 58,84                     | 62,40                | 12,00                 | 96,00                        | 5648,64              | Самоходные буровые установки «СБУ»80ЛС | Монтажник конструкций: 5 р. – 1, 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1 | 0,89                                     | 89,32                                      | 5648,64                         |
| Е4-1-6                                                | Установка ригелей до 3 т                                               | 1 элемент | 608         | 1,9           | 0,38                      | 58,00                     | 144,40               | 28,88                 | 231,04                       | 13400,32             | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 5 р. – 1, 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1 | 2,12                                     | 211,90                                     | 13400,32                        |
| Е4-1-10                                               | Установка лестничных маршей массой до 2,5 т                            | 1 блок    | 32          | 2,2           | 0,55                      | 58,00                     | 8,80                 | 2,20                  | 17,60                        | 1020,80              | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 4 р. – 2, 3 р. – 1, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1           | 0,16                                     | 16,14                                      | 1020,80                         |
| Е4-1-8                                                | Панели наружных стен каркасно-панельного здания до 25 м <sup>2</sup>   | 1 панель  | 256         | 4,8           | 1,20                      | 58,00                     | 153,60               | 38,40                 | 307,20                       | 17817,60             | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 5 р. – 1, 4 р. – 1, 3 р. – 1, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1 | 2,82                                     | 281,75                                     | 17817,60                        |
| Е4-1-8                                                | Панели внутренних стен каркасно-панельного здания до 15 м <sup>2</sup> | 1 панель  | 352         | 2,0           | 0,50                      | 58,00                     | 88,00                | 22,00                 | 176,00                       | 10208,00             | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 5 р. – 1, 4 р. – 1, 3 р. – 1, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1 | 1,61                                     | 161,42                                     | 10208,00                        |
| Е4-1-7                                                | Укладка плит перекрытий площадью до 20 м <sup>2</sup>                  | 1 элемент | 450         | 1,1           | 0,28                      | 58,00                     | 61,88                | 15,75                 | 126,00                       | 7308,00              | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1           | 1,16                                     | 115,56                                     | 7308,00                         |
| Е4-1-7                                                | Укладка плит перекрытий площадью до 20 м <sup>2</sup>                  | 1 элемент | 30          | 1,1           | 0,28                      | 58,00                     | 4,13                 | 1,05                  | 8,40                         | 487,20               | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1           | 0,08                                     | 7,70                                       | 487,20                          |
| Е4-1-14                                               | Установка вентиляционных блоков массой до 2 т                          | 1 блок    | 68          | 2,0           | 0,50                      | 58,00                     | 17,00                | 4,25                  | 34,00                        | 1972,00              | Кран КБ-160.2                          | Монтажник конструкций: 4 р. – 2, 3 р. – 1, 2 р. – 1. Машинист крана 6 р. – 1           | 0,31                                     | 31,18                                      | 1972,00                         |
|                                                       |                                                                        |           | Итого:      |               |                           | 670,10                    | 152,45               | 1219,56               |                              |                      |                                        | Итого:                                                                                 | 11,20                                    | 1119,78                                    | 70815,12                        |

Табл. 3. Расчет энергозатрат разработанной каркасно-панельной строительной системы

Tab. 3. Calculation of energy consumption of the developed frame-panel building system

| № п/п                                                                               | Строительные процессы                        | Ед. изм. | Кол-во единиц | Норма трудозатрат, чел. ч. | Норма машинозатрат, маш. ч. | Норма энергозатрат, кВт-ч | Трудоемкость чел. см. | Машиноёмкость, маш. см. | Суммарные затраты времени, ч | Энергоёмкость, кВт-ч | Затраты энергии, кВт на 1 сборный элемент | Затраты энергии, кВт на 1 м <sup>2</sup> | Затраты энергии, кВт на 100 м <sup>2</sup> | Затраты энергии на здание, кВт |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|---------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| 1                                                                                   | 2                                            | 3        | 4             | 5                          | 6                           | 7                         | 8                     | 9                       | 10                           | 11                   | 12                                        | 13                                       | 14                                         | 15                             |
| КУБ–2.5 (S = 5040 м <sup>2</sup> )                                                  |                                              |          |               |                            |                             |                           |                       |                         |                              |                      |                                           |                                          |                                            |                                |
| 1                                                                                   | Установка колонн, панелей стен, плит и т. д. | 1 эл.    | 1766          | 12,54                      | 2,75                        | 479,44                    | 322,53                | 63,63                   | 931                          | 32649,32             | 18,48                                     | 6,48                                     | 647,80                                     | 32649,32                       |
| Полносборная система (S = 6324 м <sup>2</sup> )                                     |                                              |          |               |                            |                             |                           |                       |                         |                              |                      |                                           |                                          |                                            |                                |
| 2                                                                                   | Установка колонн, панелей стен, плит и т. д. | 1 эл.    | 2016          | 14,20                      | 4,29                        | 406,84                    | 539,20                | 127,28                  | 1018,23                      | 59137,82             | 29,33                                     | 9,35                                     | 935,05                                     | 59137,82                       |
| Сборно-монолитная система (S = 6324 м <sup>2</sup> )                                |                                              |          |               |                            |                             |                           |                       |                         |                              |                      |                                           |                                          |                                            |                                |
| 3                                                                                   | Установка колонн, панелей стен, плит и т. д. | 1 эл.    | 2600          | 18,90                      | 4,47                        | 522,84                    | 670,10                | 152,45                  | 1219,56                      | 70815,12             | 27,23                                     | 11,20                                    | 1119,78                                    | 70815,12                       |
| Сборно-монолитная без балочного перекрытия и покрытия (S = 8064 м <sup>2</sup> )    |                                              |          |               |                            |                             |                           |                       |                         |                              |                      |                                           |                                          |                                            |                                |
| 4                                                                                   | Установка колонн, панелей стен, плит и т. д. | 1 эл.    | 1376          | 5,00                       | 2,06                        | 232,84                    | 273,60                | 257,81                  | 2062,46                      | 119703,55            | 87,00                                     | 14,84                                    | 1484,42                                    | 119703,55                      |
| Сборно-монолитная с ребристыми перекрытиями и покрытиями (S = 8064 м <sup>2</sup> ) |                                              |          |               |                            |                             |                           |                       |                         |                              |                      |                                           |                                          |                                            |                                |
| 5                                                                                   | Установка колонн, панелей стен, плит и т. д. | 1 эл.    | 1376          | 5,00                       | 2,06                        | 232,84                    | 273,60                | 326,80                  | 2614,40                      | 151715,84            | 12,48                                     | 18,81                                    | 1881,40                                    | 151715,84                      |

Табл. 4. Сравнение энергозатрат предлагаемых строительных систем

Tab. 4. Comparison of the energy consumption of the proposed building systems

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычёв, С. А. Высокотехнологичный монтаж быстровозводимых трансформируемых зданий в условиях Крайнего Севера / С. А. Сычёв. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ. – 2017. – 422 с.
2. Ким, Б. Г. Анализ влияния факторов на производительность труда при строительстве объектов в Ираке / Б. Г. Ким, Ш. З. Наджи // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 4.
3. Сопrotивление материалов: учебное пособие / В. А. Хохлов, К. Цукублина, Н. А. Куприянов, Н. А. Логвинова ; Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 228 с.
4. Сычёв, С. А. Активные элементы пассивных и энергоэффективных методов монтажа железобетонных элементов / С. А. Сычёв, А. А. Аль-Хабиб, А. Абасс, Д. Т. Курасова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4 (88). – С. 475–486.
5. Афанасьев, А. А. Технология возведения полносборных зданий / А. А. Афанасьев. – Москва : Издательство АСВ. – 2007. – 287 с.
6. Емельянов, С. Г. Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных здания из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения / С. Г. Емельянов, Н. В. Федорова, В. И. Колчунов // Строительные материалы. – 2017. – № 3. – С. 23–27.

### REFERENCES

1. Sychev, S. A. Vysokotekhnologichnyy montazh bystrovovodimyykh transformiruemykh zdaniy v usloviyakh Krajnego Severa [High-tech installation of prefabricated transformable buildings in the conditions of the Far North] / S. A. Sychev. – Saint Petersburg : SPbGASU. – 2017. – 422 p.
2. Kim, B. G. Analiz vliyaniya faktorov na proizvoditel'nost' truda pri stroitel'stve ob'ektov v Irake [Analysis of the influence of factors on labor productivity during the construction of facilities in Iraq] / B. G. Kim, S. Z. Naji // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science.]. – 2020. – T. 12, № 4. – P. 4.
3. Soprotivlenie materialov: uchebnoe posobie [Resistance of materials: a textbook] / V. A. Khokhlov, K. Tsukublina, N. A. Kupriyanov, N. A. Logvinova ; Yurginskij tekhnologicheskij institute [Yurginsky Technological Institute]. – Tomsk : Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011. – 228 p.
4. Sychev, S. A. Aktivnye elementy passivnykh i energoeffektivnykh metodov montazha zhelezobetonnykh elementov [Active elements of passive and energy-efficient methods of installation of reinforced concrete elements] / S. A. Sychev,

7. Lacey, A. W. Structural response of modular buildings – An overview / A. W. Lacey, W. Chen, H. Hao, K. Bi. – DOI <http://doi.org/10.1016/j.job.2017.12.008> // Journal of Building Engineering. – 2018. – Vol. 16. – P. 45–56.
8. Yang, H. Development and testing of precast concrete beam-to-column connections with high-strength hooked bars under cyclic loading / H. Yang, Z. Guo, H. Yin, D. Guan, S. Y. Yang. – DOI <https://doi.org/10.1177/2F1369433219857855> // Advances in Structural Engineering. – 2019. – Vol. 22, iss. 14. – P. 3042–3054.
9. Романович, А. А. Строительные машины и оборудование: учебное пособие / А. А. Романович, Е. В. Харламов. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2011. – 188 с.
10. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения : ЕНП. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е4 : утверждены постановлением Государственного строительного комитета СССР, Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата Всесоюзного Центрального Совета Профессиональных Союзов от 5 декабря 1986 года № 43/512/29-50 для обязательного применения на строительных, монтажных и ремонтно-строительных работах / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1987. – 65 с.

A. A. Al-Habib, A. Abass, D. T. Kurasova // Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2022. – № 4 (88). – P. 475–486.

5. Afanasyev, A. A. Tekhnologiya vozvedeniya polnosbornykh zdaniy [Technology of construction of fully assembled buildings] / A. A. Afanasyev. – Moscow : Izdatelstvo ASV. – 2007. – 287 p.
6. Emelyanov, S. G. Osobennosti projektirovaniya uzlov konstruktсий zhilykh i obshchestvennykh zdaniya iz panel'no-ramnykh ehlementov dlya zashhity ot progressivuyushhego obrusheniya [Features of designing structural units of residential and public buildings from panel-frame elements for protection from progressive collapse] / S. G. Emelyanov, N. V. Fedorova, V. I. Kolchunov // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2017. – № 3. – P. 23–27.
7. Lacey, A. W. Structural response of modular buildings – An overview / A. W. Lacey, W. Chen, H. Hao, K. Bi. – DOI <http://doi.org/10.1016/j.job.2017.12.008> // Journal of Building Engineering. – 2018. – Vol. 16. – P. 45–56.
8. Yang, H. Development and testing of precast concrete beam-to-column connections with high-strength hooked bars under

cyclic loading / H. Yang, Z. Guo, H. Yin, D. Guan, S. Y. Yang. – DOI <https://doi.org/10.1177%2F1369433219857855> // Advances in Structural Engineering. – 2019. – Vol. 22, iss. 14. – P. 3042–3054.

9. Romanovich, A. A. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie: uchebnoe posobie [Construction machinery and equipment: textbook] / A. A. Romanovich, E. V. Kharlamov. – Belgorod : Izd-vo BG TU im. V. G. Shukhova. – 2011. – 188 p.

10. Montazh sbornyykh i ustroystvo monolitnykh zhelezobetonnykh konstruktсий. Vypusk 1. Zdaniya i promyshlennyye sooruzheniya [Installation of prefabricated and monolithic reinforced concrete structures. Issue 1. Buildings and industrial structures] : ENiR. Edinye normy i raschenki na stroitel'nye, montazhnye i remontno-stroitel'nye raboty. Sbornik E4 [ENiR. Uniform standards and prices for construction, installation

and repair and construction work. Collection E4] : utverzhdeny postanovleniem Gosudarstvennogo stroitel'nogo komiteta SSSR, Gosudarstvennogo komiteta SSSR po trudu i social'nyim voprosam i Sekretariata Vsesoyuznogo Central'nogo Soveta Professional'nyh Soyuzov ot 5 dekabrya 1986 goda № 43/512/29-50 dlya obyazatel'nogo primeneniya na stroitel'nyh, montazhnyh i remontno-stroitel'nyh rabotah [approved by the Resolution of the USSR State Construction Committee, the USSR State Committee for Labor and Social Affairs and the Secretariat of the All-Union Central Council of Trade Unions of December 5, 1986 No. 43/512/29-50 for mandatory use in construction, installation and repair and construction works] / Gosstroj SSSR [Gosstroy of the USSR]. – Moscow : Strojizdat, 1987. – 65 p.

мерному распределению информации между участвующими в процессе планирования охраны труда сотрудниками.

**Результаты.** Это свидетельствует о том, что вопросы безопасности в строительном бизнесе по-прежнему вызывают серьезную озабоченность. Объективная оценка методов планирования безопасности в отношении качественных и количественных факторов может быть значительно улучшена за счет применения инновационных и комплексных инструментов планирования безопасности. Современные технологии, такие как информационное моделирование (BIM), предлагают объектно-ориентированный подход к планированию жизненного цикла проекта.

**Abstract.**  
**Objective.** This article provides a structured overview of a BIM-based security management research project.  
**Methods.** In most cases, workplace safety planning is based on the use of existing instructions that do not reflect the conditions of work on a particular construction site. Safety planning in construction is a complex task due to the large number of parties involved, constantly changing conditions and the complexity of facilities. The nature of construction projects is determined by the different stages of the implementation of various works and, accordingly, the requirements for the processes of planning labor protection measures. This leads to an uneven distribution of information among the employees involved in the OSH planning process.

**Results.** This indicates that safety issues in the construction

**Введение**  
Строительная отрасль является одним из наиболее важных секторов в промышленно развитых странах. Поэтому профессиональная безопасность в этом секторе оказывает значительное влияние на общее благосостояние населения. Одним из важных аспектов этого бизнеса является обеспечение безопасности на строительной площадке. Выявление опасностей, связанных с производством работ, до того, как они действительно возникнут, является проблемой как для планировщика строительных работ, так и для координатора по вопросам безопасности и здоровья. По словам Шимберского (1997), обеспечение безопасности строительства является главным требованием на концептуальном и предварительном этапах проектирования в соответствии с национальными руководящими принципами OSHA.

С ростом уровня сложности возводимых объектов возрастают риски нарушения техники безопасности при производстве строительно-монтажных работ, что приводит к возникновению несчастных случаев. Доказано, что возможность реагировать на возможные опасности в сфере охраны труда снижается с ростом числа проектных и строительных процессов. Поэтому необходим всеобъемлющий обзор вопросов безопасности, которые зачастую являются временными компонентами на ранних этапах планирования строительного проекта. Планирование мероприятий по обеспечению безопасности производства работ на строительных площадках является чрезвычайно сложной задачей. Поэтому обычная практика подготовки работ и планирование безопасности труда часто осуществляются отдельно. Кроме того, есть много различных участников в процессе строительства, с различными уровнями знаний в сфере безопасности. В результате эти факторы отрицательно влияют на эффективность коммуникации и координации между участниками строительного процесса [1].

В настоящем исследовании планируется показать, каким образом внедрение и использование системы инфор-

**Выводы.** Текущие условия на рабочем месте считаются небезопасными, если отсутствует информация о планируемых мероприятиях по обеспечению безопасности в процессе подготовки к работе. В ней анализируются и характеризуются существующие подходы к охране труда, при этом основное внимание уделяется важности дальнейших исследований, необходимых для улучшения планирования безопасности рабочих мест.

**Ключевые слова:** управление безопасностью строительства, информационное моделирование зданий, 3D-моделирование, техника безопасности, производственные травмы, инструменты.

business are still a major concern. The objective assessment of security planning methods in terms of both qualitative and quantitative factors can be greatly improved through the use of innovative and comprehensive security planning tools. Modern technologies such as information modeling (BIM) offer an object-oriented approach to project life cycle planning.

**Conclusions.** The current conditions at the workplace are considered unsafe if there is no information about the planned measures to ensure safety in the process of preparing for work. It analyzes and characterizes current approaches to occupational safety and health, with a focus on the importance of further research needed to improve workplace safety planning.

**Keywords:** building safety management, building information modeling, 3D modeling, safety, work injuries, tools.

мационного моделирования может повысить безопасность производства работ в строительстве. В нем подробно рассмотрены существующие инновационные подходы и решения в этой сфере, а также выявлены потенциальные направления улучшений, которые могут быть использованы в будущих исследованиях [2].

Обзор существующих подходов к анализу систем обеспечения безопасности при производстве работ в строительстве показал, что в настоящее время не существует комплексного инструмента планирования, который сочетал бы в себе соблюдение всех требований техники безопасности в конкретном проекте. Анализ литературных источников показывает, что 2D-моделирование по-прежнему широко используется при разработке многих строительных проектов. Все данные и корреляции между компонентами оцениваются вручную с использованием текстовых контрольных списков.

Другой проблемой в выявлении возможных нарушений техники безопасности является установление взаимосвязи между процессами строительства во времени и пространстве. Многие инженерно-технические работники (ИТР) еще не в полной мере используют весь потенциал трехмерной модели (3D), позволяющей осуществить визуализацию процессов проектирования и строительства во времени и пространстве и на этой основе выявлять возможные или уже возникшие несоответствия, в том числе и в сфере обеспечения безопасности производства работ.

Следовательно, участники строительства еще не уделяют достаточного внимания важности и роли трехмерных технологий в планировании строительного процесса.

По данным Eastman и др. (2011), «BIM является одной из наиболее перспективных разработок в области архитектуры, машиностроения и строительства (АЕС). С помощью технологии BIM может быть разработана точная виртуальная модель здания в цифровом виде». Управление рисками на основе BIM, обнаружение несоответствий, оценка затрат и 4D-моделирование теперь ста-

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_20

## Существующие системы управления безопасностью в строительстве на основе 3D-моделирования здания

A Review Study of Construction Safety Management Based on a 3D Modelling of the Building

### Зеленцов Леонид Борисович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, lzelencov@yandex.ru

Zelentsov Leonid Borisovich

Ph. D. in Engineering, Professor, Head of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, lzelencov@yandex.ru

### Пирко Дмитрий Владимирович

Магистр ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, dmitwl2000@gmail.com

Pirko Dmitry Vladimirovich

Master of the Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, dmitwl2000@gmail.com

### Свитенко Дмитрий Витальевич

Магистр кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, Dmsvit@mail.ru

Svitenko Dmitry Vitalevich

Master of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, Dmsvit@mail.ru

### Саид Юсиф Салам Саид

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, yousif.salam@uokirkuk.edu.iq

Saeed Yousif Salam Saeed

Graduate student of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, yousif.salam@uokirkuk.edu.iq

### Аль-Саррай Ихсан Али Хусейн

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, ihsanali@uowasit.edu.iq

AL-Sarray Ihsan Ali Hussein

Graduate student of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, ihsanali@uowasit.edu.iq

### Аннотация.

**Цель.** В настоящей статье представлен структурированный обзор исследовательского проекта по управлению безопасностью на основе BIM.

**Методы.** В большинстве случаев планирование безопасности рабочих мест основывается на использовании действующих инструкций, которые не отражают условия производства

работ на конкретном объекте строительства. Планирование безопасности в строительстве является сложной задачей из-за большого числа вовлеченных сторон, постоянно меняющихся условий и сложности объектов. Характер строительных проектов определяется разными этапами выполнения различных работ, и соответственно, и требованиями к процессам планирования мероприятий по охране труда. Это приводит к неравно-

ли постоянными функциями для поддержки управления строительными проектами. Суланкиви и др. (2010) предложили интеграцию BIM и требований безопасности в качестве возможного решения для ликвидации имеющегося разрыва между процессами строительства и вопросами охраны труда и безопасности [3].

Исследования Behm (2005) показали, что 42 % рассмотренных несчастных случаев с летальным исходом на строительной площадке были связаны с проблемами проектирования. В исследованиях Гамбатезе и др. (2008), как и Behm (2005), предоставлены ретроспективные доказательства того, что проектирование напрямую влияет на безопасность рабочих на строительных площадках и может быть улучшено путем рассмотрения этих вопросов при разработке проектной документации.

Материалы и методы

В настоящей статье проводится анализ существующих исследований в сфере планирования безопасности с использованием моделей информационного моделирования. Однако исследование ограничивалось базой данных архивов журнала издательской компании Elsevier, онлайн-архивом группы Тейлора и Фрэнсиса и базой данных междисциплинарного портала SpringerLink. Данное исследование использует статьи в ведущих журналах и информацию других источников: Automation in Construction, Safety Sciences, Journal of Information Technology in Construction, Journal of Construction Engineering and Management, Proceedings of ASCE Conferences, Journal of Architectural Engineering, Journal of Computing in Civil Engineering и других специализированных книг [4].

Для обеспечения структурированного обзора литературы по теме «цифровые строительные модели для поддержки планирования безопасности на строительных площадках» основная литература была систематизирована и представлена в табличной форме (таблица 1), куда были занесены источники, классифицированные по категориям, по степени актуальности рассматриваемых вопросов.

При ближайшем рассмотрении и анализе литературных источников были выделены 16 основных подходов, которые касались цифровых моделей, направленных на улучшение планирования техники безопасности строительных процессов [5].

Литература была проанализирована с помощью ключевых слов и исследовательской направленности и разделена на следующие категории:

- Ручные инструменты для улучшения планирования безопасности (раздел 4.1);
- Возможности визуализации и их потенциал для повышения безопасности (раздел 4.2);
- Автоматический анализ безопасности строительства (раздел 4.3).

Информационное моделирование зданий (BIM) является перспективным направлением повышения стандартов безопасности на строительных площадках. Его можно использовать не только для проектирования объектов строительства, но и для проведения анализа безопасности труда. Учет мероприятий по технике безопасности на ранних стадиях проекта позволяет проверить весь горизонт планирования в отношении соблюдения стандартов безопасности и позволяет осуществить их модификацию и адаптацию к конкретным условиям реализуемого проекта.

Ассоциированные генеральные подрядчики Америки (AGC) описывают BIM как объектно-ориентированное, интеллектуальное и параметрическое цифровое представление объекта (AGC, 2010). Кроме того, BIM-процессы в виртуальных моделях создают возможность обмена информацией всем участникам проекта. Наличие различных приложений в BIM (4D, 5D, 6D) создает возможность для проведения различных исследований в сфере управления инвестиционно-строительной деятельностью. Поддержка управления строительством на раннем этапе планирования с использованием информационного моделирования (BIM) была признана в качестве эффективного инструмента. Разрыв между процессами проектирования и строительства по вопросам охраны труда и техники безопасности может быть решен с помощью информационных моделей строительства путем интеграции требований безопасности в одной программе [6].

BIM предлагает возможность использования одной модели здания, которая может включать соответствующие аспекты безопасности на ранней стадии планирования. Специальные инструменты могут быть использованы для выявления опасностей в рамках модели и сделать их ясными для всех участников проекта. Сообщениями о всех выявленных рисках в сфере безопасности можно управлять с помощью 4D-визуализации [7].

В литературе указывается, что использование цифровой информационной модели здания предполагает несколько возможных способов повышения безопасности производства работ, однако в реальной жизни интеграция планирования безопасности в цифровую модель здания из-за своей сложности по-прежнему является редкостью.

Так называемые инструменты «Проектирования для Безопасности» (DfS) рассматривают аспекты безопасности на этапе планирования для поддержки сотрудничества всех участников проекта. В рассматриваемом исследовании были определены следующие доступные инструменты для повышения безопасности [8].

Проект для строительной безопасности ToolBox, разработанный Гамбатезе и др. (1997), – это программный продукт для оказания помощи проектировщикам в устранении опасностей на строительной площадке. Эта программа позволяет распознать возможные нарушения в сфере безопасности производства работ и дает предложения при проектировании для предотвращения этих проблем. Используемая в программе база данных позволяет увязать информацию о возможных опасностях с конкретными строительными мероприятиями. Однако в моделях зданий нет прямой связи между чертежами и объектами. Элементы здания и его потенциальные опасности могут рассматриваться только индивидуально, но не в сочетании с другими элементами при производстве работ. Сооке и др. (2008) разработали на стадии проектирования инструмент ToolShED для обеспечения безопасности производства работ. Он производит интерактивную оценку рисков в отношении конкретных мероприятий по обеспечению безопасности производства работ от падения с высоты при устройстве и ремонте крыш [9].

Еще одним подходом в этой области является австралийский инструмент обзора последствий оценки строительной опасности (CHAIR). Основное внимание в нем уделяется документации структурированного процесса рассмотрения с использованием подсказок. Инструмент CHAIR предоставляет структурированные руководства

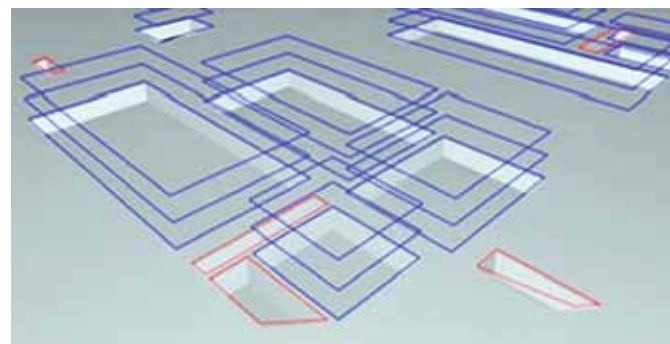
для обнаружения рисков безопасности при строительстве, сносе и техническом обслуживании зданий [10].

Результаты

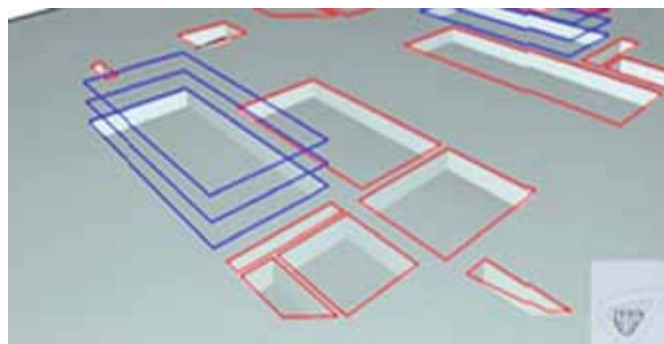
Несколько тематических исследований показывают преимущества инструментов визуализации для оценки строительной безопасности и коммуникации, возможность визуализации выбранных инструкций по технике безопасности и правил в трехмерном виде для повышения

| № п/п | Год публикации | Авторы                                                              | Название документа                                                                                                                     | Направление исследования                                                                                                                                                                 | Ключевые слова исследования                                                                                                                                                              |
|-------|----------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 1994           | Хелен Л., Ник Б., Эндрю С.                                          | Инструмент SHED: Разработка и оценка инструмента поддержки принятия решений для здоровья и безопасности в проектировании строительства | Инструменты Хид Tool SHED                                                                                                                                                                | Строительная отрасль, дизайн, процессы знаний, системы поддержки принятия решений, Австралия                                                                                             |
| 2     | 1997           | Гамбатезе Д., Хинце Дж. В., Хаас, К. Т.                             | Инструмент для проектирования безопасности строительных рабочих                                                                        | Design For Construction Safety ToolBox – компьютерная программа для проектировщиков с целью предупреждения опасностей на стадиях проектирования и строительства                          | Здоровье и безопасность труда                                                                                                                                                            |
| 3     | 2001           | Воарк Ковер                                                         | CHAIR (Обзор последствий оценки строительной опасности)                                                                                | Оценка строительной опасности                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                          |
| 4     | 2002           | Джидикусумо Б., Роулинсон С.                                        | Интеграция реальной строительной модели и базы данных процессов проектирования для обеспечения безопасности                            | Визуализация процесса строительства для оценки конструкций с точки зрения безопасности производства работ (DFSP)                                                                         | Виртуальная реальность, безопасность, идентификация опасностей, строительный процесс, несчастный случай, предосторожность                                                                |
| 5     | 2004           | Джидикусумо Б., Роулинсон С.                                        | Систематизация знаний и инструменты в области безопасности, закладываемые на стадии проектирования                                     | Проектирование мероприятий для обеспечения безопасности на основе базы знаний и виртуальной реальности                                                                                   | Профилактика несчастных случаев, компьютерная графика, компьютерное моделирование, управление информацией, профессиональная безопасность, факторы безопасности                           |
| 6     | 2005           | Шантавит Д., Джидикусумо Б., Чароеннгам К., Роулинсон С.            | 4DCAD-Safety: визуализация проекта, планирование и безопасность                                                                        | 4DCAD-Safety – описание и проверка эффективности приложения                                                                                                                              | Профилактика несчастных случаев на основании компьютерного моделирования опасных зон                                                                                                     |
| 7     | 2005           | Бем М.                                                              | Увязка смертельных исходов при строительстве с концепцией проектирования безопасности строительства                                    | Дизайн для строительства, концепция безопасности                                                                                                                                         | Строительная безопасность, проектирование безопасности                                                                                                                                   |
| 8     | 2010           | Бенджаоран В., Бхоха С.                                             | Интегрированная безопасность на стадии управления строительством с помощью 4D-модели                                                   | Система, основанная на правилах, работа на высоте, исследователь опасности и советник по безопасности                                                                                    | Строительная безопасность, управление безопасностью, интегрированная безопасность, 4D-модель CAD, работа на высоте                                                                       |
| 9     | 2010           | Суланкиви К., Кёхконен К., Мякеля Т., Кивиниеми М.                  | 4D-BIM для строительства. Планирование безопасности                                                                                    | BIM-безопасность, управление безопасностью и система связи визуализации                                                                                                                  | 4D, планирование строительства, планирование безопасности, моделирование строительной информации, сайт планирования                                                                      |
| 10    | 2011           | Кивиниеми М., Суланкиви К., Кёхконен К., Мякеля Т., Меривирта М. Л. | Управление безопасностью и коммуникация на основе BIM для строительства зданий                                                         | Проект BIMbased Safety management and Communication System: использование BIM-технологий для планирования безопасности, управления и коммуникаций в рамках планирования 4D-строительства | Планирование строительства, планирование безопасности, моделирование строительной информации, 4D, планирование сайта                                                                     |
| 11    | 2011           | Ким Х., Ан Х.                                                       | Планирование временного объекта строительного проекта с использованием BIM (Информационное моделирование зданий)                       | Система оценки безопасности, использующая BIM-технологии                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                          |
| 12    | 2011           | Ци Дж., Исса Р. Р. А., Хинце Дж, Ольбина S.                         | Интеграция системы безопасности на стадиях проектирования и строительства с использованием информационного моделирования               | Инструмент «Дизайн для безопасности строительных рабочих» – пакет программного обеспечения с предложениями по безопасности для проектировщиков и строителей                              |                                                                                                                                                                                          |
| 13    | 2013           | Чжан С., Тейзер Дж., Ли Дж. К., Истман К. М., Венугопал М.          | Информационное моделирование зданий (BIM) и безопасность: Автоматическая проверка безопасности строительных моделей и графиков         | Автоматизированная система контроля безопасности для защиты от падения                                                                                                                   | Информационная модель здания (BIM), защита от падения, безопасность строительства, планирование, предотвращение через проектирование (PtD), проверка правил, планирование, моделирование |
| 14    | 2017           | Саид Ю. С.                                                          | Управление безопасностью в строительных проектах                                                                                       | Негативные факторы, обуславливающие несчастные случаи в строительной отрасли                                                                                                             | Управление рисками H&S, строительный проект, здоровье и безопасность (H&S), сотрудник / работник, несчастный случай, травма, анкета                                                      |
| 15    | 2013           | Чоудри Р. М., Фанг Д., Ахмед С. М.                                  | Управление безопасностью в строительстве: лучшие практики в Гонконге                                                                   | Современная система управления безопасностью, здоровьем и окружающей средой в Гонконге                                                                                                   | Безопасность, строительная отрасль, подрядчики, сохранение здоровья на производстве, Гонконг                                                                                             |
| 16    | 2011           | Кивиниеми М., Суланкиви К., Кяхконен К., Мякеля Т., Меривирта М.-Л. | Управление безопасностью и коммуникация на основе BIM для строительства                                                                | Основные результаты исследовательского проекта BIM Safety (управление безопасностью на основе BIM и системы связи)                                                                       | Планирование строительства, планирование безопасности, информационное моделирование строительства, 4D, планирование участка                                                              |

Табл. 1. Обзор тематических документов  
Tab. 1. Overview of thematic papers



а) Ограждение крыши в соответствии с руководящими принципами OSHA



б) Ограждение крыши в соответствии с руководящими принципами и немецким стандартом

Рис. 1. Подробный 3D-вид систем защиты от падения

Fig. 1. Detailed 3D view of fall protection systems

ру, чем традиционные двухмерные планы. Общее бумажное практическое решение плана безопасности показано на рисунке 2 слева, чтобы продемонстрировать его различия с моделью на основе решения справа. Визуализация показывает смоделированное оборудование безопасности для защиты от падения на определенном этапе строительства [11].

3D-визуализация позволяет пользователю анализировать и исследовать будущую стройплощадку в виртуальной среде. Потенциально опасные зоны можно легко выявить и отразить в рамках 3D-модели. Например, Суланкиви и др. (2010) использовали 3D-визуализацию для проверки достаточности вылета стрелы крана для подъема груза и перемещения в заданную зону монтажа. Эта модель помогает планировщику строительства оценить связанные с этим риски в случае падения груза крана. Ким и Ан (2011) предложили метод временного планирования строительных лесов с помощью BIM. По их словам, многие несчастные случаи происходят из-за неправильно расположенных строительных лесов. С помощью ArchiCAD и Google SketchUP была создана 3D-модель, которая позволяет визуально представлять объекты и структуру этих точных положений [12].

Важнейший момент планирования охраны труда определяется динамичным характером условий производства строительно-монтажных работ и окружающей средой. Для визуализации последовательности монтажа конструкций необходимо это отразить в 3D-модели. Chantawit и др. (2005) разработали инструмент 4DCAD-Safety («безопасность»), который предоставляет инфор-



Рис. 2. Пример традиционного подхода к разработке плана безопасности для выделения охранных зон с помощью поручней и ограждений (слева) и 3D-модель планирования безопасности (справа)

Fig. 2. An example of a traditional approach to developing a security plan for delimiting security zones using handrails and fences (left) and a 3D security planning model (right)

мацию координатору по охране здоровья и безопасности для анализа и принятия решения по планированию безопасности производства работ, чтобы знать, где, когда, почему и какие меры безопасности необходимо предпринять. Пользователь должен вручную назначить 3D-модель, расписание производства работ и требования безопасности. Отображая и скрывая 3D-объекты, можно достичь 4D-моделирования, в зависимости от графика строительства.

Исследователи из Центра технических исследований VTT в Финляндии разработали систему управления безопасностью на основе BIM. Они предложили использовать 4D-BIM в качестве центральной технологии планирования безопасности на строительных площадках. В рамках этого проекта Tekla Structure 15 использовалась для создания 4D BIM-модели, включая перила безопасности, связанные со строительными задачами. После увязки графика производства работ соответствующих объектов с моделью стало возможным визуализировать статус проекта на разных стадиях.

Хадикусумо и Роулинсон (2002, 2004) предложили инструмент для разработки процесса безопасности (DFSP), который позволил бы пользователю сделать пошаговое виртуальное моделирование проекта. Это позволяет выявить угрозы безопасности, связанные со строительными конструкциями, а также предложить меры предосторожности, необходимые для предотвращения потенциальных аварий и несчастных случаев. Этот инструмент основан на использовании эмпирических знаний инженеров по охране труда для предотвращения травматизма при производстве строительных работ.

Большинство имеющихся инструментов и методов в основном используется для моделирования и визуализации потенциально опасных участков в зоне производства работ, однако они не дают оценки выявленных рисков и выработки альтернативных решений.

#### Обсуждение

Разработки в области ИТ-систем поддержки безопасности приводят к автоматическому анализу уровня безопасности строительства на основе объектно-ориентированных моделей строительства. Бенджаоран и Блоха (2010) описали интегрированную систему управления безопасностью строительства с помощью модели 4D CAD.

Они разработали основанную на правилах систему для анализа и автоматического обнаружения опасных факторов при работе на высоте и указаний, необходимых для обеспечения требований безопасности. Разработанный прототип идентифицирует рабочие опасности на высоте

в соответствии с текущим состоянием строительного проекта.

Ци и др. (2011) разработали инструмент – систему проверки безопасности строительства на основе набора заранее определенных правил безопасности. Пользователю необходимо выбрать определенный набор правил, которые будут проверены на основании 3D-модели здания. Этот инструмент поддерживает архитекторов на этапе проектирования путем минимизации возможных рисков травматизма при производстве работ с помощью предоставления альтернативных вариантов проектирования в случае выявления опасности.

Также существует еще один инструмент для автоматического анализа безопасности строительства – это применение автоматизированного алгоритма проверки правил безопасности к BIM с целью повышения безопасности на строительных площадках в отношении опасностей, связанных с падением. Процесс проверки правил, разработанный Чжан и др. (2013), состоит из четырех основных этапов:

- 1) разработка правил,
- 2) подготовка строительной модели,
- 3) выполнение правил,
- 4) подготовка отчета о результатах проверки.

Основное внимание в этом исследовании уделяется автоматизированному моделированию систем защиты от падения с высоты, основанных на объектно-ориентированных строительных моделях. Предлагаемая структура позволяет планировать безопасность на начальных этапах планирования с высоким уровнем детализации (рисунки 3).

Таким образом, большинство исследований в сфере планирования безопасности на строительных площадках с использованием BIM сосредоточено на визуализации и координации коммуникаций на месте. Лишь недавно они обратились к объектно-ориентированному анализу производственных рисков.

#### Заключение

Обзор подходов к управлению безопасностью строительства, основанных на 3D-модели здания, показывает, что решения в области информационных технологий мо-

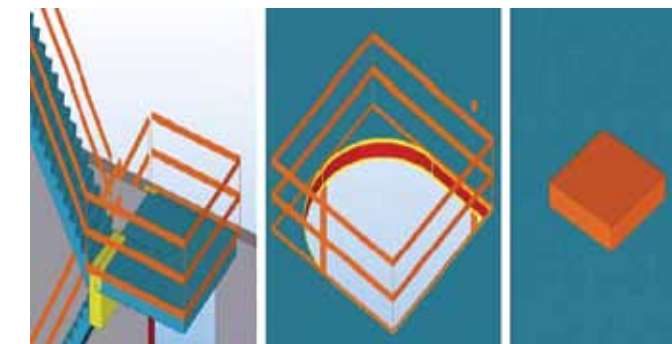


Рис. 3. Визуализация защитных элементов обеспечения безопасности, генерируемых автоматизированной системой проверки правил безопасности

Fig. 3. Visualization of protective elements of security generated by an automated system for checking security rules

гут способствовать повышению безопасности строительных работ. Многомерная визуализация цифровой модели здания помогает выявлять и сообщать об угрозах безопасности. Ручные инструменты не могут быть напрямую связаны с информационной моделью здания, и недостатки их использования наглядно продемонстрированы.

Существует лишь несколько исследовательских подходов, указывающих на то, каким образом специальные инструменты могут выполнять автоматический анализ безопасности на основе цифровой модели здания. Основными преимуществами этой процедуры являются качество плана обеспечения безопасности строительства, которое значительно меньше зависит от опыта лица, принимающего решение, и, кроме того, есть возможность указать зависимость элементов оборудования безопасности и конструктивных элементов здания.

Существует необходимость в эмпирических исследованиях в этой области для обоснования потенциала комплексного плана обеспечения безопасности в отношении специалистов отрасли. Будущие исследования должны быть сосредоточены на ограничениях существующих инструментов, показанных в этой статье, чтобы провести всесторонний анализ безопасности строительства, планирование и разработать соответствующие коммуникационные инструменты [13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дронов, Д. С. Проблемы внедрения BIM-технологий в России / Д. С. Дронов, Н. Р. Киметова, В. П. Ткаченко // Синергия Наук. – 2017. – № 10. – С. 529–549.
2. Буравлева, А. Ф. Внедрение BIM-технологий в процесс проектирования и строительства объектов недвижимости / А. Ф. Буравлева, Н. А. Клипина, М. О. Крутилова // Вестник научных конференций. – 2016. – № 10-3 (14). – С. 36–39.
3. Kulkarni, S. B. Cost Control Technique Using Building Information Modeling (BIM) For a Residential Building / S. B. Kulkarni, G. Mhetar // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2017. – V. 10, № 1. – P. 324–330.
4. Мамаев, А. Е. Прикладное применение BIM-модели здания для контроля инвестиционно-строительного проекта / А. Е. Мамаев, В. В. Шарманов, Ю. С. Золотова, В. А. Свинцкий, Г. С. Горюнов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 1-3. – С. 83–87.
5. Давыдов, Н. С. Внедрение BIM-технологий в части ценообразования посредством использования систем автоматизации выпуска сметной документации / Н. С. Давыдов, С. В. Придвижкин, А. В. Белькевич // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы Всерос. науч.-практ. конф. 29-30 марта 2018 г., Санкт-Петербург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т». – Санкт-Петербург, 2018. – С. 40–45.
6. Forgues, D. Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: A Case Study / D. Forgues, I. Iordanova, F. Valdivieso, S. Staub-French. – DOI 10.1061/9780784412329.079 // Construction Research Congress: Construction Challenges in a Flat World (ASCE 2012). – USA : American Society of Civil Engineers (ASCE). – 2012. – P. 778–786.
7. Алексеевская, Я. А. Разработка концепции ресурсно-информационной BIM-модели и ее взаимодействие с системой ценообразования и сметного нормирования / Я. А. Алексеевская // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы Всерос. науч.-практ. конф. 29–30 марта 2018 г., Санкт-Петербург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т». – Санкт-Петербург, 2018. – С. 40–45.
8. Lan, L. BIM-based cost management of large engineering projects / L. Lan // 2nd International Conference on Education Technology and Information System (ICETIS 2014), China. – China, 2014. – P. 442–445.
9. Smith, P. Project cost management with 5D BIM / P. Smith. – DOI 10.1016/j.sbspro.2016.06.179 // 29th World Congress

International Project Management Association (IPMA 2015), Panama. – Panama, 2016. – P. 193–200.

10. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах : СП 331.1325800.2017 : Свод правил : утв. и введ. в дейст. Приказом Мин-ва строит-ва и жилищ-ком. хоз-ва Рос. Фед. от 18 сент. 2017 г. № 1230/пр и введ. в действ. с 19 марта 2018 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). – Москва : Минстрой, 2017. – 32 с.
11. Kim, D. Automatic Estimation System of Building Frames with Integrated Structural Design Information (AutoES) / D. Kim,

## REFERENCES

1. Dronov, D. S. Problemy vnedreniya BIM-tekhnologiy v Rossii [Problems of introduction of BIM-technologies in Russia] / D. S. Dronov, N. R. Kimetova, V. P. Tkachenkova // Sinergiya Nauk [Synergy of Sciences]. – 2017. – № 10. – P. 529–549.
2. Buravleva, A. F. Vnedrenie BIM-tekhnologii v protsess proektirovaniya i stroitel'stva ob'ektov nedvizhimosti [The introduction of BIM-technologies in the design and construction of real estate] / A. F. Buravleva, N. A. Klipina, M. O. Kruttilova // Vestnik nauchnikh konferentsij [Bulletin of Scientific Conferences]. – 2016. – № 10-3 (14). – P. 36–39.
3. Kulkarni, S. B. Cost Control Technique Using Building Information Modeling (BIM) For a Residential Building / S. B. Kulkarni, G. Mhetar // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2017. – V. 10, № 1. – P. 324–330.
4. Mamaev, A. E. Prikladnoe primenenie BIM-modeli zdaniya dla kontrolya investitsionno-stroitel'nogo proekta [Applied application of the BIM-model of the building to control the investment and construction project] / A. E. Mamaev, V. V. Sharmanov, Y. S. Zolotova, V. A. Svetsitsky, G. S. Gorodnyuk // Aktual'nye problemy humanitarnikh i estestvennikh nauk [Actual problems of the humanities and natural sciences]. – 2016. – № 1-3. – P. 83–87.
5. Davydov, N. S. Vnedrenie BIM-tehnologiy v chasti tseonoobrazovaniya posredstvom ispol'zovaniya sistem avtomatizatsii v voprosakh vypuska smetnoj dokumentatsii [Implementation of BIM technologies in the part of pricing by means of using automation systems of issue estimate documentation] / N. S. Davydov, S. V. Pridvishkin, A. V. Bel'kevich // BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury : Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. 29-30 marta 2018 g., Sankt-Peterburg [BIM-modeling in the problems of construction and architecture : Materials Russian scientific and practical conference 29–30 March 2018] / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Feder. gos. budzhet. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. obrazovaniya «Sankt-Petersburgskij gos. arkh.-stroit. un-t» [The Ministry of Education and Science, Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering»]. – Saint-Petersburg, 2018. – P. 8–13.
6. Forgues, D. Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: A Case Study / D. Forgues, I. Iordanova, F. Valdivieso, S. Staub-French. – DOI 10.1061/9780784412329.079 // Construction Research Congress: Construction Challenges in a Flat World (ASCE 2012). – USA : American Society of Civil Engineers (ASCE). – 2012. – P. 778–786.
7. Alekseevskaya, Y. A. Razrabotka kontseptsii resursno-informatsionnoj BIM-modeli i ee vzaimodeistvie s sistemoy tseonoobrazovaniya i smetnogo normirovaniya [Development of the concept of resource-information BIM model and its interaction

- with the pricing system and estimate rationining] / Y. A. Alekseevskaja // BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury : Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. 29-30 marta 2018 g., Sankt-Peterburg [BIM-modeling in the problems of construction and architecture : Materials of the Russian scientific and practical conference 29–30 March 2018] / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Feder. gos. budzhet. obrazovat. Uchrezhdenie vyssh. obrazovaniya «Sankt-Petersburgskij gos. arkh.-stroit. un-t» [The Ministry of Education and Science, Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering»]. – Saint-Petersburg, 2018. – P. 40–45.
8. Lan, L. BIM-based cost management of large engineering projects / L. Lan // 2nd International Conference on Education Technology and Information System (ICETIS 2014), China. – China, 2014. – P. 442–445.
9. Smith, P. Project cost management with 5D BIM / P. Smith. – DOI 10.1016/j.sbspro.2016.06.179 // 29th World Congress International Project Management Association (IPMA 2015), Panama. – Panama, 2016. – P. 193–200.
10. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila obmena mezhdru informatsionnymi modelyami ob'ektov i modelyami, ispol'zuemyimi v programmnykh kompleksakh [Information modeling in construction. Rules for the exchange between information models of objects and models used in software systems] : SP 331.1325800.2017 : Svod pravil : utv. i vved. v dejst. Prikazom Min-va stroit-va i zhilishh.-kom. khoz-va Ros. Fed. ot 18 sent. 2017 g. № 1230/pr i vved. v dejstv. s 19 marta 2018 [Set of rules : approved and introduced. in fact. By order of the Ministry of Construction and Housing-com. The household grew. Fedot 18 Sep. 2017 № 1230/pr and introduction. effective from March 19, 2018] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii (Rosstandart) [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)]. – Moscow : Minstroy, 2017. – 32 p.
11. Kim, D. Automatic Estimation System of Building Frames with Integrated Structural Design Information (AutoES) / D. Kim, C. Lim, Y. Liu, S. Kim. – DOI 10.1007/s40996-019-00308-5 // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2019. – Vol. 44, № 6. – P. 1145–1157.
12. Shik, A. M. Predvaritel'nyi raschiot ob'emov rabot na osnove informatsionnogo modelirovaniya zdaniy / A. M. Shik, A. E. Vysotskiy, T. Halil, M. V. Petrochenko. – DOI 10.18720/CUBS.55.8 // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. – 2017. – № 4 (55). – C. 124–134.
13. Elbeltagi, E. BIM-Based Cost Estimation / Monitoring For Building Construction / E. Elbeltagi, O. Hosny, M. Dawood, A. Elhakeem // Int. Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 4, iss. 7. – P. 56–66.

- with the pricing system and estimate rationining] / Y. A. Alekseevskaja // BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury : Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. 29-30 marta 2018 g., Sankt-Peterburg [BIM-modeling in the problems of construction and architecture : Materials of the Russian scientific and practical conference 29–30 March 2018] / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Feder. gos. budzhet. obrazovat. Uchrezhdenie vyssh. obrazovaniya «Sankt-Petersburgskij gos. arkh.-stroit. un-t» [The Ministry of Education and Science, Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering»]. – Saint-Petersburg, 2018. – P. 40–45.
8. Lan, L. BIM-based cost management of large engineering projects / L. Lan // 2nd International Conference on Education Technology and Information System (ICETIS 2014), China. – China, 2014. – P. 442–445.
9. Smith, P. Project cost management with 5D BIM / P. Smith. – DOI 10.1016/j.sbspro.2016.06.179 // 29th World Congress International Project Management Association (IPMA 2015), Panama. – Panama, 2016. – P. 193–200.
10. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila obmena mezhdru informatsionnymi modelyami ob'ektov i modelyami, ispol'zuemyimi v programmnykh kompleksakh [Information modeling in construction. Rules for the exchange between information models of objects and models used in software systems] : SP 331.1325800.2017 : Svod pravil : utv. i vved. v dejst. Prikazom Min-va stroit-va i zhilishh.-kom. khoz-va Ros. Fed. ot 18 sent. 2017 g. № 1230/pr i vved. v dejstv. s 19 marta 2018 [Set of rules : approved and introduced. in fact. By order of the Ministry of Construction and Housing-com. The household grew. Fedot 18 Sep. 2017 № 1230/pr and introduction. effective from March 19, 2018] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii (Rosstandart) [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)]. – Moscow : Minstroy, 2017. – 32 p.
11. Kim, D. Automatic Estimation System of Building Frames with Integrated Structural Design Information (AutoES) / D. Kim, C. Lim, Y. Liu, S. Kim. – DOI 10.1007/s40996-019-00308-5 // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2019. – Vol. 44, № 6. – P. 1145–1157.
12. Shik, A. M. Predvaritel'nyi raschiot ob'emov rabot na osnove informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM-Based Quantity Takeoff] / A. M. Shik, A. E. Vysotsky, T. Halil, M. V. Petrochenko. – DOI 10.18720/CUBS.55.8 // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of Unique Buildings and Structures]. – 2017. – № 4 (55). – P. 124–134.
13. Elbeltagi, E. BIM-Based Cost Estimation / Monitoring For Building Construction / E. Elbeltagi, O. Hosny, M. Dawood, A. Elhakeem // Int. Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 4, iss. 7. – P. 56–66.

УДК 624.05

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_27

## Технология пассивного монтажа железобетонных конструкций на новых физических принципах в условиях Ирака

The Technology of Passive Installation of Reinforced Concrete Structures in the Conditions of Iraq

Абасс Агадир Ахмед Абасс

Аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; Университет Дияла, Бакуба, 32001, Дияла, Ирак; aghadeera@gmail.com

Abass Agadeer Ahmed Abass

Postgraduate student of the Department of Industrial, Civil Engineering and Real Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 19; University of Diyala, Baqubah, 32001, Diyala city, Iraq; aghadeera@gmail.com

### Аннотация.

**Цель.** Разработка энергоэффективных способов дифференцированного пассивного монтажа полносборных железобетонных конструкций в условиях Ирака. Эти методы позволяют возводить полносборные здания с максимально возможной энергоэффективностью сборных конструкций за счет использования прецизионных управляющих элементов, требующих нулевых затрат энергии, таких как петли и пружины, для ускорения монтажа сборных элементов.

**Методы.** Методические разработки направлены на повышение энергоэффективности процессов строительства зданий и сооружений, скорости монтажа, уровня технологичности различных технологий и оптимальный выбор высокотехнологичных и энергоэффективных схем монтажа.

**Результаты.** Оценен показатель комплексной энергоэффективности возведения полносборных зданий на основе энергозатрат строительного процесса с учетом новых разработанных

### Abstract.

**Purpose.** Development of energy-efficient methods for differentiated passive installation of precast concrete structures in Iraq. These methods allow buildings to be constructed with the highest possible energy efficient prefabricated building design by using precision zero-energy control elements such as hinges and springs to expedite the assembly of prefabricated elements.

**Methods.** Methodological developments are aimed at improving the energy efficiency of the construction processes of buildings and structures, the speed of installation, the level of manufacturability of various technologies and the choice of high-tech and energy-efficient installation schemes.

**Results.** The index of integrated energy efficiency of the construction of prefabricated buildings was estimated based on the energy costs of the construction process, taking into account the new developed methods of technological, energy efficient and

### Введение

Строительная отрасль Ирака находится в суровых условиях из-за использования традиционного метода строительства, который обычно представляет собой монолитную систему, где доля ручного труда значительно превышает долю механизированного. Существующие монолитные строительные системы имеют ряд недостатков: длительные сроки возведения; значительный вес конструкций; невозможность повторно использовать элементы при необходимости; погодные факторы, влияющие на ход работ и рабочих. Поэтому существует реальная необходимость изменить систему, используемую в Ираке, идя в ногу с развитием строительной отрасли в развитых странах [1].

Наиболее важными из факторов, оказывающих влияние на выбор строительных методов, являются природно-

способов технологичного, энергоэффективного и скоростного возведения полносборных зданий в условиях Ирака.

**Выводы.** Разработаны новые классификации строительных систем и методов монтажа в условиях Ирака на основе энергозатрат монтажного процесса, за счет использования пассивных монтажных элементов в технологических процессах строительства. Показано, что затраты энергии между четырьмя разработанными строительными системами достигают поставленных целей и задач, а также высокотехнологичного уровня разработанных решений. Выяснилось, что системой с наименьшими энергозатратами и машиноемкостью из четырех разработанных систем является система ОБД.

**Ключевые слова:** строительная отрасль Ирака; железобетонные конструкции; методы пассивного монтажа; сборные элементы; системы (КУБ–2.5, КПД, ПКД, ОБД); быстровозводимые здания; энергоэффективность в строительстве.

high-speed construction of prefabricated buildings in Iraq.

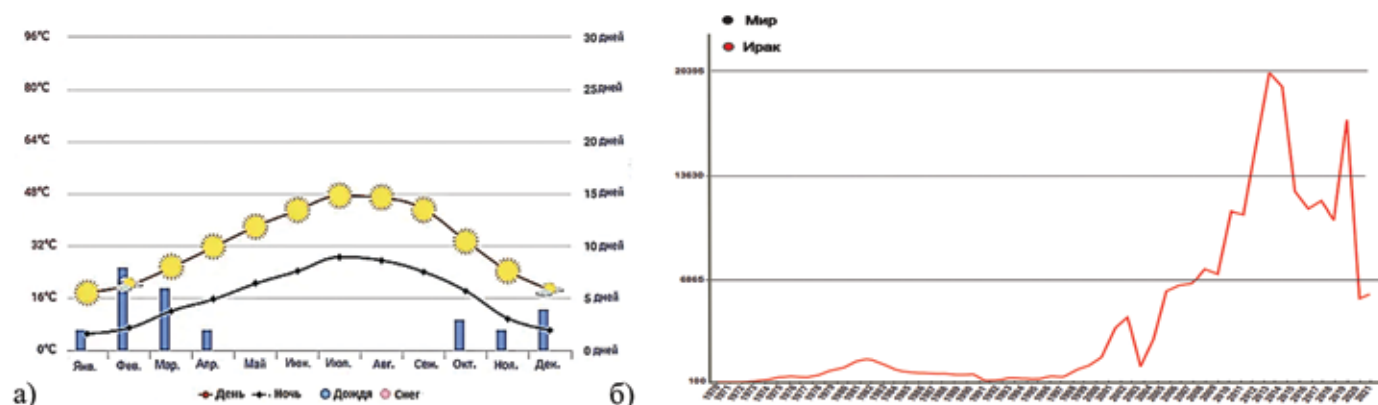
**Conclusions.** Developed new classifications of building systems and installation methods in the conditions of Iraq on the basis of the energy consumption of the installation process, through the use of passive installation elements in the technological processes of construction. It is shown that the energy costs between the four developed building systems achieve the goals and objectives, as well as the high-tech level of the developed solutions. It turned out that the system with the lowest energy consumption and machine intensity of the four developed systems is the OBD system.

**Keywords:** construction industry in Iraq; reinforced concrete structures; passive installation methods; prefabricated elements; systems (KUB–2.5, PKD, KPD, OBD); prefabricated buildings ;energy efficiency in construction.

климатические факторы, поскольку в ближайшие годы в Ираке, согласно прогнозам, периоды сильной жары будут происходить чаще, а температура будет достигать 50°C, что представляет собой профиль риска в строительстве (рисунок 1а). Температура в середине дня в летние месяцы, особенно в июне, июле и августе, очень высока, что значительно затрудняет ход работ.

Это создает необходимость изменения методов, которые позволили бы вести строительные работы в жаркие летние месяцы с минимальным воздействием на строительные объекты [2].

Существует также необходимость возведения зданий в короткие сроки, принимая во внимание быстрый рост численности населения в Ираке, которая в настоящее время превышает 40 миллионов человек, разрушенную инфраструктуру в результате военных действий в прошлом

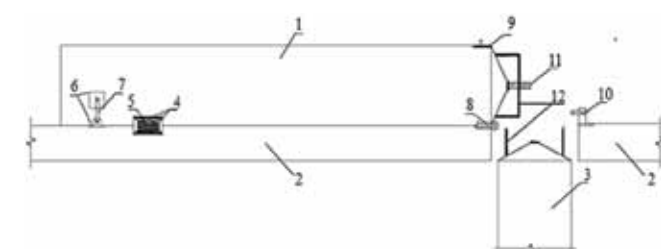


**Рис. 1.** а) Среднемесячные температуры и погода, солнечные и облачные дни. Годовое количество осадков и снегопадов в Багдаде в 2015–2022; б) Рост строительства в Ираке в 1970–2021

**Fig. 1.** а) Average monthly temperatures and weather, sunny and cloudy days. Annual rainfall and snowfall in Baghdad, 2015–2022; б) Growth of construction in Iraq, 1970–2021

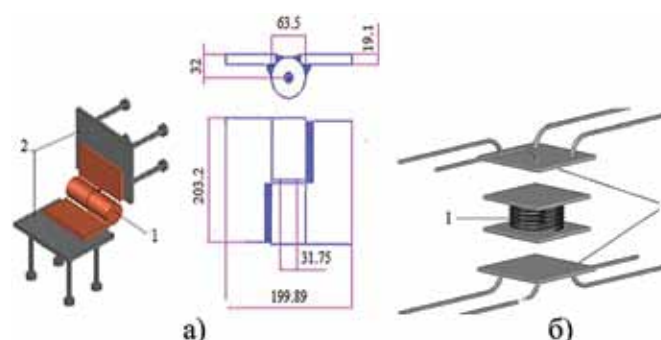
и простой в строительном секторе, в соответствии с реальной потребностью в жилье населения, проживающего в Ираке (рисунок 1б).

Целью исследования предложен поиск новых и инновационных энергоэффективных способов дифференцированного пассивного монтажа полносборных железобетонных конструкций с использованием прецизионных управляющих элементов, требующих нулевых затрат энергии, таких как петли и пружины, чтобы эффективно способствовать решению реальной проблемы, связанной с жилищным сектором в Ираке [3].



**Рис. 2.** Детали компонентов и узлов для предлагаемой сборной модели (панель с колонной): 1 – колонны, 2 – панели перекрытия, 3 – нижняя колонка, 4 – закладные детали, 5 – пружина, 6 – закладные детали, 7 – замок, 8 – петли, 9 – закладные детали, 10 – замок-блокиратор, 11 – стержень, 12 – арматура

**Fig. 2.** Details of components and assemblies for the proposed prefabricated model (panel with a column): 1 – columns, 2 – floor panels, 3 – lower column, 4 – embedded parts, 5 – spring, 6 – embedded parts, 7 – lock, 8 – hinge, 9 – embedded parts, 10 – lock-blocker, 11 – rod, 12 – reinforcement



**Рис. 3.** Детали петли с размерами: а) детали петель (1 – петли, 2 – закладные детали); б) детали пружин (1 – пружина, 2 – закладные детали)

**Fig. 3.** Details of the hinge with dimensions: а) details of the hinge (1 – hinges, 2 – embedded parts); б) parts of springs: (1 – spring, 2 – embedded parts)

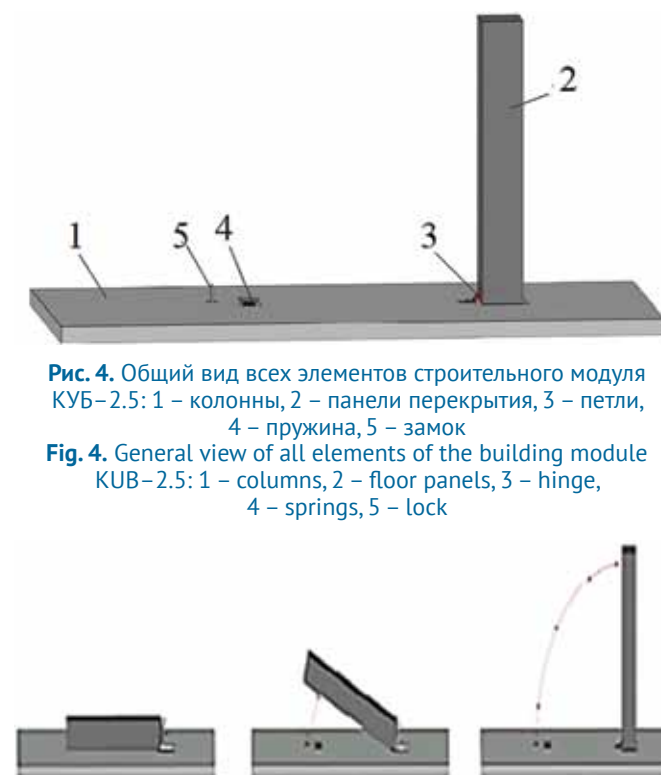
### Материалы и методы пассивного монтажа элементов железобетонных конструкций

Для четырехэтажного здания были разработаны четыре энергоэффективные технологии пассивного монтажа полносборных железобетонных конструкций с использованием прецизионных управляющих элементов, требующих нулевых затрат энергии, таких как петли и пружины.

Первой конструктивной системой, которую было предложено разработать, стала система **КУБ–2.5** [4].

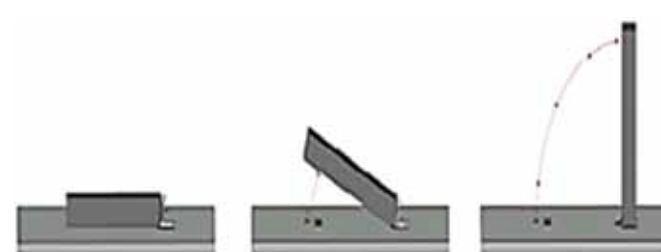
Основа этой системы заключается в использовании энергоэффективных механизмов, таких как петли и пружины, требующих нулевых затрат энергии.

На рисунке 2 показаны сборные элементы, которые производятся на заводе: панели двух модификаций – размерами 2980 x 2980 x 160 мм и 2980 x 5980 x 160 мм, колонна высотой 3000 мм с сечением 400 x 400 мм. Колонна устанавливается вместе с панелью с помощью пет-



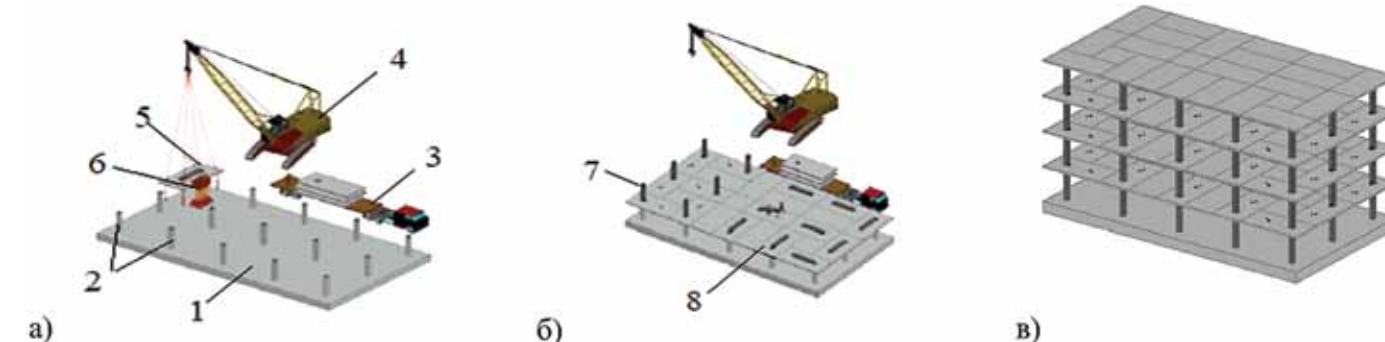
**Рис. 4.** Общий вид всех элементов строительного модуля КУБ–2.5: 1 – колонны, 2 – панели перекрытия, 3 – петли, 4 – пружина, 5 – замок

**Fig. 4.** General view of all elements of the building module KUB–2.5: 1 – columns, 2 – floor panels, 3 – hinge, 4 – springs, 5 – lock



**Рис. 5.** Этапы процесса монтажа пассивной сборки предлагаемой сборной модели

**Fig. 5.** Stages of the installation process of the passive assembly of the proposed prefabricated model



**Рис. 6.** а) Установка собранных элементов в указанном месте над фундаментом: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – грузовая платформа, 4 – гусеничный кран, 5 – собранные элементы, 6 – ножничный подъемник; б) Установка сборных элементов на 1-м этаже: 7 – пассивные сборные элементы в проектное положение, 8 – пассивные сборные элементы в монтажном положении; в) Завершенное здание

**Fig. 6.** а) Installation of the assembled elements in the indicated place above the foundation: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – platform truck, 4 – crawler crane, 5 – assembled elements, 6 – scissor lift; б) Installation of prefabricated elements on the 1st floor: 7 – passive prefabricated elements in the design position, 8 – passive prefabricated elements in the installation position; в) Completed building

ли и транспортируется как одно целое (рисунок 3а). Для увеличения скорости монтажа пружина (рисунок 3б) устанавливается на определенном расстоянии от концов панели, которая выполняет толкание колонны и помогает зафиксировать ее по вертикали во время монтажа (рисунки 4, 5). По обеим сторонам колонн и панелей установлен железный фиксатор, который помогает предотвратить давление пружины на колонны во время их транспортировки с помощью крана по строительной площадке.

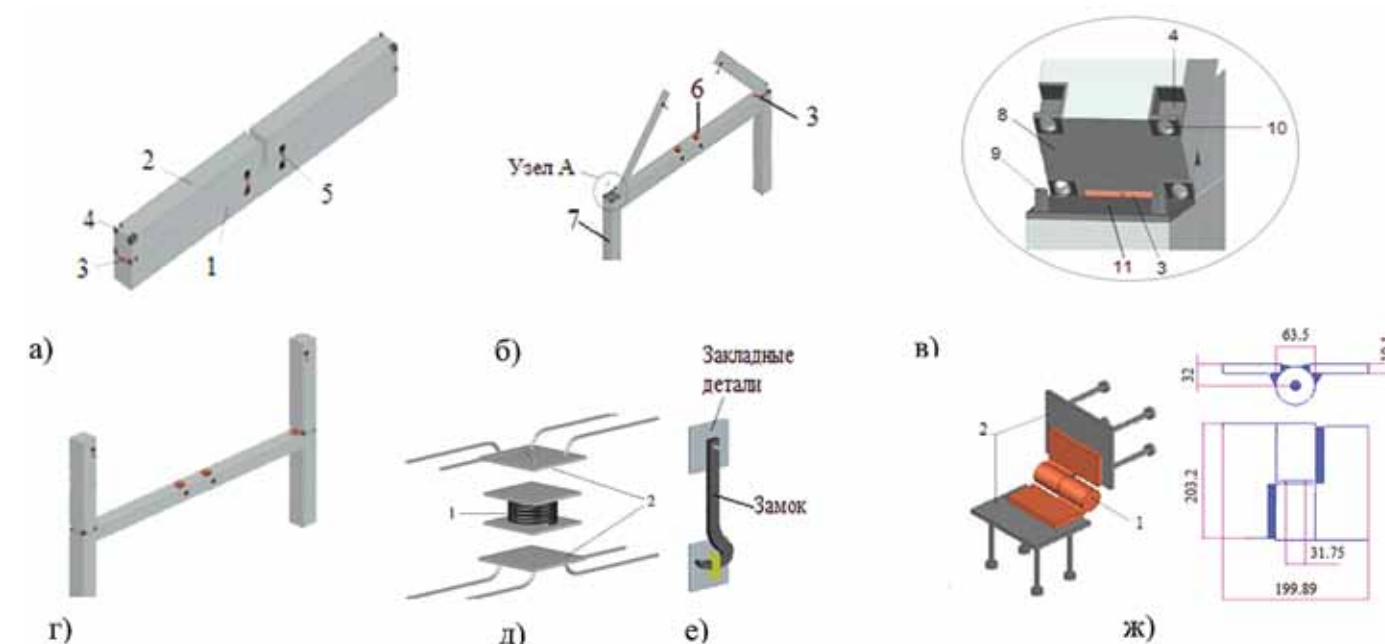
Это техническое решение помогает в быстром монтаже элементов, уменьшает количество сложных технических процессов и сокращает сроки строительства здания за счет максимальной заводской подготовки элементов, снижает трудозатраты и затраты за счет уменьшения количества использования крана для подъема элементов во время установки, поскольку вместо того, чтобы под-

нимать элемент каждый раз, он поднимает два элемента вместе [5].

На рисунке 6 показаны этапы технологии монтажа системы КУБ–2.5 и оборудование, помогающее в процессе установки.

Вторая разработка была предложена в системе **ПКД**. Та же самая инновационная идея системы КУБ–2.5 была применена к системе ПКД, которая заключается в использовании энергосберегающих механизмов, таких как петли и пружины.

Осуществление идеи начинается со сборных элементов, производящихся на заводе: две колонны высотой 3000 мм и сечением 400 x 400 мм каждая, которые устанавливаются вместе с ригелем длиной 6200 мм и сечением 400 x 400 мм с помощью петли и транспортируются как одно целое, а две пружины устанавливаются на опре-



**Рис. 7.** а) Общий вид узла соединения двух колонн и ригеля, предварительно собранных на заводе: 1 – ригель, 2 – колонны, 3 – петли, 4 – железный угол с отверстием, 5 – замок; б) Общий вид узла соединения после открытия замка: 3 – петля, 6 – пружина, 7 – колонна; в) Узел соединения: 8 – металлическая пластина, 9 – затяжной винт, 10 – отверстие, 11 – металлическая пластина; г) Установка колонны вертикально в результате толкания пружины; д) Детали пружин: 1 – пружина, 2 – закладные детали; е) Замок с закладными деталями; ж) Детали петли с размерами: 1 – петли, 2 – закладные детали

**Fig. 7.** а) General view of the connection node, two columns and crossbars are pre-assembled at the factory: 1 – crossbar, 2 – columns, 3 – hinges, 4 – iron angle with a hole, 5 – lock; б) General view of the connection node after opening the lock: 6 – spring, 7 – column; в) Connection node: 8 – metal plate, 9 – tightening screw, 10 – hole, 11 – metal plate; г) Setting the column vertically as a result of pushing the spring; д) Parts of springs: 1 – spring, 2 – embedded parts; е) Details of the hinge with its dimensions: 1 – hinge, 2 – embedded parts

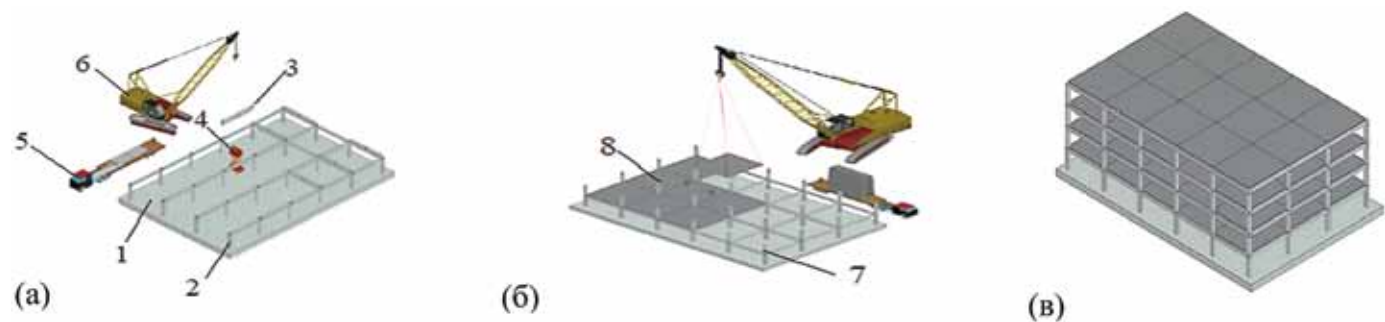


Рис. 8. а) Установка собранных элементов: 1 – фундамент, 2 – колонны, 3 – собранные элементы, 4 – ножничный подъемник, 5 – грузовик-платформа, 6 – гусеничный кран; б) Пассивные сборные элементы в проектном положении: 7 – колонна в вертикальном положении, 8 – плиты перекрытия; в) Завершенное здание

Fig. 8. a) Installation of the assembled elements: 1 – foundation, 2 – columns, 3 – assembled elements, 4 – scissor lift, 5 – platform truck, 6 – crawler crane; б) Passive prefabricated elements in the design position: 7 – column in a vertical position, 8 – slabs; c) Completed building

деленном расстоянии на ригеле, который выполняет толкание колонн и помогает зафиксировать их по вертикали. По обеим сторонам колонн и ригелей установлен железный фиксатор, который помогает предотвращать давление пружин на колонны во время их транспортировки с помощью крана по строительной площадке (рисунок 7).

Это техническое решение помогает ускорить процесс установки элементов на строительной площадке за счет сокращения количества использования крана для подъема элементов во время установки, поскольку вместо того, чтобы поднимать элемент каждый раз, он поднимает три элемента вместе, и это позволяет сократить время и тем

самым снизить затраты [6]. Механизм монтажа предлагаемой технологии можно рассмотреть на рисунке 8.

Третья разработка была предложена в системе **КПД** (рисунок 9), чтобы облегчить и ускорить процесс монтажа. Многоэтажные бескаркасные крупнопанельные здания состоят из 4 этажей. Основная часть разработки в этом методе – крепление стен, где стены закреплены и соединены между собой на заводе с помощью шарнирных петель (рисунок 10а) и металлических строительных уголков (рисунок 10б) для фиксации стен при транспортировке, чтобы их можно было доставить на строительную площадку грузовиками [7], после чего сборные стены раз-

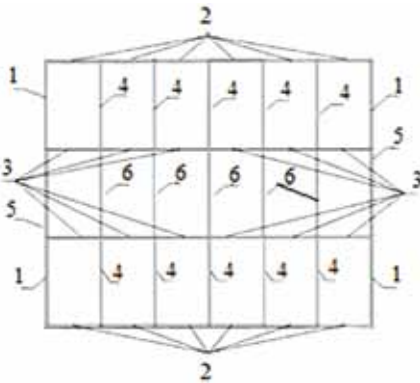


Рис. 9. Верхний план с указанием расположения стен  
Fig. 9. The top plan showing the location of the walls

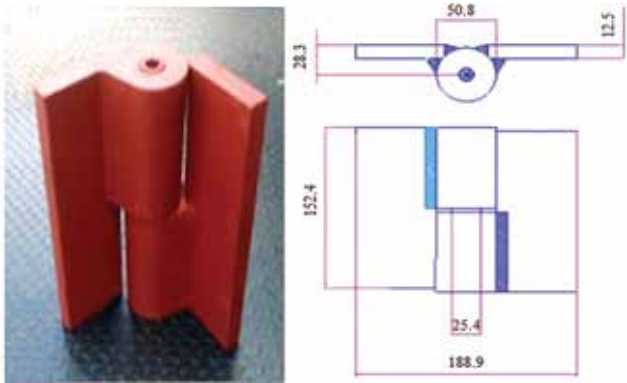


Рис. 10. Детали петли с размерами  
Fig. 10. hinge details with dimensions

|                                               |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------|--|--|--|--|
| Стены в сборном виде во время транспортировки |  |  |  |  |
| Стены при монтаже                             |  |  |  |  |

Табл. 1. Стены при монтаже на строительной площадке  
Tab. 1. Walls during installation at the construction site

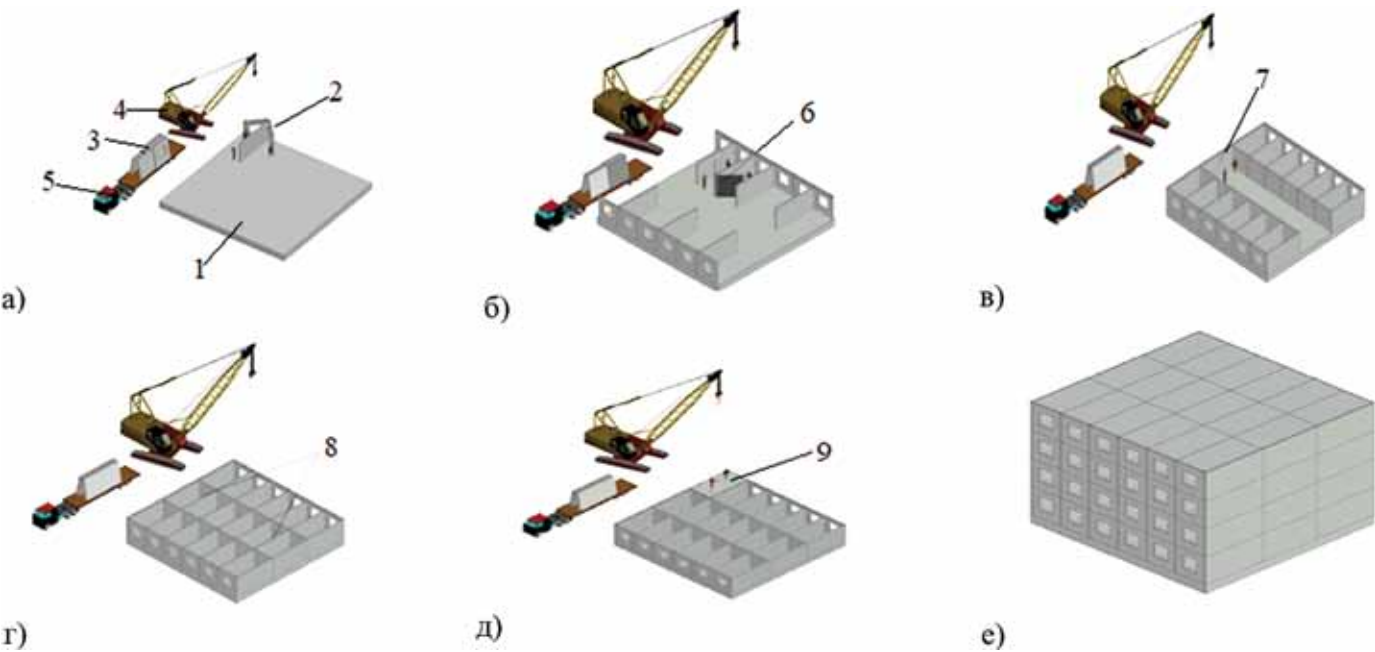


Рис. 11. а) Установка стены в указанном месте: 1 – фундамент, 2 – стены (2, 4, 2), 3 – стены находятся в режиме заводской сборки, 4 – гусеничный кран; 5 – грузовая платформа; б) Установка стены в указанном месте над фундаментом: 6 – стены (3, 4, 3), 7 – стены (5); г) Установка стены в указанном месте над фундаментом: 8 – стены (6); д) Установка плит перекрытия в указанном месте над фундаментом: 9 – плиты перекрытия; е) Завершенное здание

Fig. 11. a) Installation of the wall in the indicated: 1 – foundation, 2 – walls (2, 4, 2), 3 – walls are in factory assembly mode, 4 – crawler crane, 5 – platform truck; б) Installation of the wall in the indicated place above the foundation: 6 – walls (3, 4, 3), 7 – walls (5); c) Installation of the wall in the indicated place above the foundation: 8 – walls (6); d) Installation of slabs of slabs in the indicated place above the foundation: 9 – slabs of slabs; e) Completed building

мещаются в указанном месте по заранее подготовленному инженерному плану и открываются как книжка с помощью петель (таблица 1).

Размеры стен 1, 4, 5 и 6 составляют 3000 x 6000 мм, размеры стены 2 – 3000 x 3000 мм с внутренним окном

1500 x 1500 мм и размеры стены 3 – 3000 x 3000 мм без окон.

На рисунке 11 показан механизм монтажа четырехэтажного дома путем вскрытия стен [14], соединенных между собой петлями по предлагаемому способу.

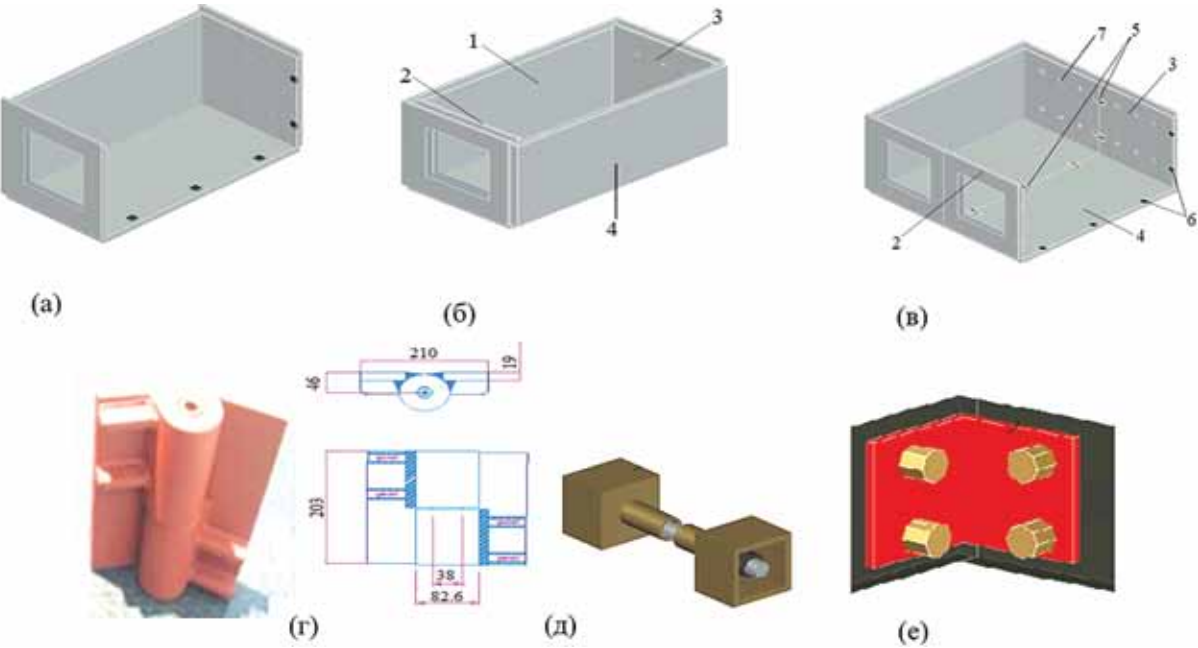
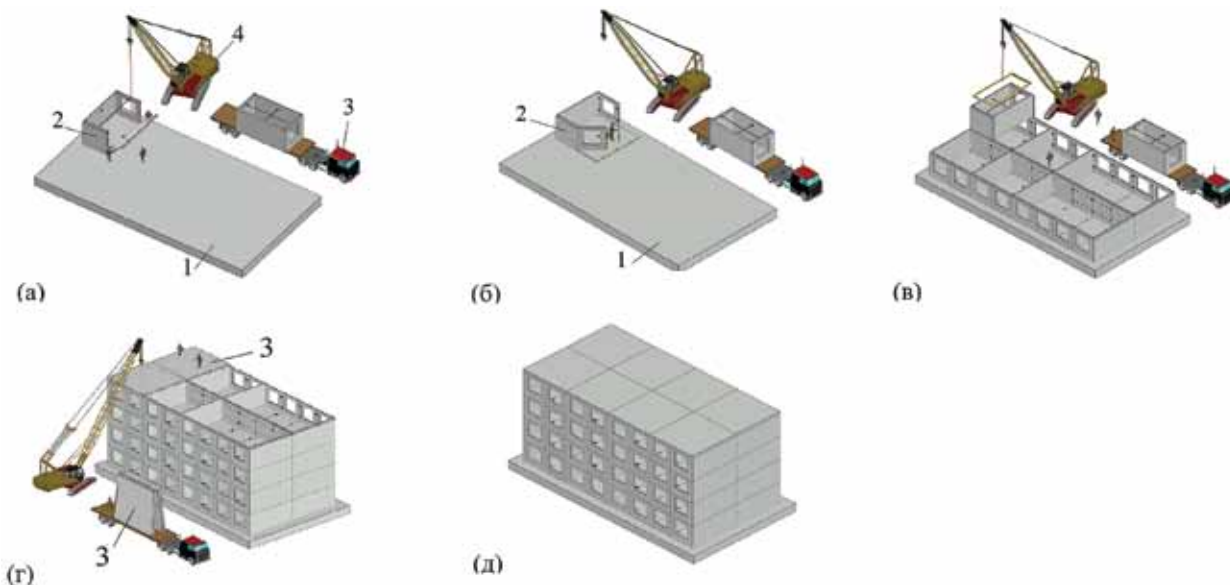


Рис. 12. Предлагаемый объемный блок: а) основная часть; б) объемный блок в сборном виде (1 – основная часть, 2 – подвижная боковая стена с окном, 3 – боковая подвижная стена, 4 – подвижный пол); в) объемный блок в разобранном виде: (2 – подвижная боковая стена с окном, 3 – боковая подвижная стена, 4 – подвижный пол, 5 – петли, 6 – закладные детали для крепления боковых стен и полов, 7 – закладные детали для крепления средних стен во время монтажа); г) детали петли с размерами; д) закладные детали для крепления средних стен во время монтажа; е) закладные детали для крепления боковых стены и полов

Fig. 12. Proposed three – dimensional block: a) main part; б) three – dimensional block in assembled form (1 – main part, 2 – movable side wall with a window, 3 – side movable wall, 4 – movable floor); c) disassembled volumetric block (2 – movable side wall with a window, 3 – side movable wall, 4 – movable floor, 5 – hinge, 6 – embedded parts for fastening side walls and floors, 7 – embedded parts for fastening middle walls during installation); д) details of the hinge with dimensions; e) embedded parts for fastening the middle walls during installation; f) embedded parts for fastening side walls and floors



**Рис. 13.** а) Монтаж объемного блока 1-го этажа: 1 – фундамент, 2 – открытый пол подвижной части объемного блока, 3 – грузовая платформа, 4 – гусеничный кран; б) Монтаж объемного блока в указанном месте над фундаментом 1-го этажа: 2 – открытые боковые стены подвижной части объемного блока; в) Установка объемного блока в указанном месте 2-го этажа; г) Установка плит перекрытия в указанном месте 4-го этажа: 3 – плиты перекрытия; д) Завершенное здание

**Fig. 13.** a) Installation of the volumetric block of the 1st floor: 1 – foundation, 2 – open the floor of the movable part of the volumetric block, 3 – platform truck, 4 – crawler crane; b) Installation of the volumetric block in the indicated place above the foundation of the 1st floor: 2 – open side walls of the movable part of the volume block; c) Installation of a volumetric block in the indicated place of the 2nd floor; d) Installation of floor slabs in the indicated place on the 4th floor: 3 – floor slabs; e) Completed building

| Объемно-блочная система (S = 1115,04 м²) |                                                |             |    |     |          |                   |                             |                             |                           |                         |                          |                              |                      |                 |                                                                                       |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------|----|-----|----------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| № п/п                                    | Строительные процессы                          | Объем работ |    |     | Ед. изм. | Количество единиц | Норма трудо-затрат, чел.-ч. | Норма машинозатрат, маш.-ч. | Норма энергозатрат, кВт-ч | Трудо-емкость, чел.-см. | Машино-емкость, маш.-см. | Суммарные затраты времени, ч | Энергоемкость, кВт-ч | Механизмы       | Состав бригады                                                                        |
|                                          |                                                | 3           | 4  | 5   |          |                   |                             |                             |                           |                         |                          |                              |                      |                 |                                                                                       |
| E4-1-13                                  | Установка ж/б объемных блоков зданий           | 1 блок      | 32 | 4,6 | 0,90     | 100               | 18,80                       | 3,680                       | 29,44                     | 2944                    |                          |                              |                      | Кран ДЭК – 631А | Монтажник конструкций 5 р. – 1, 4 р. – 2, 3 р. – 1, 2 р. – 1; Машинист крана 6 р. – 1 |
| E4-1-10                                  | Установка блоков лифтовых шахт массой до 4,5 т | 1 блок      | 8  | 2,2 | 0,55     | 100               | 1,10                        | 0,275                       | 2,20                      | 220                     |                          |                              |                      | Кран ДЭК – 631А | Монтажник конструкций 4 р. – 2, 3 р. – 1, 2 р. – 1; Машинист крана 6 р. – 1           |
| E4-1-14                                  | Установка вентиляционных блоков массой до 2 т  | 1 блок      | 5  | 2,0 | 0,50     | 100               | 1,25                        | 0,313                       | 2,50                      | 250                     |                          |                              |                      | Кран ДЭК – 631А | Монтажник конструкций 4 р. – 2, 3 р. – 1, 2 р. – 1; Машинист крана 6 р. – 1           |
| E4-1-7                                   | Укладка плит перекрытий площадью до 20 м²      | 1 элемент   | 24 | 1,1 | 0,28     | 100               | 3,30                        | 0,840                       | 6,72                      | 672                     |                          |                              |                      | Кран ДЭК – 631А | Монтажник конструкций 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1; Машинист крана 6 р. – 1           |
| E4-1-7                                   | Укладка плит перекрытий площадью до 20 м²      | 1 элемент   | 16 | 1,1 | 0,28     | 100               | 2,20                        | 0,560                       | 4,48                      | 448                     |                          |                              |                      | Кран ДЭК – 631А | Монтажник конструкций 4 р. – 1, 3 р. – 2, 2 р. – 1; Машинист крана 6 р. – 1           |
| <b>Итого:</b>                            |                                                |             |    |     |          |                   |                             |                             |                           | <b>26,65</b>            | <b>5,668</b>             |                              |                      |                 | <b>Итого:</b>                                                                         |
|                                          |                                                |             |    |     |          |                   |                             |                             |                           |                         |                          |                              | <b>4,070</b>         | <b>406,62</b>   | <b>4534</b>                                                                           |

**Табл. 2.** Расчет энергозатрат разработанной строительной системы «Объемно-блочная»

**Tab.2.** Calculation of energy consumption of the developed volumetric block building system

| № п/п                               | Строительные процессы          | Объем работ | Норма         | Норма                 | Норма                  | Трудо-            | Машино-           | Суммарные          | Энерго-        | Затраты                           | Затраты              | Затраты                | Затраты                     |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|
|                                     |                                | Ед. изм.    | Кол-во единиц | трудо-затрат, чел. ч. | машино-затрат, маш. ч. | емкость, чел. см. | емкость, маш. см. | затраты времени, ч | емкость, кВт-ч | энергии, кВт на 1 сборный элемент | энергии, кВт на 1 м² | энергии, кВт на 100 м² | энергии, кВт на здание, кВт |
| 1                                   | 2                              | 3           | 4             | 5                     | 6                      | 7                 | 8                 | 9                  | 10             | 11                                | 12                   | 13                     | 14                          |
| Объемно-блочная (S = 1115,04 м²)    |                                |             |               |                       |                        |                   |                   |                    |                |                                   |                      |                        |                             |
| 1                                   | Установка ж/б объемных блоков  | 1 эл.       | 73            | 11,00                 | 2,53                   | 500,00            | 25,15             | 5,39               | 43,10          | 4310,00                           | 59,04                | 3,87                   | 386,53                      |
| Крупнопанельная (S = 1449,856 м²)   |                                |             |               |                       |                        |                   |                   |                    |                |                                   |                      |                        |                             |
| 2                                   | Установка панелей стен         | 1 эл.       | 177           | 9,10                  | 2,28                   | 600,00            | 29,15             | 7,30               | 58,42          | 5842,00                           | 33,01                | 4,03                   | 402,94                      |
| КУБ–2,5 (S = 1620 м²)               |                                |             |               |                       |                        |                   |                   |                    |                |                                   |                      |                        |                             |
| 3                                   | Установка колонн, плит и т. д. | 1 эл.       | 702           | 12,38                 | 2,69                   | 614,60            | 64,11             | 48,59              | 247,88         | 8761,88                           | 12,48                | 5,41                   | 540,86                      |
| Каркасно-панельная (S = 2838,24 м²) |                                |             |               |                       |                        |                   |                   |                    |                |                                   |                      |                        |                             |
| 4                                   | Установка колонн, плит         | 1 эл.       | 461           | 19,00                 | 4,47                   | 800,00            | 128,15            | 29,72              | 237,78         | 23778,00                          | 51,58                | 8,38                   | 837,77                      |

**Табл. 3.** Сравнение энергозатрат предлагаемых строительных систем для строительства четырехэтажного здания

**Tab. 3.** Comparison of the energy consumption of the proposed building systems for the construction of a four-story building

Четвертая разработка была предложена в системе **ОБД**, чтобы облегчить и ускорить процесс монтажа. Она состоит из 4 этажей, которые изготовлены из объемных блоков размером 6000 x 3000 x 3000 мм, устанавливаемых друг на друга. Объемные блоки, устанавливаемые друг на друга, состоят из основной части, включающей пол и три стены, и подвижной части, включающей пол и две стены. Пол подвижной части соединен с полом основной части с помощью подвижной петли, и так же две стены соединены со стенами основной части с помощью петли. Таким образом, при открытии пола будет сформирован потолок из объемного блока под ним (рисунок 12).

Что касается двух боковых стен, которые также устанавливаются по бокам основного элемента, то они с помощью петли также открываются для формирования соседних стен. Таким образом, после вскрытия элементов комната будет состоять из трех стен, а четвертая стена делается при размещении соседнего объемного блока при монтаже [8].

На рисунке 13 показаны все этапы монтажа объемных блоков и механизм их установки с помощью гусеничного крана.

### Результаты

Таким образом, были произведены необходимые расчеты энергозатрат предлагаемых строительных систем. В таблице 2 приведен пример методики расчета энергозатрат разработанной системы объемно-блочной ОБД. Общая объемная площадь здания: S = 1115,04 м². Проведено сравнение энергозатрат на технологические процессы

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычёв, С. А. Оценка технологичности монтажа зданий и сооружений из модулей заводской готовности / С. А. Сычёв // Глобальный научный потенциал. – 2015. – № 9. – С. 37–41.
2. Waheeb, R. A. Causes of problems in disaster recovery projects – the example of Iraq / R. A. Waheeb, B. S. Andersen. – DOI 10.1177/1087724X21990034 // Public Works Management & Policy. – 2021. – № 27, iss. 2. – P. 61–97.
3. Ибрагим, И. Ф. Анализ конструктивных и организационно-технологических решений домостроения в Ираке и в России / И. Ф. Ибрагим // Вестник науки и творчества. – 2017. – № 5 (17). – С. 100–105.
4. Fan, X.-W. Hysteresis analysis of pre-pressed spring self-centering energy dissipation braces using different models / X.-W. Fan, L.-H. Xu, X.-S. Xie, Y.-S. Sun, Z.-X. Li. – DOI 10.1177/1369433219849844 // Advances in Structural Engineering. – 2019. – Vol. 22, iss. 12. – P. 2662–2671.
5. Сычёв, С. А. Активные элементы пассивных и энергоэффективных методов монтажа железобетонных элементов / С. А. Сычёв, А. А. Аль-Хабиб, А. Абасс, Д. Т. Курасова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4 (88). – С. 475–486.
6. Олейник, П. П. Индустриально-мобильные методы возведения предприятий, зданий и сооружений / П. П. Олейник. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 488 с.

### REFERENCES

1. Sychev, S. A. Otsenka tekhnologichnosti montazha zdaniy i sooruzheniy iz modulei zavodskoi gotovnosti [Assessment of the manufacturability of installation of buildings and structures from factory-ready modules] / S. A. Sychev // Global'nyi nauchnyi potentsial [Global scientific potential]. – 2015. – № 9. – P. 37–41.
2. Waheeb, R. A. Causes of problems in disaster recovery projects – the example of Iraq / R. A. Waheeb, B. S. Andersen. – DOI 10.1177/1087724X21990034 // Public Works Management & Policy. – 2021. – № 27, iss. 2. – P. 61–97.
3. Ibragim, I. F. Analiz konstruktivnykh i organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii domostroeniya v Irake i v Rossii [Analysis of constructive and organizational-technological solutions of housing construction in Iraq and in Russia] / I. F. Ibragim // Vestnik nauki i tvorchestva [Bulletin of Science and Creativity]. – Moscow, 2017. – № 5 (71). – P. 100–105.
4. Fan, X.-W. Hysteresis analysis of pre-pressed spring self-centering energy dissipation braces using different models / X.-W. Fan, L.-H. Xu, X.-S. Xie, Y.-S. Sun, Z.-X. Li. – DOI 10.1177/1369433219849844 // Advances in Structural Engineering. – 2019. – Vol. 22, iss. 12. – P. 2662–2671.
5. Sychev, S. A. Aktivnye elementy passivnykh i energoeffektivnykh metodov montazha zhelezobetonnykh elementov

монтажа предлагаемых строительных систем в таблице 3 [9; 10].

### Выводы

1. Разработаны инновационные классификации строительных систем и методов монтажа в условиях Ирака на основе энергозатрат монтажного процесса.

2. Проведено энергетическое моделирование предложенных энергоэффективных и энергопассивных (стремящихся к нулю с использованным прецизионных управляющих элементов, таких как петли и пружины) методов и узлов монтажа систем строительства в условиях Ирака.

3. Оценен показатель комплексной энергоэффективности *Ек* возведения полносборных зданий на основе энергозатрат строительного процесса с учетом новых разработанных способов технологического, энергоэффективного и скоростного возведения полносборных зданий в условиях Ирака.

4. Исследование основывалось на сравнении затрат энергии на четырех различных строительных системах (КУБ–2,5, ПКД, КПД, ОБД), элементы которых соединяются при помощи пружинных и петлевых соединений.

5. Сравнение затрат энергии между четырьмя разработанными строительными системами показывает достижение поставленных целей и задач, а также высокотехнологичный уровень разработанных решений. Выяснилось, что системой с наименьшими энергозатратами и машинемкостью из четырех разработанных систем является система ОБД.

7. Hu, J. Experimental study of dry mechanical joints of columns and columns based on precast reinforced concrete for precast reinforced concrete frames / J. Hu, W. Hong, S. Park. – DOI https://doi.org/10.1002/ta.1337 // The Structural Design of Tall and Special Buildings. – 2017. – Vol. 26, iss. 5. – P. 1–15.
8. Афанасьев, А. А. Технология возведения полносборных зданий / А. А. Афанасьев. – Москва : Издательство АСВ. – 2007. – 287 с.
9. Король Е. А. Определение расходов топливно-энергетических ресурсов при производстве механизированных работ в малоэтажном строительстве / Е. А. Король, А. А. Журавлева // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, вып. 5. – С. 712–728.
10. Монтаж сборных и устройств монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения : ЕНП. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е4 : утверждены постановлением Государственного строительного комитета СССР, Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата Всесоюзного Центрального Совета Профессиональных Союзов от 5 декабря 1986 года № 43/512/29-50 для обязательного применения на строительных, монтажных и ремонтно-строительных работах / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1987. – 65 с.

nologicheskikh reshenii domostroeniya v Irake i v Rossii [Analysis of constructive and organizational-technological solutions of housing construction in Iraq and in Russia] / I. F. Ibragim // Vestnik nauki i tvorchestva [Bulletin of Science and Creativity]. – Moscow, 2017. – № 5 (71). – P. 100–105.

- [Active elements of passive and energy-efficient methods of installation of reinforced concrete elements] / S. A. Sychev, A. A. Al-Habib, A. Abass, D. T. Kurasova // Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2022. – № 4 (88). – P. 475–486.
6. Oleinik, P. P. Industrial'no-mobil'nye metody vozvedeniya predpriyatii, zdanii i sooruzhenii [Industrial-mobile methods of construction of enterprises, buildings and structures] / P. P. Oleinik. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2021. – 488 p.
7. Hu, J. Experimental study of dry mechanical joints of columns and columns based on precast reinforced concrete for precast reinforced concrete frames / J. Hu, W. Hong, S. Park. – DOI <https://doi.org/10.1002/ta.1337> // The Structural Design of Tall and Special Buildings. – 2017. – Vol. 26, iss. 5. – P. 1–15.
8. Afanasyev, A. A. Tekhnologiya vozvedeniya polnosbornykh zdaniy [Technology of construction of fully assembled buildings] / A. A. Afanasyev. – Moscow : Izdatel'stvo ASV. – 2007. – 287 p.
9. Korol, E. A. Opredelenie raskhodov toplivno-energeticheskikh resursov pri proizvodstve mekhanizirovannykh rabot v maloetazhnom stroitel'stve [Determination of fuel and energy resources expenditures in the production of mechanized works in low-rise construction] / E. A. Korol, A. A. Zhuravleva // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2020. – Vol. 15, iss. 5. – P. 712–728.
10. Montazh sbornykh i ustroystvo monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksii. Vypusk 1. Zdaniya i promyshlennye sooruzheniya [Installation of prefabricated and monolithic reinforced concrete structures. Issue 1. Buildings and industrial structures] : ENiR. Edinye normy i raschenki na stroitel'nye, montazhnye i remontno-stroitel'nye raboty. Sbornik E4 [ENiR. Uniform standards and prices for construction, installation and repair and construction work. Collection E4] : utverzhdeny postanovleniem Gosudarstvennogo stroitel'nogo komiteta SSSR, Gosudarstvennogo komiteta SSSR po trudu i social'nym voprosam i Sekretariata Vsesoyuznogo Central'nogo Soveta Professional'nyh Soyuzov ot 5 dekabrya 1986 goda № 43/512/29-50 dlya obyazatel'nogo primeneniya na stroitel'nyh, montazhnyh i remontno-stroitel'nyh rabotah [approved by the Resolution of the USSR State Construction Committee, the USSR State Committee for Labor and Social Affairs and the Secretariat of the All-Union Central Council of Trade Unions of December 5, 1986 No. 43/512/29-50 for mandatory use in construction, installation and repair and construction works] / Gosstroj SSSR [Gosstroy of the USSR]. – Moscow : Strojizdat, 1987. – 65 p.

УДК 721.021.23, 004.692, 69

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_34

## Работа службы технического заказчика при использовании модульных элементов на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства

The Work of the Technical Customer Service when Using Modular Elements Throughout the Life Cycle of Capital Construction Projects

Каган Павел Борисович

Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, kagan@mgsu.ru

Kagan Pavel Borisovich

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Information Systems Technology and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, kagan@mgsu.ru

Рыбакова Ангелина Олеговна

Аспирант кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, angelinaribakova@yandex.ru

Rybakova Angelina Olegovna

Postgraduate student of the Department «Information Systems Technology and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, angelinaribakova@yandex.ru

Титенко Виктория Игоревна

Аспирант кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, viktoriatitenko@mail.ru

Titenko Viktoriia Igorevna

Postgraduate student of the Department «Information Systems Technology and Automation in Construction», National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, viktoriatitenko@mail.ru

### Аннотация

Авторами в статье проведен анализ работы службы технического заказчика при реализации модульных объектов, выявлены особенности для дальнейшего исследования. Изучена нормативно-техническая документация, определены функции технического заказчика, особенности взаимодействия с участ-

никами инвестиционно-строительного проекта, изучены группы функциональных назначений объектов на возможность реализации в качестве модульных объектов. Проанализировано влияние реализации модульных объектов на процессы жизненного цикла. Целью данного исследования является изучение особенностей работы служб технического заказчика при

реализации модульных объектов на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Задачами – анализ основных функций и процессов службы технического заказчика, определение особенностей реализации модульных объектов, анализ работы службы заказчика в рамках модульного подхода и определение направлений для решения проблемных вопросов. В результате представлены особенности функционирования службы технического заказчика с точки зрения работы над модульными объектами, а также влияние данного формата работы на весь жизненный цикл объекта строительства. Определены положительные и отрицательные моменты интеграции,

### Abstract

The authors of the article analyzed the work of the technical customer service in the implementation of modular objects, identified features for further research. The normative and technical documentation has been studied, the functions of the technical customer have been determined, the features of interaction with the participants of the investment and construction project have been studied, groups of functional assignments of objects for the possibility of implementation as modular objects have been studied. The influence of the implementation of modular objects on the life cycle processes is analyzed. The purpose of this study is to study the specifics of the work of the technical customer's services in the implementation of modular facilities at the stages of the

### Введение

Несмотря на политическую ситуацию, введение нескольких пакетов санкций и ухода с рынка некоторых специализированных организаций, в нашей стране не останавливается глобальная цифровая трансформация строительной отрасли, создаются и развиваются инфраструктура и информационные ресурсы, организуется единое цифровое пространство. Под государственным контролем создаются большие цифровые облачные сервисы хранения строительной информации; обеспечивается переход к цифровым нормативно-техническим документам, цифровым двойникам объектов; унифицируются типовые административные регламенты оказания услуг; реализуется переход от бумажного документооборота при предоставлении государственных услуг в электронный вид посредством единого портала; регламентируется и стимулируется переход на управление жизненным циклом объекта капитального строительства с помощью технологии информационного моделирования; дорабатывается конкурентоспособное отечественное программное обеспечение для управления, разработки проектной документации, ведения строительного контроля, ведения исполнительной документации, технической и операционной эксплуатации объектов капитального строительства для каждого этапа его жизненного цикла; развиваются новые технологии; совершенствуются строительные материалы; совершенствуется подход к обучению строительных кадров [1–3].

В ходе цифровой трансформации строительства работа службы технического заказчика несомненно претерпевает изменения, и, поскольку строительство является достаточно консервативной отраслью, в масштабах страны цифровизация нарастает медленными темпами [3–4]. Законодателями моды и первопроходцами в переходе на технологию информационного моделирования является строительный комплекс Москвы, апробируя на себе все мировые новации, часть которых рассмотрены в данном исследовании.

В настоящее время мировой рынок бросает новые вызовы, сокращает сроки возведения и увеличивает каче-

а также сформулированы направления для минимизации проблемных вопросов и дальнейших исследований с целью повышения эффективности работы.

**Ключевые слова:** служба технического заказчика; цифровизация строительной отрасли; технология информационного моделирования; управление жизненным циклом объекта капитального строительства; BIM-технологии; модульные элементы максимальной готовности; комплектно-блочное проектирование; автоматизация проектирования; организация строительства; модульные конструкции.

life cycle of a capital construction facility. The tasks are to analyze the main functions and processes of the technical customer service, to determine the features of the implementation of modular objects, to analyze the work of the customer service within the modular approach and to determine directions for solving problematic issues. As a result, the features of the funk are presented.

**Keywords:** technical customer service; 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.

ство объекта капитального строительства, применяя технологии модульного возведения зданий [5–7].

Одной из характерных черт современного строительства является использование более крупных строительных элементов. Модульные технологии позволяют решить такие проблемы строительства, как длительность возведения, вес конструкций, невозможность быстрого демонтажа и изменения объемно-планировочных решений, логистические затраты, высокая стоимость строительства. Однако модульное строительство, и в том числе модульное проектирование, имеет свои особенности, которые необходимо учитывать на всех этапах жизненного цикла [8–11].

Модульное строительство на сегодняшний день не имеет достаточного уровня распространения ввиду слабой теоретической и практической базы. В большинстве случаев используются быстровозводимые малоэтажные конструкции, в отличие от зарубежных высотных зданий и жилых домов. Для популяризации модульности в строительстве необходимы дополнительное изучение данного направления и поиск новых методов проектирования и строительства в условиях модульного подхода [12].

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. Суммарная эффективность модульного подхода обеспечивается за счет [13]:

- повторного использования типовых проектных решений;
- предварительного размещения систем коммуникации;
- долговечности, заменимости и экологичности;
- возможности усовершенствования модулей;
- способов логистики производства, транспортировки и хранения модулей.

Модульный формат строительства отражается не только на инженерно-технической части, но и на организаци-



**Рис. 1.** Упрощенные организационные схемы взаимодействия службы технического заказчика с участниками при реализации модульных объектов: слева – при реализации готовых модулей, справа – при реализации индивидуальных модулей  
**Fig. 1.** Simplified organizational charts of interaction between the technical customer service and participants in the implementation of modular objects: on the left – in the implementation of ready-made modules, on the right – in the implementation of individual modules

онно-административной. Влияние также оказывается на всех заинтересованных участников. Таким образом, модульное строительство в том числе вносит коррективы в работу технического заказчика.

Целью данного исследования является изучение особенностей работы служб технического заказчика при реализации модульных объектов на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Задачами – анализ основных функций и процессов службы технического заказчика, определение особенностей реализации модульных объектов, анализ работы службы заказчика в рамках модульного подхода и определение направлений для решения проблемных вопросов [14–15].

**Материалы и методы**

В штат службы технического заказчика должны входить руководитель, бухгалтер, инженеры ПТО, инженеры МТО, экономист-аналитик, сметчик, а с переходом на применение технологии информационного моделирования штат расширяется такими специалистами, как BIM-менеджеры, которые разрабатывают информационные требования заказчика (EIR), планы выполнения проекта (BEP), обеспечивают выполнение требований заказчика, а также обучают и консультируют персонал заказчика [1–2].

При использовании модульных принципов строительства следует выделять два подхода: реализацию готовых модулей, запроектированных и поставляемых напрямую с завода-изготовителя, и реализацию индивидуальных модулей, которые разработаны целенаправленно для конкретного объекта, – упрощенные организационные схемы взаимодействия технического заказчика при таких случаях представлены на рисунке 1 [12–14].

На основании анализа объектов капитального строительства и в соответствии с их функциональным назначением, определенным на основании Постановления Правительства Москвы № 306-ПП от 21.05.2015 «О функциональном назначении объектов капитального строительства в городе Москве», технический заказчик может выполнять свои функции при реализации следующих модульных объектов<sup>1</sup>:

1. Административно-деловые объекты;
2. Учебно-образовательные объекты;
3. Торгово-бытовые объекты;
4. Лечебно-оздоровительные объекты;
5. Социально-реабилитационные объекты;
6. Учебно-воспитательные объекты;
7. Одноквартирные жилые дома;

<sup>1</sup> Постановление Правительства Москвы № 306-ПП от 21.05.2015 «О функциональном назначении объектов капитального строительства в городе Москве» // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/537974342> (дата обращения: 01.07.2022).

8. Многоквартирные дома.  
В свою очередь, затруднительно, ввиду конструктивных особенностей объектов капитального строительства, возведение модульных объектов следующих групп функционального назначения:

1. Культурно-просветительные;
2. Спортивно-рекреационные;
3. Коммунально-складские;
4. Промышленно-производственные;
5. Специальные;
6. Жилищно-коммунальные;
7. Улицы и дороги;
8. Объекты внеуличного транспорта;
9. Объекты внешнего транспорта.

Строительство включает в себя большое количество видов деятельности, разные виды задач и процессов. В зависимости от назначения объекта, его технико-экономических показателей и способа строительства формируется определенный поэтапный перечень задач в рамках жизненного цикла [16–17]. Для объектов модульного строительства, соответственно, существует аналогичный перечень, который характерен для модульности. В отличие от других подходов, добавляется этап производства модулей за пределами строительной площадки [18]. Для исследования вопроса предлагается рассмотреть первые четыре этапа жизненного цикла:

- концепцию;
- проектирование;
- производство модулей;
- строительно-монтажные работы.

Проектирование по модульному принципу по своей основе предполагает отличия по сравнению с традиционными процессами проектирования<sup>2</sup>. Отличия предполагают основу для формирования преимуществ по эффективности модульности:

1. Заказчик, генеральный подрядчик, а также все члены проектной команды начинают тесно сотрудничать на более ранних этапах.
2. Для начала работы недостаточно только средств проектирования – необходимо наличие библиотеки модульных элементов.
3. Для предотвращения коллизий большую роль играет предварительная тщательная координация конструктива и инженерных систем.
4. Один из фундаментальных вопросов – крепление модульных элементов между собой в процессе монтажа.

<sup>2</sup> СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/607168489> (дата обращения: 01.07.2022).

5. Ввиду большого размера, объема и массы модулей по сравнению с существующими строительными элементами, актуальным становится вопрос безопасности на строительной площадке.
6. Необходимо предварительное детализированное разделение строительно-монтажных и отделочных работ, которые будут выполнены в заводских условиях, а какие – непосредственно на строительной площадке.
7. Перед специалистами в области разработки проекта организации строительства и логистики стоят новые задачи по части транспортировки, размещения и хранения модульных элементов.
8. Для минимизации коллизий всех уровней и технологической принадлежности целесообразно определить ряд дополнительных согласований.

Процессы модульного проектирования и традиционного имеют определенные общие аспекты, однако фундаментальные различия очевидны [19–20]. Следовательно, модульный подход в строительстве оказывает значительное влияние на большинство процессов в рамках жизненного цикла, на работу лиц, заинтересованных в строитель-

стве объектов, а также на формат коммуникации и обмена информацией.

**Результаты**

Работа технического заказчика сочетает в себе не только организационно-административные функции и технические функции, но еще и надзорные. Среди множества задач и процессов целесообразно выделить ключевые зоны работы технического заказчика, которые занимают наибольший объем работы и ответственности. Для анализа влияния модульного строительства предлагается выбрать следующие виды деятельности:

1. Планирование строительства;
2. Работа с государственными и ресурсоснабжающими организациями (PCO);
3. Получение разрешений и согласований;
4. Разработка технического задания;
5. Работы по техническому присоединению;
6. Надзорные работы;
7. Финансовое планирование.

С точки зрения строительства модульных объектов, работа службы заказчика должна включать в себя также организационные, технические и надзорные функции, одна

| № | Функция                                       | Влияние модульности                                                                                                                                                                                                                                                                         | Результат                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Планирование строительства                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Новые специалисты</li><li>• Учет периода производства</li><li>• Дополнительная логистика</li><li>• Взаимодействие с изготовителем</li><li>• Данные о модулях в документации</li></ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Упрощение и детализация составления календарных планов и объемов работ</li><li>• Ускорение за счет «параллельности» работ (монтаж и производство)</li><li>• Упрощение формирования документации</li></ul>                                        |
| 2 | Работа с государственными организациями и PCO | <ul style="list-style-type: none"><li>• Изменения в сборе документации</li><li>• Расчет потребления ресурсов с учетом модулей</li><li>• Формирование библиотеки типовых модулей</li></ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ускорение взаимодействия и обмена информацией</li><li>• Ускорение корректировки замечаний</li><li>• Формализация накопления опыта – минимизация ошибок</li><li>• Накопление данных для новых проектов</li></ul>                                  |
| 3 | Получение разрешений и согласований           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Более подобная информация</li><li>• Новые способы коммуникации</li><li>• Организация общих данных</li></ul>                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ускорение взаимодействия и обмена информацией</li><li>• Ускорение корректировки замечаний</li><li>• Возможность формирования дополнительной документации</li><li>• Упрощение выполнения ключевых процедур</li></ul>                              |
| 4 | Разработка технического задания               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Возможность компилирования технических заданий с учетом модулей</li><li>• Учет данных о модуле и о способах формирования комплексной модели</li><li>• Возможность визуализации</li><li>• Увеличение количества характеристик и параметров</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ускорение разработки технического задания</li><li>• Упрощение учета вариативности</li><li>• Новые способы графического представления</li><li>• Повышение детализации технического задания</li></ul>                                              |
| 5 | Работы по техническому присоединению          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Типовые решения и их вариативность</li><li>• Более подробный расчет потребления</li><li>• Организация общих данных и дополнительные коммуникации</li></ul>                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ускорение взаимодействия и обмена информацией</li><li>• Верификация решений присоединения</li><li>• Автоматизация расчетов и формирования документации</li></ul>                                                                                 |
| 6 | Надзорные работы                              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Расширение мониторинга</li><li>• Автоматизация формирования отчетности</li><li>• Дополнительная коммуникация</li><li>• Работа в режиме реального времени</li></ul>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Повышение качества контроля</li><li>• Новые способы мониторинга</li><li>• Дополнительная проверка</li><li>• Упрощение проверки некоторых видов работ за счет делегации функции изготовителю</li><li>• Автоматизация рутинных процессов</li></ul> |
| 7 | Финансовое планирование                       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Новые данные для расчета начальной цены</li><li>• Автоматизация формирования смет</li><li>• Формирование библиотеки проектов с привязкой к стоимости</li><li>• Детализация распределения средств</li></ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Возможность более точных расчетов</li><li>• Упрощенное внесение изменений</li></ul>                                                                                                                                                              |

**Табл. 1.** Анализ работы службы заказчика в условиях модульного строительства  
**Tab. 1.** Analysis of the work of the customer service in the conditions of modular construction

с поправкой на новые рамки деятельности – особенности модульного проектирования и строительства. Основные новшества формируются за счет появления понятий модуля, завода-изготовителя и увеличения производства за пределами площадки [21].

В совокупности формируется новый формат работы технического заказчика, который базируется на основных задачах и функциях в совокупности с дополнением модульных принципов.

Одновременно с локальным влиянием в рамках одной или нескольких функций модульный подход оказывает комплексное влияние на весь ход работы над реализацией проекта. Проект представляет собой комплекс единичных строительных единиц, из чего следует ориентация на непосредственно модуль и их множество. Самая важная задача в рамках модульного строительства для технического заказчика – принятие решения о необходимости выполнения работ с последующей ответственностью за это решение [22–23]. Таким образом, формируются следующие особенности работы службы технического заказчика:

- Упрощение коммуникаций и взаимодействий;
- Повышение уровня детализации проекта на предпроектном этапе;
- Упрощение расчетов для различных целей;
- Упрощение системы проверки и контроля;
- Необходимость предварительного анализа использования.

Одновременно модульный подход в строительстве оказывает аналогичное влияние на весь жизненный цикл объекта строительства с точки зрения работы технического заказчика (рисунок 2).

В результате анализа работы службы технического заказчика при реализации модульных объектов на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства можно наблюдать позитивные тенденции в оказываемом эффекте [24–25]. По ряду процессов формируется упрощение и ускорение, при том что принципиальных изменений в работе службы заказчика не произошло. Однако еще существует несколько направлений для рационализации и повышения эффективности работы технического заказчика:

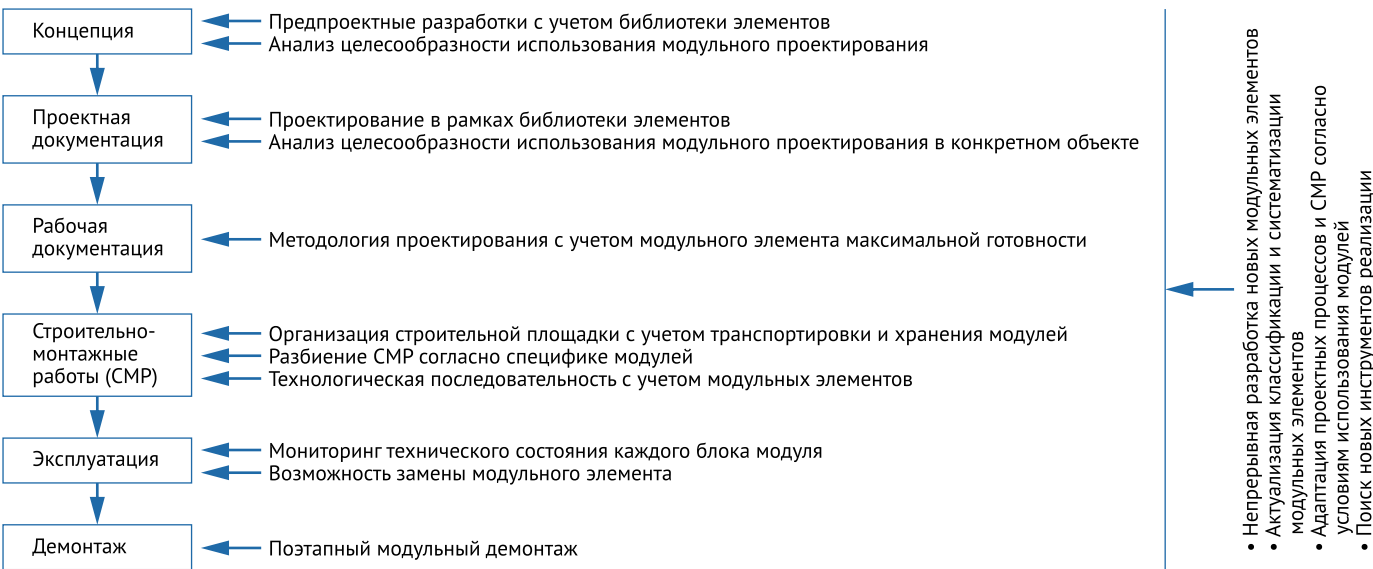


Рис. 2. Влияние модульного подхода на жизненный цикл объекта строительства  
Fig. 2. The impact of the modular approach on the life cycle of the construction object

- Разработка алгоритмов определения необходимости и эффективности применения модульного подхода к проектированию на самых ранних этапах работы;
- Систематизация и стандартизация модулей;
- Формирование алгоритмов работы и взаимодействия с другими участниками.

Обсуждение

Особенность эффективности модульного строительства, а также рационализация работы службы технического заказчика напрямую связаны с предварительным анализом целесообразности. При успешном предварительном изучении проекта модульный подход проектирования и строительства оказывает положительное влияние на функционирование службы заказчика за счет упрощения ряда процессов, повышения коммуникации и ликвидации многих проблемных вопросов. Одновременно сохранены формат и порядок выполнения ключевых функций и задач, что не накладывает ограничения на работу и не требует дополнительных трудозатрат. Однако существуют пути для развития и улучшения функционирования службы технического заказчика, задачи и проблемы, требующие решения. Формируется направление специализации работы в рамках строительства модульных объектов.

Заключение

Таким образом, рассматриваемая тема анализа работы службы технического заказчика при реализации модульных объектов на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства является важной и актуальной. Повышение эффективности работы службы заказчика позволит не только повысить качество реализации модульных объектов, но и расширить применение модульного подхода для большего числа проектов. Повышение уровня квалификации специалистов технического заказчика в области реализации модульных проектов обеспечит кадровый фундамент для более рациональной организации и проектирования, и строительства.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90064.

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. A distributed and scalable approach to building monitoring: Special issue ECPPM 2014 – 10th European Conference on Product and Process Modelling / R. Zach, H. Hofstätter, C. Taube, A. Mahdavi // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). – 2015. – Vol. 20. – P. 159–172. – URL: <https://www.itcon.org/2015/12>.

4. Borhani, A. S. Individual and Organizational Factors Influencing Technology Adoption for Construction Safety / A. S. Borhani // University of Washington. – Washington : ProQuest Dissertations Publishing, 2016.

5. An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling (BIM) Adoption // The World Economic Forum, February 2018 : [Электронный ресурс]. – URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Accelerating\\_BIM\\_Adoption\\_Action\\_Plan.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Accelerating_BIM_Adoption_Action_Plan.pdf).

6. Miettinen, R. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling / R. Miettinen, S. Paavol. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009> // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 43. – P. 84–91.

7. 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, iss. 2. – P. 143–161.

8. 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). – P. 1–11.

9. Каган, П. Б. Цифровая трансформация работы технического заказчика на стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства / П. Б. Каган, В. И. Титенко. – DOI 10.29039/2308-0191-2021-9-4-76-80 // Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 76–80.

10. Кузина, О. Н. Датацентричный BIM-сценарий исполнительного моделирования и приемки работ по объекту капитального строительства / О. Н. Кузина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 1. – С. 35–41.

11. Гинзбург, А. В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта / А. В. Гинзбург // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5 (153). – С. 28–31.

12. Кузьмина, Т. К. Выявление и систематизация факторов при подготовке объектов к строительству техническим заказчиком (застройщиком) / Т. К. Кузьмина, П. В. Большакова. – DOI 10.54950/26585340\_2020\_4\_38 // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 38–43.

13. Большакова, П. В. Функции технического заказчика (застройщика) при реализации инвестиционного проекта и факторы, влияющие на их выполнение / П. В. Большакова. – DOI 10.54950/26585340\_2020\_1\_27 // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 27–32.

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.

14. Овчинников, А. Н. Методические основы формирования организационно-управленческой модели деятельности заказчика при реализации крупномасштабного инвестиционно-строительного проекта / А. Н. Овчинников, А. А. Лапидус // Строительное производство. – 2021. – № 1. – С. 2–6.

15. Анализ и сравнение технологий монтажа быстровозводимых зданий в России и мире / Д. С. Шевкопляс, В. А. Мухоморова, Д. П. Ринчинова, Р. Л. Балдаев, В. Ю. Чотулов, А. А. Лапидус // Точная наука. – 2017. – № 8. – С. 17–20.

16. 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. – 2022. – Vol. 231. – P. 211–219.

17. Чибирикова, Д. А. Модульное проектирование и конструирование многоквартирных домов с использованием готовых компонентов / Д. А. Чибирикова, Б. С. Атаев, О. Г. Мельникова // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : Сборник трудов Международной научно-практической конференции : в 2 ч. – Волгоград, 2020. – С. 82–86.

18. 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.

19. 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).

20. 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. – 2020. – Vol. 27, № 8. – P. 1703–1725.

21. 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.

22. 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.

23. Климанов, С. Г. Системный подход к проблеме проектирования и строительства быстровозводимых сооружений для обустройства войск в районах Арктики / С. Г. Климанов, В. Н. Громов // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2021. – № 1 (13). – С. 319–335.

24. 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.

25. Goh, M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes / M. Goh, Y. M. Goh. – DOI 10.1016/j.autcon.2018.12.017 // Automation in Construction. – 2019. – Vol. 101. – P. 227–244.

3. A distributed and scalable approach to building monitoring: Special issue ECPPM 2014 – 10th European Conference on Product and Process Modelling / R. Zach, H. Hofstätter, C. Taube, A. Mahdavi // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). – 2015. – Vol. 20. – P. 159–172. – URL: <https://www.itcon.org/2015/12>.

4. Borhani, A. S. Individual and Organizational Factors Influencing Technology Adoption for Construction Safety / A. S. Borhani // University of Washington. – Washington : ProQuest Dis-

sertations Publishing, 2016.

5. An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling (BIM) Adoption // The World Economic Forum, February 2018 : [Электронный ресурс]. – URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Accelerating\\_BIM\\_Adoption\\_Action\\_Plan.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Accelerating_BIM_Adoption_Action_Plan.pdf).

6. Miettinen, R. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling / R. Miettinen, S. Paavol. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009> // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 43. – P. 84–91.

7. Meijer, F. Quality control of constructions: European trends and developments / F. Meijer, H. Visscher. – DOI 10.1108/JILBE-02-2017-0003 // International Journal of Law in the Built Environment. – 2017. – Vol. 9, iss. 2. – P. 143–161.

8. 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). – P. 1–11.

9. Kagan, P. B. Tsifrovaya transformatsiya raboty tekhnicheskogo zakazchika na stadiyakh zhiznennogo tsikla ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [Digital transformation of the work of a technical customer at the stage of the life cycle of a capital construction object] / P. B. Kagan, V. I. Titenko. – DOI 10.29039/2308-0191-2021-9-4-76-80 // Stroitel'stvo i arhitektura [Construction and architecture]. – 2021. – T. 9, № 4. – P. 76–80.

10. Kuzina, O. N. Datatsentrichnyj BIM-scenarij ispolnitel'nogo modelirovaniya i priemki rabot po ob'ektu kapital'nogo stroitel'stva [Data-centric BIM scenario of executive modeling and acceptance of work on a capital construction object] / O. N. Kuzina // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. – 2022. – № 1. – P. 35–41.

11. Ginzburg, A. V. VIM-tehnologii na protyazhenii zhiznennogo tsikla stroitel'nogo ob'ekta [BIM-technologies throughout the life cycle of a construction object] / A. V. Ginzburg // Informacionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]. – 2016. – № 5 (153). – P. 28–31.

12. Kuzmina, T. K. Vyyavlenie i sistematizatsiya faktorov pri podgotovke ob'ektov k stroitel'stву tekhnicheskimi zakazchikom (zas-trojshchikom) [Identification and systematization of factors in the preparation of objects for construction by a technical customer (developer)] / T. K. Kuz'mina, P. V. Bolshakova. – DOI 10.54950/26585340\_2020\_4\_38 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 4. – P. 38–43.

13. Bolshakova, P. V. Funktsii tekhnicheskogo zakazchika (zas-trojshchika) pri realizatsii investitsionnogo proekta i faktory, vliyayushchie na ikh vypolnenie [Functions of a technical customer (builder) in the implementation of an investment project and factors influencing their implementation] / P. V. Bol'shakova. – DOI 10.54950/26585340\_2020\_1\_27 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 1. – P. 27–32.

14. Ovchinnikov, A. N. Metodicheskie osnovy formirovaniya organizatsionno-upravlencheskoj modeli deyatel'nosti zakazchika pri realizatsii krupnomasshtabnogo investitsionno-stroitel'nogo proekta [Methodological bases for the formation of an organizational and managerial model of the customer's activities in the implementation of a large-scale investment and construction project] / A. N. Ovchinnikov, A. A. Lapidus // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2021. – № 1. – P. 2–6.

15. Analiz i sravnenie texnologij montazha bystrovozvodimyykh

zdanij v Rossii i mire [Analysis and comparison of technologies for the installation of prefabricated buildings in Russia and the world] / D. S. Shevkoplyas, V. A. Murya, D. P. Rinchinova, R. L. Baldaev, V. Y. Chotulov, A. A. Lapidus // Tochnaya nauka [Exact science]. – 2017. – № 8. – P. 17–20.

16. 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. – 2022. – Vol. 231. – P. 211–219.

17. Chibirikova, D. A. Modul'noe proektirovanie i konstruirovaniye mnogokvartirnykh domov s ispol'zovaniem gotovykh komponentov [Modular design and construction of apartment buildings using ready-made components] / D. A. Chibirikova, B. S. Atayev, O. G. Melnikova // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa : Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii : v 2 ch. [Actual problems and prospects of the construction complex development. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference : in 2 hours]. – Volgograd, 2020. – P. 82–86.

18. 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.

19. 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).

20. 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. – 2020. – Vol. 27, № 8. – P. 1703–1725.

21. 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.

22. Ponyayev, A. N. Problemy proyektirovaniya v stroitel'stve, ikh resheniye [Design problems in construction, their solutions] / A. N. Ponyayev, Y. Y. Dvornikov, D. O. Abramova // Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya. [Technique. Technology. Engineering]. – 2019. – № 3 (13). – P. 13–17.

23. Klimanov, S. G. Sistemnyj podkhod k probleme proyektirovaniya i stroitel'stva bystrovozvodimyykh sooruzheniy dlya obustrojstva vojsk v rajonakh Arktiki [A systematic approach to the problem of design and construction of prefabricated structures for the arrangement of troops in the Arctic regions] / S. G. Klimanov, V. N. Gromov // Aktual'nye problemy voyenno-nauchnykh issledovaniy [Actual problems of military scientific research]. – 2021. – № 1 (13). – P. 319–335.

24. Andreyeva, A. B. Aktual'nost' Ispol'zovaniya tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya na vseh etapakh "zhiznennogo tsikla" ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [The relevance of the use of information modeling technologies at all stages of the "life cycle" of the capital construction object] / A. B. Andreyeva // Ural'skij nauchnyj vestnik [Ural Scientific Bulletin]. – 2019. – Vol. 3, № 2. – P. 63–66.

25. Goh, M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes / M. Goh, Y. M. Goh. – DOI 10.1016/j.autcon.2018.12.017 // Automation in Construction. – 2019. – Vol. 101. – P. 227–244.

УДК 691.542:338.583

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_41

# Модификация бетона комплексной добавкой и определение экономического эффекта от ее применения

Modification of Concrete with the Complex Additive and Determination of the Economic Effect from Its Use

Леонович Сергей Николаевич

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), 220013, Республика Беларусь, Минск, проспект Независимости, 65, [sleonovich@mail.ru](mailto:sleonovich@mail.ru)

Leonovich Sergey Nikolaevich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Building Materials and Construction Technology, Belarusian National Technical University (BNTU), 220013, Belarus, Minsk, prospekt Nezavisimosti, 65, [sleonovich@mail.ru](mailto:sleonovich@mail.ru)

Шанюкевич Ирина Викторовна

Доцент, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), 220013, Республика Беларусь, Минск, проспект Независимости, 65, [shaniukevich@gmail.com](mailto:shaniukevich@gmail.com)

Shaniukevich Irina Viktorovna

Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Construction Management and Real Estate Management, Belarusian National Technical University (BNTU), 220013, Belarus, Minsk, prospekt Nezavisimosti, 65, [shaniukevich@gmail.com](mailto:shaniukevich@gmail.com)

Полонина Елена Николаевна

Старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), 220013, Республика Беларусь, Минск, проспект Независимости, 65, [grushevskay\\_en@tut.by](mailto:grushevskay_en@tut.by)

Polonina Elena Nikolaevna

Senior Lecturer of the Department of Building Materials and Construction Technology, Belarusian National Technical University (BNTU), 220013, Belarus, Minsk, prospekt Nezavisimosti, 65, [grushevskay\\_en@tut.by](mailto:grushevskay_en@tut.by)

## Аннотация

Использование добавок, содержащих в своем составе наночастицы, стало перспективным приемом повышения характеристик строительных материалов. Ввиду их высокой стоимости и применения в больших концентрациях, их широкое, много-тоннажное потребление ограничено. Исходя из этого, авторами было предложено рациональное решение данной проблемы – переход в область малых доз наночастиц. С учетом эффективности и наличия действующих крупных производств, авторами впервые была разработана и исследована комплексная добавка с комбинацией наночастиц кремнезема SiO<sub>2</sub> и многослойных углеродных нанотрубок в диапазонах 0,000001–0,000008 и 0,00003–0,0009 % от массы цемента соответственно. Определена стоимость комплексной добавки исходя из рыночной сто-

## Abstract

The use of additives containing nanoparticles in their composition has become a promising technique for improving the characteristics of building materials. Due to their high cost and use in large concentrations their wide and large-tonnage use is limited. Based on this, the authors proposed a rational solution to this problem – a transition to the region of low doses of nanoparticles. Taking into account the efficiency and availability of existing large-scale production, the authors for the first time developed and research a complex additive with a combination of silica nanoparticles SiO<sub>2</sub> and multilayer carbon nanotubes in the range of 0,000001–0,000008 and 0,00003–0,0009 % by weight

## Введение

Бетон является одним из самых распространенных строительных материалов и представляет собой сложный по составу строительный материал, качество которого во многом зависит от свойств и соотношения входящих в него компонентов, состава заполнителей и технологии

имости входящих в состав ее компонентов. Произведен расчет полученного экономического эффекта от применения разработанной комплексной добавки при замене в рецептурах бетона ряда традиционно используемых во время строительства добавок. Таким образом, использование в комплексной добавке малых доз наночастиц – в десятки раз меньших по сравнению с исследуемыми диапазонами вводимых добавок в строительные материалы – привело к повышению физико-механических характеристик бетона при одновременном снижении стоимости каждого 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси до 34 белорусских рублей.

**Ключевые слова:** наночастицы; гидротермальный кремнезем SiO<sub>2</sub>; многослойные углеродные нанотрубки; комплексная добавка; экономический эффект.

of cement. The cost of the complex additive is determined based on the market value of its components. The calculation of the obtained economic effect from the use of the developed complex additive was made, when replacing a number of additives traditionally used during construction in concrete formulations. Thus, the use of small doses of nanoparticles in the complex additive – ten times smaller than the researched ranges of additives introduced into building materials – led to an increase in the physical and mechanical characteristics of concrete while reducing the cost of 1 m<sup>3</sup> of concrete mixture to 34 belorussian rubles.

**Keywords:** nanoparticles; hydrothermal silica SiO<sub>2</sub>; multilayer carbon nanotubes; complex additive; economic effect.

приготовления. Учитывая, что при этом стоимость 1 кв. м общей площади жилья в зависимости от материала стен на первичном рынке недвижимости Республики Беларусь наибольшая при применении различных видов бетона, то является актуальным поиск путей снижения стоимости производимой строительной продукции. Одним из

направлений снижения материалоемкости и экономии материалов без потери качества строительной продукции и сохранения высоких ее эксплуатационных свойств является эффективность применения бетона. Это возможно не только путем повышения его физико-механических характеристик, но и снижения стоимости его составляющих, что может быть реализовано за счет применения различных модификаторов и пластификаторов.

Анализ научных исследований различных авторов (таблица 1) показал, что наночастицы (далее – НЧ), вводимые в состав бетона, применяются в большом диапазоне [1–20], что ограничивает их применение в промышленном масштабе из-за высокой стоимости конечного продукта, поэтому применение малых доз наночастиц (в несколько сотен раз ниже уже исследованных) является одним из возможных вариантов более рентабельного использования наночастиц.

С учетом эффективности применения, затрат на производство, возможности стабилизированного однородного ввода в бетонную смесь, а также наличия действующих крупных производств, авторами для исследований были выбраны наночастицы гидротермального золя кремнезема SiO<sub>2</sub> (ТУ ВУ 691460594.002-2016) и многослойные углеродные нанотрубки МУНТ (ТУ 2111-001-97849280-2014). Вследствие этого впервые было произведено комплексное сочетание данных наноконпонентов и разработана комплексная добавка. Введение комплексной добавки в бетон, содержащей в своем составе наночастицы гидротермального кремнезема SiO<sub>2</sub> (далее – SiO<sub>2</sub>) и многослойные углеродные нанотрубки (далее – МУНТ), дало структурный эффект, переходящий в эффекты повышения физико-механических характеристик [21; 22]. Дальнейшей целью в рамках данной статьи является определение стоимости разработанной комплексной добавки и экономического эффекта от ее применения.

| Автор                                                                                                                          | Количество НЧ, % от массы цемента |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
|                                                                                                                                | МУНТ                              | SiO <sub>2</sub> |
| Рябчиков П. В.                                                                                                                 | 0,005–0,1                         | -                |
| Марко О. Ю.                                                                                                                    | 0,005                             | -                |
| Пудов И. Н., Яковлев Г. И., Первушин Г. Н. и др.                                                                               | 0,06                              | -                |
| Петрунин С. Ю., Гусев Б. В.                                                                                                    | 0,05                              | -                |
| Рахимов Р. З., Габидуллин М. Г., Стоянов О. В., Хузин А. Ф., Габидуллина А. Н., Хозин В. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К. | 0,0005–0,0025                     | -                |
| Толчков Ю. Н., Михалева З. А., Ткачев А. Г.                                                                                    | 0,0001–0,0007                     | -                |
| Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Никитин В. А., Летенко Д. Г, Староверов В. Д.                                               | 10-4–10-6                         | -                |
| Чернышов Е. М., Славчева Г. С., Артамонова О. В.                                                                               | 0,01; 1,0                         | -                |
| Li G.Y.                                                                                                                        | 0,5                               | -                |
| Makar J. M.                                                                                                                    | 2,0                               | -                |
| Wansom S.                                                                                                                      | 0,1–0,75                          | -                |
| Habermehl-Cwirzen K.                                                                                                           | 0,045–0,15                        | -                |
| Shah S. P.                                                                                                                     | 0,02–0,1                          | -                |
| Ибрагимов Р.А., Потапова Л. И., Королев Е. В.                                                                                  | 0,005                             | -                |
| Гуриненко Н. С.                                                                                                                | -                                 | 0,25–1,0         |
| Zhang P. (Чанг)                                                                                                                | -                                 | 2,0–5,0          |
| Bahadori H.                                                                                                                    | -                                 | 1,0–3,0          |
| Khaloo A.                                                                                                                      | -                                 | 1,75             |
| Ji T.                                                                                                                          | -                                 | 0,3              |
| Du H.                                                                                                                          | -                                 | 0,9              |
| Чернышов Е. М.                                                                                                                 | -                                 | 0,01; 1          |
| Полонина Е. Н.                                                                                                                 | 0,00007–0,0009                    | 0,000001–0,00008 |

Табл. 1. Количество предлагаемых различными авторами к применению наночастиц в долях от массы цемента  
Tab. 1. The number of nanoparticles proposed by various authors for use in fractions of the mass of cement

Материалы и методы

Комплексная добавка состоит из следующих компонентов:

- гидротермального золя нанокремнезема: содержание SiO<sub>2</sub> в золе составляет 120 г/дм<sup>3</sup>, плотность ρ = 1075 г/дм<sup>3</sup>, общее солесодержание – 1720 мг/дм<sup>3</sup>, рН = 9,2, удельная площадь поверхности 500 м<sup>2</sup>/г и средний диаметр первичных наночастиц SiO<sub>2</sub> 5,5 нм (ТУ 2111-001-97849280-2014);
- МУНТ, средний диаметр трубок и волокон которых 10–300 нм, средняя длина трубок и волокон 0,01–20 мкм, насыпная плотность 0,15–0,22 г/см<sup>3</sup>, зольность не более 5 %, удельная адсорбционная поверхность от 60 м<sup>2</sup>/г (ТУ ВУ 691460594.002-2016);
- суперпластификатора (далее – СП) в виде водного раствора – поликарбоксилатного сополимера WBK плотностью 1,1–1,14 г/мл, рН = 6–8, вязкостью 230–330 сПз, содержание нелетучих веществ 39–41 %, водоредуцирующей способностью до 40 % (производитель LG Chem).

Технология получения комплексной нанодобавки состоит в следующем: в приготовленную водную суспензию наночастиц (приготовление осуществляется согласно ТУ ВУ 691460594.002-2016) добавляют отмеренное количество золя гидротермального нанокремнезема (по полученным данным содержание тв. SiO<sub>2</sub> составило 0,000001–0,000008 % от массы цемента) и перемешивают в смесителе, снабженном высокооборотистой мешалкой (тип и характеристики смесителя определяет производственная лаборатория в зависимости от необходимого количества готового продукта). Оптимальное время перемешивания, определенное экспериментальным путем, составляет 40 минут. Таким образом, наночастицы МУНТ и SiO<sub>2</sub> равномерно распределяются в объеме дисперсии, что придает им большую устойчивость к расслоению, а

| Основные компоненты комплексной добавки      | Расход, г     | Стоимость, бел. руб. за 1 г | Сумма, бел. руб. |
|----------------------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------|
| Наночастицы МУНТ                             | 0,005         | 2,5                         | 0,0125           |
| Суперпластификатор (СП)                      | 49,15         | 0,002925                    | 0,1437           |
| Гидротермальные наночастицы SiO <sub>2</sub> | 0,000749      | 0,088                       | 0,0000659        |
| Вода                                         | 49,15 + 1,699 | 0,000001                    | 0,0000508        |
| Стоимость 100 г                              | 100           | -                           | 0,15635          |
| Стоимость 1 кг                               | -             | -                           | 1,5635           |

Табл. 2. Определение стоимости комплексной добавки  
Tab. 2. Determination of the cost of a complex additive

комбинированная композиция приобретает соответствующие свойства.

При применении комбинированную композицию – комплексную добавку – смешивали с небольшим количеством воды и вводили к компонентам бетонной смеси.

Для изготовления бетонной смеси дозируются крупный и мелкий заполнители, портландцемент (предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы» – ПЦ 500 ДО) и производится смешивание сухих компонентов в течение нескольких минут до однородной массы. Далее в смесь при постоянном перемешивании добавляется вода совместно с комплексной добавкой (содержание суперпластификатора 0,32–0,5 %, наночастиц SiO<sub>2</sub> 0,000001–0,000008 % и наночастиц МУНТ 0,00007–0,0009 % от массы цемента) в количестве от 0,5 до 1,0 % от массы цемента для получения необходимой подвижности смеси с В/Ц = 0,3–0,4 (осадка конуса для Серий 1, 5 и 2 составила ОК = 22, 22 и 24 см соответственно, а для Серий 3 и 4 распływ конуса – РК = 53 и 64 см соответственно).

Результаты

В силу отсутствия достоверной информации о ценах в открытых источниках стоимость комплексной добавки рассчитывалась исходя из рыночной стоимости входящих в состав ее компонентов (таблица 2). Стоимость компонентов принята согласно данным, предоставленным производителями наночастиц ООО «Передовые исследования и технологии» и ООО НПФ «Наносилика». Следует отметить, что стоимость наночастицы МУНТ взята максимальная и, в зависимости от объема и полученного результата при производстве и последующей реализации, она может быть снижена, по предварительным данным, до 0,25 бел. руб. за 1 г.

Для расчета из преysкурантов заводов-производителей были взяты стоимостные показатели основных компонентов бетона (таблица 3). При этом принималась соразмерность затрат на приготовление добавки, транспортировку и перемешивание бетонной смеси.

Далее стоимость бетонной смеси (Сб) определялась ее составом и стоимостью входящих компонентов (без учета воды), а именно:

$$C_6 = Ц \cdot C_{\text{ц}} + Щ \cdot C_{\text{щ}} + П \cdot C_{\text{п}} + Д \cdot C_{\text{д}}, \text{руб/м}^3, \quad (1)$$

где Ц, Щ, П и Д – соответственно расход цемента, щебня, песка и добавок в бетоне; C<sub>ц</sub>, C<sub>щ</sub>, C<sub>п</sub> и C<sub>д</sub> – соответственно рыночная стоимость цемента, щебня, песка и добавок в бетоне.

Для оценки и сопоставления стоимости бетонной смеси (в бел. руб/м<sup>3</sup>) для Серий 1–5, составы которых указаны в таблице 4, была применена упрощенная оценка, которая базируется на определении экономического эффекта от изменения в составах бетона при фиксированном содержании основных материалов с заменой используемой добавки на комплексную. В свою очередь, экономический

эффект (Э, руб/ м<sup>3</sup> бетона) от примененной в бетоне комплексной добавки (далее – КД) определялся как разница между стоимостями 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси при замене в рецептурах бетона, традиционно используемых во время строительства на Белорусской атомной электростанции (далее – БелАЭС) добавок (C<sub>б(АЭС)</sub>), на разработанную комплексную добавку (C<sub>б(КД)</sub>):

$$\text{Э} = C_{\text{б(АЭС)}} - C_{\text{б(КД)}}, \text{руб/м}^3. \quad (2)$$

Результаты для Серий 1–5 представлены в таблице 4. Знаком (\*) обозначены характеристики бетона, которые были повышены при испытаниях с использованием комплексной добавки.

В итоге экономический эффект от применения комплексной добавки в бетонной смеси, выявленный при производственной апробации на БелАЭС, без учета стоимости воды, для Серий 1–5 (Э<sub>1-5</sub>) составил:

$$\text{Э}_1 = 138,38 - 125,26 = 13,12 \text{ бел. руб/м}^3;$$

$$\text{Э}_2 = 168,35 - 134,03 = 34,32 \text{ бел. руб/м}^3;$$

$$\text{Э}_3 = 157,84 - 136,97 = 20,88 \text{ бел. руб/м}^3;$$

$$\text{Э}_4 = 297,29 - 267,65 = 29,64 \text{ бел. руб/м}^3;$$

$$\text{Э}_5 = 168,35 - 136,12 = 32,23 \text{ бел. руб/м}^3.$$

Следует отметить, что экономический эффект наблюдается не только за счет более низкой стоимости комплексной добавки по сравнению с другими, что может быть скорректировано в зависимости от условий и факторов ее производства, а также изменения цен на компоненты, но более существенное влияние оказывает применение более малых доз – в десятки раз меньших по сравнению с исследуемыми диапазонами вводимых добавок в строительные материалы. Даже при изменении цен на другие компоненты бетонной смеси эффект от применения более малых доз сохранится, что будет особенно ощутимо при возведении крупных и высотных объектов. Также повышение класса бетона при применении ком-

| Основные материалы                     | Стоимость, бел. руб. |        |
|----------------------------------------|----------------------|--------|
|                                        | за 1 кг              | за 1 т |
| Цемент М500-Д0                         | 0,22                 | 220    |
| Щебень фр. 5–20 мм                     | 0,026                | 26,34  |
| Щебень фр. 5–10 мм                     | 0,029                | 29,36  |
| Песок                                  | 0,007                | 7,43   |
| Расширяющая добавка РСАМ               | 0,105                | -      |
| Микрокремнезем конденсированный МКУ-85 | 2,61                 | -      |
| Добавка «SikaViscoCrete 3190»          | 4,3                  | -      |
| Добавка «SikaViscoCrete 5-600»         | 6,3                  | -      |
| Добавка «Линамикс ПК»                  | 5,32                 | -      |
| Добавка «Линамикс СП-180»              | 2,3                  | -      |
| Комплексная добавка (КД)               | 1,5635               | -      |

Табл. 3. Стоимость добавок и основных материалов  
Tab. 3. Cost of additives and basic materials

| № серии                     | Расход материалов, кг/м³ бетонной смеси |                  |        |       |       |                                                |                         |               | Стоимость бетонной смеси, бел. руб/м³ | Вывод:<br>по факту<br>получен бетон |                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------|--------|-------|-------|------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
|                             | ПЦ 500-ДО                               | Щебень<br>фр. мм |        | Песок | КД    | Добавки (используемые<br>в составах на БелАЭС) |                         |               |                                       |                                     |                           |
|                             |                                         |                  |        |       |       | «Линамикс СП-180»                              | «Sika ViscoCrete 5-600» | «Линамикс ПК» |                                       |                                     | « SikaViscoCrete 3190»    |
|                             |                                         | 5 – 10           | 5 – 20 |       |       |                                                |                         |               |                                       |                                     |                           |
| 1. B25 (C20/25) W6 F100     | 400                                     | -                | 1020   | 820   | 3,2   | -                                              | -                       | -             | -                                     | 125,26                              | *B45 (C35/45) W20 F300    |
|                             |                                         |                  |        |       | -     | 7,88                                           | -                       | -             | -                                     | 138,38                              | B25 (C20/25) W6 F100      |
| 2. B30 (C25/30) W8 F500     | 445                                     | -                | 1035   | 820   | 2,225 | -                                              | -                       | -             | -                                     | 134,03                              | *B45 (C35/45) W20 F600    |
|                             |                                         |                  |        |       | -     | -                                              | 6,0                     | -             | -                                     | 168,35                              | B30 (C25/30) W8 F500      |
| 3. B30 (25/30) W8 F200      | 460                                     | 880              | -      | 950   | 2,3   | -                                              | -                       | -             | -                                     | 136,97                              | *B30 (C25/30) W8 F400 СУБ |
|                             |                                         |                  |        |       | -     | -                                              | -                       | 4,6           | -                                     | 157,84                              | B30 (25/30) W8 F200 СУБ   |
| 4. B60 (C50/60) W6 F200 СУБ | 485                                     | 880              | -      | 950   | 4,56  | -                                              | -                       | -             | -                                     | 267,65                              | *B60 (C50/60) W6 F300 СУБ |
|                             |                                         |                  |        |       | -     | -                                              | -                       | -             | 8,55                                  | 297,29                              | B60 (C50/60) W6 F200 СУБ  |
| 5. B30 (C25/30) W8 F500     | 445                                     | -                | 1035   | 820   | 3,56  | -                                              | -                       | -             | -                                     | 136,12                              | *B45 (C35/45) W20 F600    |
|                             |                                         |                  |        |       | -     | -                                              | 6,0                     | -             | -                                     | 168,35                              | B30 (C25/30) W8 F500      |

\* В Серию 4 дополнительно входит 40 кг расширяющей сульфoалюминатной добавки и 45 кг микрокремнезема  
\* In the Series 4 additionally includes 40 kg of expanding sulfoaluminate additive and 45 kg of microsilica

Табл. 4. Расчет стоимости бетонной смеси для Серий 1–5  
Tab. 4. Calculation of the cost of concrete mix for Series 1–5

плексной добавки позволит использовать его на объектах строительства с более высокими требованиями к параметрам бетона, что даст больший положительный экономический эффект из-за разницы цен.

Заключение

Таким образом, в производственных составах произведены и испытаны образцы бетона Серий 1–5 (с В/Ц = 0,33–0,39) на прочность при сжатии, прочность на осевое растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение, пористость, в том числе неразрушающими методами, и получены следующие результаты при применении разработанной комплексной добавки, которые можно рассматривать как ее конкурентные преимущества [21; 22]:

- увеличение прочности бетона при сжатии в возрасте 28 суток составило более 20 %; прочность бетона при осевом растяжении доводили до 2,9 МПа; прочность бетона на четырехточечный изгиб от 4,2 до 6,5 МПа;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябчиков, П. В. Технология и физико-технические свойства тяжелого бетона, модифицированного углеродными наноматериалами : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Рябчиков Павел Владимирович ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2017. – 28 с. – Текст непосредственный.

2. Марко, О. Ю. Технология термосного бетонирования с применением комплексной химической добавки, содержащей углеродный материал : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Марко Ольга Юрьевна ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2022. – 26 с. – Текст непосредственный.

3. Пудов, И. А. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.03.05 / Пудов Игорь Александрович ; ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Казань, 2013. – 22 с. – Текст

- показатель пористости  $\lambda$  повышали до 0,88; показатель однородности дифференциального распределения пор по диаметрам  $\alpha$  до 0,4; капиллярную пористость в диапазоне 2,9–4,9 %;
- повышение марки бетона по водонепроницаемости с W8 до W20; марка по морозостойкости бетона до F500;
- трещиностойкость бетона по значениям коэффициентов  $K_{Ic}$  при нормальном отрыве и  $K_{2c}$  при поперечном сдвиге была выше для варианта ввода комбинации наночастиц SiO<sub>2</sub> и МУНТ по сравнению с вариантом ввода наночастиц МУНТ отдельно.

При этом использование в комплексной добавке малых доз гидротермальных наночастиц SiO<sub>2</sub> и наночастиц МУНТ привело к тому, что произошло повышение физико-механических характеристик бетона за счет направленного действия наночастиц на структуру C-S-H геля при одновременном снижении стоимости каждого 1 м³ бетонной смеси до 34 бел. руб.

непосредственный.

4. Петрунин, С. Ю. Повышение прочности бетона углеродными нанотрубками с применением гидродинамической кавитации : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Петрунин Сергей Юрьевич ; ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». – Москва, 2015. – 20 с. – Текст непосредственный.

5. Влияние многослойных углеродных нанотрубок в составе комплексной добавки на макро- и мезоструктуру цементного камня / Р. З. Рахимов, М. Г. Габидуллин, О. В. Стоянов, А. Ф. Хузин, А. Н. Габидуллина // Вестник КТУ. – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 65–68.

6. Влияние поверхностно-активных веществ на распределение углеродных наноматериалов в водных дисперсиях при наномодифицировании строительных композитов / Ю. Н. Толчков, Т. И. Панина, З. А. Михалева, Е. В. Галунин, Н. Р. Меметов, А. Г. Ткачев // Химическая физика и мезоско-

пия. – 2017. – № 2. – С. 292–298.

7. Модифицирование цементных композитов смешанным нанокремнеземом материалом фуллероидного типа / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. А. Никитин, Д. Г. Летенко, В. Д. Староверов // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения) : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5–8 окт. 2010 г. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. – Ч. 1. – С. 282–286.

8. Chernishov, E. M. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle / E. M. Chernishov, O. V. Artamonova, G. S. Slavcheva // Nanotechnologies in construction. – 2020. – Vol. 12, № 3. – P. 130–139.

9. Li, G. Y. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites/ G. Y. Li, P. M. Wang, X. Zhao // Cement and Concrete Composites. – 2007. – Vol. 29, № 5. – P. 377–382. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.011>.

10. Makar, J. M. Carbon nanotube/cement composites-early results and potential applications / J. M. Makar, J. C. Margeson, J. Luh // Proceedings of the 3rd International Conference on Construction Materials, Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, B.C., Canada. – Vancouver, 2005. – P. 1–10.

11. AC-impedance response of multi-walled carbon nanotube/cement composites / S. Wansom, N. J. Kidner, L. Y. Woo, T. O. Mason // Cement and Concrete Composites. – 2006. – Vol. 28, № 6. – P. 509–519. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.014>.

12. Habermehl-Cwirzen, K. Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites / K. Habermehl-Cwirzen, V. Penttala, A. Cwirzen. – DOI 10.1680/adcr.2008.20.2.65 // Advances in Cement Research. – 2008. – Vol. 20, № 2. – P. 65–73.

13. Nanoscale modification of cementitious materials / S. P. Shah, M. S. Konsta-Gdoutos, Z. S. Metaxa, P. Mondal // Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd International Symposium on Nanotechnology in Construction). – 2005. – P. 125–130.

14. Гуриненко, Н. С. Технология и свойство бетона с полифункциональной добавкой, содержащей ультрадисперсный микрокремнезем : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Гуриненко Наталья Сергеевна ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 25 с. – Текст не-

REFERENCES

1. Ryabchikov, P. V. Tekhnologiya i fiziko-tekhicheskie svojstva tyazhelogo betona, modifitsirovannogo uglerodnymi nanomaterialami [Technology and physico-technical properties of heavy concrete modified with carbon nanomaterials] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk [abstract of dis. ... Candidate of Technical Sciences] : 05.23.05 / Ryabchikov Pavel Vladimirovich ; Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet [Belarusian National Technical University]. – Minsk, 2017. – 28 p. – Tekst neposredstvennyj [The text is direct].

2. Marko, O. Y. Tekhnologiya termosnogo betonirovaniya s primeneniem kompleksnoj khimicheskoy dobavki, sodержashchej uglerodnyj material [Technology of thermos concreting with the use of a complex chemical additive containing carbon material] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk [abstract dis. ... Candidate of Technical Sciences] : 05.23.05 / Marko Olga Yurievna ; Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet

посредственный.

15. Influence of nano-SiO<sub>2</sub> on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review / P. Zhang, J. Wan, K. Wang, Q. Li // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 148, № 1. – P. 648–658. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.059>.

16. Bahadori, H. Reduction of cement consumption by the aid of silica nano-particles (investigation on concrete properties) / H. Bahadori, P. Hosseini. – DOI 10.3846/13923730.2012.698912 // Journal of Civil Engineering and Management. – 2012. – Vol. 18, № 3. – P. 416–425.

17. Khaloo, A. Influence of different types of nano-SiO<sub>2</sub> particles on properties of high-performance concrete / A. Khaloo, M. H. Mobini, P. Hosseini. // Construction and Building Materials. – 2016. – Vol. 113. – P. 188–201. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.041>.

18. Ji, T. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO<sub>2</sub> / T. Ji // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, № 10. – P. 1943–1947. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.004>.

19. Du, H. Durability performances of concrete with nano-silica / H. Du, S. Du, X. Liu // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 73. – P. 705–712. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.014>.

20. Ибрагимов, Р. А. Исследование структурообразования активированного наномодифицированного цементного камня методом ИК-спектроскопии / Р. А. Ибрагимов, Л. И. Потапова, Е. В. Королёв // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – № 3 (57). – С. 41–49.

21. Потапов, В. В., Полонина, Е. Н., Леонович, С. Н., Жданок, С. А. Способ модифицирования бетона комплексной добавкой, включающей гидротермальные наночастицы SiO<sub>2</sub> и многослойные углеродные нанотрубки / Патент РФ № 2750497, СПК C04B 28/04, C04B 14/06, C04B 24/04, B82Y 30/00, пер. № 2020138511; дата публикации 28.06.2021. – Москва : Роспатент, 2021.

22. Жданок, С. А. Синергетическое влияние наночастиц SiO<sub>2</sub> и углеродных нанотрубок на свойства бетона / С. А. Жданок, С. Н. Леонович, Е. Н. Полонина // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 1. – С. 109–112. – URL: <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-109-112>.

[Belarusian National Technical University]. – Minsk, 2022. – 26 p. – Tekst neposredstvennyj [The text is direct].

3. Pudov, I. A. Nanomodifikaciya portlandcementa vodnymi dispersiyami uglerodnyh nanotrubok [Nanomodification of Portland cement by aqueous dispersions of carbon nanotubes] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk [abstract of the dis. ... Candidate of Technical Sciences] : 05.03.05 / Pudov Igor Alexandrovich ; FGBOU VPO «Kazanskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet» [Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – Kazan, 2013. – 22 p. – Tekst neposredstvennyj [The text is direct].

4. Petrunin, S. Y. Povyshenie prochnosti betona uglerodnymi nanotrubkami s primeneniem gidrodinamicheskoy kavitatsii [Increasing the strength of concrete with carbon nanotubes using hydrodynamic cavitation] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk [abstract of dis. ... Candidate of Technical Sciences] : 05.23.05 / Petrunin Sergey Yurievich ; FGBOU VO «Nacional'nyj

issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet» [National Research Moscow State University of Civil Engineering]. – Moscow, 2015. – 20 p. – Tekst neposredstvennyj [The text is direct].

5. Vliyanie mnogoslojnykh uglerodnkh nanotrubok v sostave kompleksnoj dobavki na makro- i mezostrukturu tsementnogo kamnya [The effect of multilayer carbon nanotubes as part of a complex additive on the macro- and mesostructure of cement stone] / R. Z. Rahimov, M. G. Gabidullin, O. V. Stoyanov, A. F. Huzin, A. N. Gabidullina // Vestnik KTU [Bulletin of KTU]. – 2014. – Vol. 17, № 2. – P. 65–68.
6. Vliyanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na raspredelenie uglerodnkh nanomaterialov v vodnykh dispersiyakh pri nanomodifitsirovanii stroitel'nykh kompozitov [The influence of surfactants on the distribution of carbon nanomaterials in aqueous dispersions during nanomodification of building composites] / Y. N. Tolchkov, T. I. Panina, Z. A. Mihaleva, E. V. Galunin, N. R. Memetov, A. G. Tkachev // Khimicheskaya fizika i mezoskopiya [Chemical physics and mesoscopy]. – 2017. – № 2. – P. 292–298.
7. Modifitsirovanie tsementnykh kompozitov smeshannym nanouglerodnym materialom fulleroidnogo tipa [Modification of cement composites with a mixed nanocarbon material of the fulleroid type] / Y. V. Puharenko, I. U. Aubakirova, V. A. Nikitin, D. G. Letenko, V. D. Staroverov // Nauchnye issledovaniya, nanosistemy i resursoberegayushchie tekhnologii v promyshlennosti stroitel'nykh materialov (XIX nauchnye chteniya) [Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the construction materials industry (XIX scientific readings)] : Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Belgorod, 5–8 okt. 2010 g. [Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference, Belgorod, 5–8 Oct. 2010 – Belgorod]. – Belgorod : BGTU, 2010. – Ch. 1. – P. 282–286.
8. Chernishov, E. M. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle / E. M. Chernishov, O. V. Artamonova, G. S. Slavcheva // Nanotechnologies in construction. – 2020. – Vol. 12, № 3. – P. 130–139.
9. Li, G. Y. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites / G. Y. Li, P. M. Wang, X. Zhao // Cement and Concrete Composites. – 2007. – Vol. 29, № 5. – P. 377–382. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.011>.
10. Makar, J. M. Carbon nanotube/cement composites-early results and potential applications / J. M. Makar, J. C. Margeson, J. Luh // Proceedings of the 3rd International Conference on Construction Materials, Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, B.C., Canada. – Vancouver, 2005. – P. 1–10.
11. AC-impedance response of multi-walled carbon nanotube/cement composites / S. Wansom, N. J. Kidner, L. Y. Woo, T. O. Mason // Cement and Concrete Composites. – 2006. – Vol. 28, № 6. – P. 509–519. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.014>.
12. Habermehl-Cwirzen, K. Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites / K. Habermehl-Cwirzen, V. Penttala, A. Cwirzen. – DOI 10.1680/adcr.2008.20.2.65 // Advances in Cement Research. – 2008. – Vol. 20, № 2. – P. 65–73.
13. Nanoscale modification of cementitious materials / S. P. Shah, M. S. Konsta-Gdoutos, Z. S. Metaxa, P. Mondal // Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd International Symposium on Nanotechnology in Construction). –

2005. – P. 125–130.

14. Gurinenko, N. S. Tekhnologiya i svojstvo betona s polifunkcional'noj dobavkoj, soderzhashchej ul'tradispersnyj mikrokremnezem [Technology and properties of concrete with a multifunctional additive containing ultrafine microsilicon] : avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk [abstract of dis. ... Candidate of Technical Sciences] : 05.23.05 / Gurinenko Natalia Sergeevna ; Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet [Belarusian National Technical University]. – Minsk, 2020. – 25 p. – Tekst neposredstvennyj [The text is direct].
15. Zhang, P. Influence of nano-SiO<sub>2</sub> on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review / P. Zhang, J. Wan, K. Wang, Q. Li // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 148, № 1. – P. 648–658. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.059>.
16. Bahadori, H. Reduction of cement consumption by the aid of silica nano-particles (investigation on concrete properties) / H. Bahadori, P. Hosseini. – DOI 10.3846/13923730.2012.698912 // Journal of Civil Engineering and Management. – 2012. – Vol. 18, № 3. – P. 416–425.
17. Khaloo, A. Influence of different types of nano-SiO<sub>2</sub> particles on properties of high-performance concrete/ A. Khaloo, M. H. Mobini, P. Hosseini. // Construction and Building Materials. – 2016. – Vol. 113. – P. 188–201. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.041>.
18. Ji, T. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO<sub>2</sub> / T. Ji // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, № 10. – P. 1943–1947. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.004>.
19. Du, H. Durability performances of concrete with nano-silica / H. Du, S. Du, X. Liu // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 73. – P. 705–712. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.014>.
20. Ibragimov, R. A. Issledovanie strukturoobrazovaniya aktivirovannogo nanomodifitsirovannogo cementnogo kamnya metodom IK-spektroskopii [Investigation of structure formation of activated nanomodified cement stone by IR spectroscopy] / R. A. Ibragimov, L. I. Potapova, E. V. Korolev // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2021. – № 3 (57). – P. 41–49.
21. Potapov, V. V., Polonina, E. N., Leonovich, S. N., Zhdanok, S. A. Sposob modifitsirovaniya betona kompleksnoj dobavkoj, vklyuchayushchej gidrotermal'nye nanochastitsy SiO<sub>2</sub> i mnogoslojnye uglerodnye nanotrubki [A method for modifying concrete with a complex additive including hydrothermal SiO<sub>2</sub> nanoparticles and multilayer carbon nanotubes] / RF Patent No. 2750497, SEC C04B 28/04, C04B 14/06, C04B 24/04, B82Y 30/00, reg. No. 2020138511; date of publication 28.06.2021. – Moscow : Rospatent, 2021.
22. Zhdanok, S. A. Sinergeticheskoe vliyanie nanochastits SiO<sub>2</sub> i uglerodnkh nanotrubok na svojstva betona [Synergetic effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and carbon nanotubes on concrete properties] / S. A. Zhdanok, S. N. Leonovich, E. N. Polonina // Dokl. Nac. akad. nauk Belarusi [Report of the National Academy of Sciences of Belarus]. – 2022. – Vol. 66, № 1. – P. 109–112. – URL: <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-109-112>.

УДК 658.2

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_47

## Методика определения трудозатрат возведения АЭС в зависимости от степени укрупнения армоблока

Method for Determining Labor Costs of NPP Construction Depending on the Degree of Enlargement of the Reinforced Block

**Морозенко Андрей Александрович**

Профессор, доктор технических наук, 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

Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

**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

Graduate student of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, creatorjl@mail.ru

### Аннотация

Целью данной статьи является разработка методики определения трудозатрат на монтаж и укрупнительную сборку в зависимости от степени укрупнения армоблоков для проектов атомных электростанций (АЭС) типа АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. Проанализированы вопросы определения рациональных габаритов армоопалубочных блоков для технологий возведения АЭС предыдущих поколений с реакторными установками ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Были собраны данные по трудозатратам возведения и характеристикам конструкций реакторного здания энергоблока АЭС мощностью 1200 МВт проекта АЭС-2006. Были определены трудозатраты устройства стыковых соединений армоблоков, трудозатраты установки армоблоков в проект-

### Abstract

The purpose of this article is to develop a method for determining the labor costs for installation and pre-assembly depending on the degree of pre-aggregation of reinforced blocks for projects of nuclear power plants (NPP) of the AES-2006 and VVER-TOI types. The issues of determining the rational dimensions of reinforced blocks for the technologies of building nuclear power plants of previous generations with VVER-1000 and RBMK-1000 reactors are analyzed. Data were collected on the labor costs of erection and the characteristics of the structures of the reactor building of the NPP power unit with a capacity of 1200 MW of the AES-2006 project. Labor costs for butt joints of reinforced blocks, labor costs for installing reinforced blocks in the design position, labor costs for assembling reinforced concrete blocks

### Введение

Для возведения крупных железобетонных зданий и сооружений, возведение которых определяет общую продолжительность строительства комплекса зданий и сооружений (то есть лежащих на критическом пути строительства), возможно использование двух методов возведения. Первый метод – традиционный, при котором железобетонные конструкции возводятся в инвентарной опалубке с армированием отдельными стержнями. Второй метод – крупноблочное строительство, когда железобетонные конструкции возводятся с помощью бетонирования заранее изготовленных армокаркасов с несъемной опалубкой (армоопалубочных блоков – армоблоков, рисунок 1).

ное положение, трудозатраты монтажа армоблоков на основе трудозатрат установки армоблоков в проектное положение и трудозатрат устройства стыковых соединений армоблоков, трудозатраты укрупнительной сборки армоблока в зависимости от размера армоблока и количества фрагментов. Построены зависимости трудоемкости монтажа от размера армоблока, а также трудоемкости укрупнительной сборки армоблока в зависимости от размера армоблока и количества фрагментов. Сделаны выводы о применимости данной методики при формировании организационной структуры строительного проекта.

**Ключевые слова:** трудозатраты, крупноблочное строительство, армоблок, монтаж, укрупнительная сборка, АЭС.

based on the labor costs for installing reinforced concrete blocks in the design position and labor costs for arranging butt joints of reinforced concrete blocks, labor costs for pre-assembly of the reinforced concrete block depending on the size of the reinforced concrete block and the number of fragments were determined. Dependences of the complexity of installation on the size of the reinforced block, as well as the complexity of the pre-assembly of the reinforced block, depending on the size of the reinforced block and the number of fragments, are constructed. Conclusions are drawn about the applicability of this technique in the formation of the organizational structure of a construction project.

**Keywords:** labor costs, large block construction, reinforced block, installation, pre-assembly, NPP.

Согласно существующей гипотезе, использование крупноблочного метода способно сократить продолжительность строительства за счет сокращения трудозатрат непосредственно на строительной площадке [1–7]. Сокращение срока строительства наиболее оправдано для объектов, которые находятся на критическом пути строительства комплексов зданий и сооружений. В качестве рассматриваемого объекта было выбрано реакторное здание атомной электростанции (АЭС) российского проекта АЭС-2006. Реакторное здание находится на критическом пути возведения комплекса зданий и сооружений АЭС и определяет общую продолжительность возведения станции.

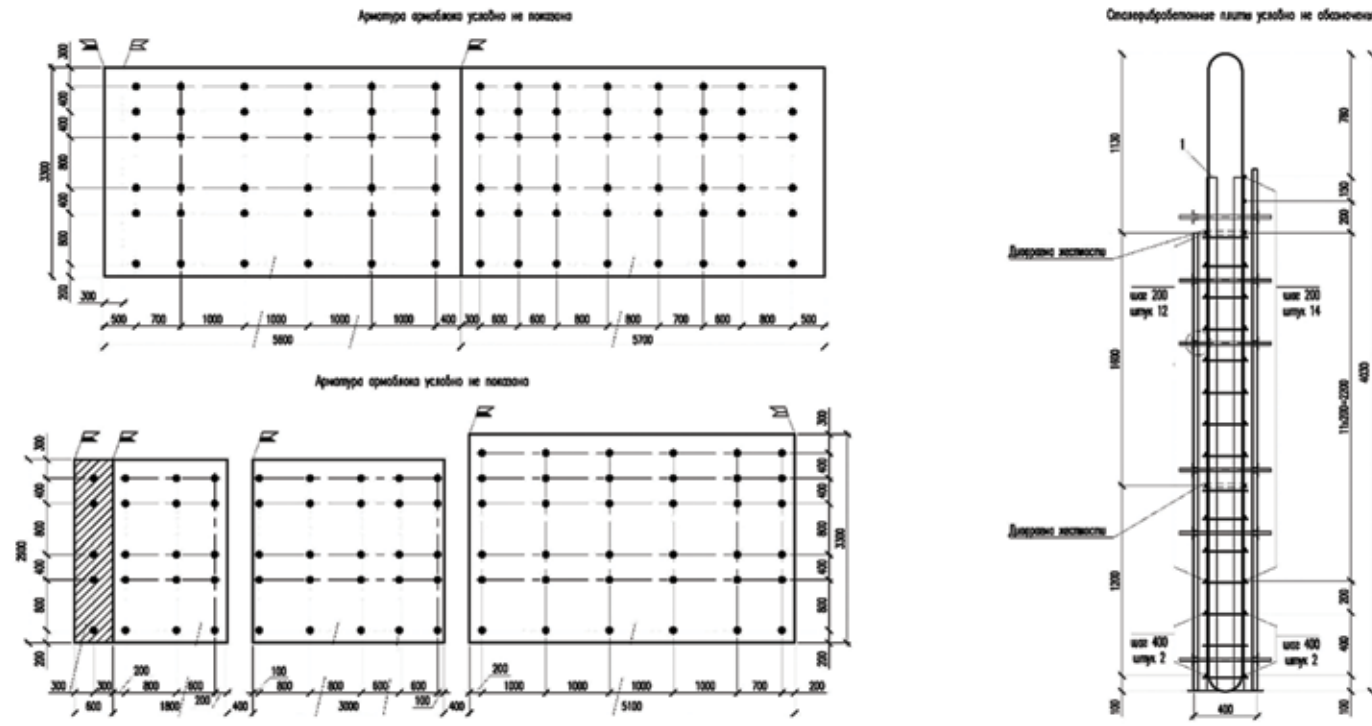


Рис. 1. Пример конструкции армоопалубочного блока стены  
Fig. 1. An example of the design of a reinforced wall block

Сокращение общей продолжительности возведения станции увеличивает инвестиционную привлекательность проекта. Это происходит за счет раннего ввода мощностей, что позволяет быстрее начать окупать инвестиционный проект [8].

Вопросы определения рациональных габаритов армоопалубочных блоков рассматривались еще на технологиях возведения АЭС предыдущих поколений. Рассмотрением проблемы занимались такие ученые, как А. С. Гриценко, Р. Р. Темишев, Б. К. Пергаменщик, А. Берндт [5; 9–11]. А. С. Гриценко указывает, что показателем, наиболее достоверно отражающим действительные затраты труда, является трудоемкость работ, исчисляемая на всех этапах строительства: изготовления, сборки с укрупнением и монтажа конструкций. Он указывает, что увеличение единичной массы монтажных блоков возможно укрупнением в условиях сборочных площадок из нескольких элементов перед монтажом, а применение различных сочетаний элементов в монтажном блоке увеличивает или уменьшает массу монтажных блоков, изменяя при этом трудоемкость работ при сборке с укрупнением и монтаже.

Р. Р. Темишев говорит, что трудозатраты при укрупнении и монтаже конструкций АЭС следует рассчитывать отдельно для каждой конструктивно однородной части здания и каждого стыка примыкания между ними с последующим суммированием. Он также указывает, что трудозатраты для одной части здания рекомендуется вычислять суммированием составляющих по установке блоков в проектное положение, организации стыков между ними и по монтажу россыпи, каждая из которых определяется произведением удельных трудозатрат на соответствующий приведенный объем работ. В совместной статье Б. К. Пергаменщика и Р. Р. Темишева также указывается, что трудозатраты на этапе монтажа одной конструктивно однородной части здания рассчитываются суммированием составляющих по установке армоопалубочных блоков в проектное положение, организации стыков между бло-

ками, а также стыков с ранее возведенными конструктивами, по монтажу россыпи. Каждая составляющая вычисляется суммированием приведенной удельной величины на соответствующий объем работ. Авторы указывают, что удельные величины инвариантны относительно степени укрупнения и характера разрезки, что позволяет оценить суммарные трудозатраты различных вариантов монтажных схем, не прибегая к корректировке нормативной базы.

Целью данной статьи является разработка методики определения трудозатрат на монтаж и укрупнительную сборку в зависимости от степени укрупнения армоблоков для современных проектов АЭС.

Для достижения цели данного исследования требуется решить следующие задачи:

1. Определить трудозатраты устройства стыковых соединений армоблоков;
2. Определить трудозатраты установки армоблоков в проектное положение;
3. Определить трудозатраты монтажа армоблоков на основе трудозатрат установки армоблоков в проектное положение и трудозатрат устройства стыковых соединений армоблоков;
4. Определить трудозатраты укрупнительной сборки армоблока в зависимости от размера армоблока и количества фрагментов.

#### Материалы и методы

Основным методом исследования являлись анализ трудозатрат на реальном объекте строительства и их экстраполяция. В качестве объекта для сбора данных было выбрано реакторное здание АЭС российского проекта АЭС-2006. Для оценки трудозатрат монтажа армоблоков собирались данные по монтажу блоков третьего яруса внутренней защитной оболочки (ВЗО). Исходными данными являлись геометрические характеристики конструкций: толщина конструкций, объем конструкций, продолжительность, требуемое число рабочих и сменность по каж-

дой технологической операции. Далее для экстраполяции удельных трудозатрат требовались общие объемы всех 19 различных конструкций реакторного здания, общая масса арматуры и закладных изделий, применяемых в каждой конструкции, а также средние толщины выше обозначенных конструкций.

#### Результаты

Для определения трудозатрат на монтаж блоков различных габаритов необходимо вычислить долю трудозатрат на устройство стыков в общей доле трудозатрат на монтаж блоков. Трудозатраты на стыковку блоков прямо пропорциональны количеству стыков для блоков одинаковой толщины. При существующих технологиях, как правило, в месте стыка устраивается нащельник шириной 0,5–1,0 м (чаще около 0,5 м).

При стыковке блоков присутствуют либо доборная арматура, перпендикулярная петлям Передерия, и арматура ядра, либо доборы арматуры на муфтовых соединениях, рабочая арматура в ортогональном направлении и поперечная арматура [12]. В качестве допущения примем расход устанавливаемых в данных местах арматурных стержней равным расходу арматуры в остальных частях конструкции. Удельная трудоемкость арматурных работ на местах стыков равна удельной трудоемкости армирования отдельными стержнями такой же железобетонной конструкции. Так как ширина блока, в большинстве случаев, в основе и в местах стыка одинакова, объемы бетона в основе блока пропорциональны площади несъемной опалубки блока, в то же время как и объем бетона в месте стыков пропорционален площади нащельников. Следовательно, соотношение объемов бетона в основе блока и местах стыка мы можем заменить соотношением площадей несъемной опалубки блока и нащельников.

Площадь нащельников будет равняться:

$$S_g = P \cdot \frac{1}{2} \cdot b_g - 4 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot b_g \right)^2 = b_g \cdot \left( \frac{P}{2} - b_g \right), \quad (1)$$

где  $S_g$  – площадь нащельника, м<sup>2</sup>;  $P$  – периметр блока, м;  $b_g$  – ширина нащельника, м.

Учитывая, что соотношения сторон блоков редко превышают 1:3, то граничные значения периметров блоков принимают значения от  $4\sqrt{S}$  (для соотношения сторон 1:1) до  $4,6\sqrt{S}$  (для соотношения сторон 1:3), где  $S$  – лицевая площадь блока (с одной стороны).

При ширине нащельников 0,5 м площадь нащельников будет равняться:

$$S_g = (1,00...1,15)\sqrt{S} - 0,25, \quad (2)$$

где  $S$  – лицевая площадь блока, м<sup>2</sup>.

Из формулы (1) для площади перейдем к объему конструкций стыков. Для конструкций с одинаковой толщиной объем стыка будет равняться площади нащельника, умноженной на среднюю толщину конструкции. Объем железобетонной конструкции, ограниченной несъемной опалубкой, будет равняться площади несъемной опалубки, умноженной на среднюю толщину конструкции. Таким образом, объем стыка будет равняться:

$$V_k^{стык} = \delta_k \cdot ((1,00...1,15)\sqrt{S_k} - 0,25) = (1,00...1,15)\sqrt{V_k} \cdot \delta_k - 0,25 \cdot \delta_k, \quad (3)$$

где  $V_k^{стык}$  – объем стыка  $k$ -ой железобетонной конструкции, м<sup>3</sup>;  $S_k$  – площадь лицевой поверхности (с одной сто-

роны)  $k$ -ой железобетонной конструкции, м<sup>2</sup>;  $V_k$  – объем  $k$ -ой железобетонной конструкции, м<sup>3</sup>;  $\delta_k$  – средняя толщина  $k$ -ой железобетонной конструкции, м.

Трудозатраты на устройство стыковых соединений складываются из трудозатрат на армирование стыковых соединений и из трудозатрат на устройство несъемной опалубки в месте соединения (устройства нащельников). Армирование стыковых соединений примем равным основному армированию, выполняемому на строительной площадке, поскольку стыковое соединение требует сопоставимое количество стержневой арматуры. Следовательно, расход арматуры на стыковое соединение можно принять равным расходу арматуры в основном армировании блока. Для блоков внутренней защитной оболочки (блоков ВЗО) толщиной 1,2 м для 12 блоков одного пояса установка доборной арматуры требует 26 суток. При этом задействовано 14 рабочих в смену. Работы производятся в 2 смены. Продолжительность смены 10 часов. Таким образом, при толщине конструкции 1,2 м и насыщении арматурой 201,44 кг/м<sup>3</sup> трудозатраты на армирование стыков будут равны:

$$C_{ВЗО}^{стык} = n_{чел} \cdot t_{ВЗО}^{стык} \cdot t_{смены} \cdot n_{смен} = 14 \cdot 26 \cdot 10 \cdot 2 = 7280 \text{ чел.} \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где  $C_{ВЗО}^{стык}$  – трудозатраты на армирование стыков блоков ВЗО, чел.-ч;  $n_{чел}$  – среднее количество рабочих в бригаде в сутки, чел.;  $t_{ВЗО}^{стык}$  – продолжительность армирования стыков блоков ВЗО, сут;  $t_{смены}$  – продолжительность смены (рабочее время), ч;  $n_{смен}$  – количество смен в сутках, сут<sup>-1</sup>.

Для устройства нащельников требуется 19 суток при задействии 6 человек в смену. Работы также производятся в 2 смены по 10 часов. Трудозатраты на устройство нащельников составят:

$$C_{ВЗО}^{нащ} = n_{чел} \cdot t_{ВЗО}^{нащ} \cdot t_{смены} \cdot n_{смен} = 6 \cdot 19 \cdot 10 \cdot 2 = 2280 \text{ чел.} \cdot \text{ч}. \quad (5)$$

где  $C_{ВЗО}^{нащ}$  – трудозатраты на устройство нащельников блоков ВЗО, чел.-ч;  $t_{ВЗО}^{нащ}$  – продолжительность устройства нащельников блоков ВЗО, сут.

Для пояса из 12 блоков ВЗО площадь стыков составляет 153 м<sup>2</sup>. Таким образом, удельные трудозатраты на армирование 1 м<sup>3</sup> стыка блоков ВЗО составляют:

$$C_{ВЗО}^{стык} = \frac{C_{ВЗО}^{стык}}{S_{стык} \cdot \delta_{ВЗО}} = \frac{7280}{153 \cdot 1,2} = 39,65 (\text{чел.} \cdot \text{ч}) / \text{м}^3, \quad (6)$$

где  $C_{ВЗО}^{стык}$  – удельные трудозатраты на армирование стыков блоков ВЗО, (чел.-ч)/м<sup>3</sup>;  $S_{стык}$  – общая площадь стыков блоков ВЗО, м<sup>2</sup>;  $\delta_{ВЗО}$  – толщина блока ВЗО, м.

Удельные трудозатраты на устройство нащельников 1 м<sup>3</sup> стыков блоков ВЗО составляют:

$$C_{ВЗО}^{нащ} = \frac{C_{ВЗО}^{нащ}}{S_{стык} \cdot \delta_{ВЗО}} = \frac{2280}{153 \cdot 1,2} = 12,42 (\text{чел.} \cdot \text{ч}) / \text{м}^2, \quad (7)$$

где  $C_{ВЗО}^{нащ}$  – удельные трудозатраты на устройство нащельников блоков ВЗО, (чел.-ч)/м<sup>3</sup>.

Для остальных конструкций реакторного здания трудозатраты на устройство стыковых соединений вычислим с помощью коэффициентов экстраполяции:

$$a_r = \frac{m_{kr}}{m_{ВЗО}}, \quad (8)$$

| Наименование конструкции                                                     | Средний расход арматуры, кг/ м³ | Средняя толщина конструкции, м | Общие удельные трудозатраты на устройство стыковых соединений, (чел.-ч)/м³ стыка | Общие удельные трудозатраты на установку блоков, (чел.-ч)/м³ |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1                                                                            | 2                               | 3                              | 4                                                                                | 5                                                            |
| Фундаментная плита                                                           | 9,03                            | 3,00                           | 6,74                                                                             | 0,65                                                         |
| Транспортный портал. Конструкции фундамента                                  | 28,16                           | 6,85                           | 7,72                                                                             | 0,62                                                         |
| Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала выше основания балок | 345,70                          | 1,50                           | 77,98                                                                            | 3,88                                                         |
| Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза               | 174,63                          | 0,80                           | 53,00                                                                            | 3,03                                                         |
| Контурные стены обстройки                                                    | 254,52                          | 0,55                           | 77,20                                                                            | 4,31                                                         |
| Цилиндрическая часть НЗО                                                     | 240,24                          | 0,50                           | 77,09                                                                            | 4,38                                                         |
| Купол НЗО                                                                    | 127,36                          | 0,50                           | 54,88                                                                            | 3,41                                                         |
| Строительные конструкции межоболочечного пространства                        | 196,79                          | 0,20                           | 113,25                                                                           | 7,15                                                         |
| Внутренние стены обстройки                                                   | 149,27                          | 0,50                           | 59,19                                                                            | 3,60                                                         |
| Перекрытия обстройки                                                         | 120,24                          | 0,50                           | 53,47                                                                            | 3,35                                                         |
| ЗЛА. Шахта реактора                                                          | 65,30                           | 2,60                           | 18,59                                                                            | 1,19                                                         |
| ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ                                                 | 152,49                          | 1,10                           | 43,56                                                                            | 2,48                                                         |
| ЗЛА. Бассейн выдержки                                                        | 176,56                          | 1,30                           | 46,22                                                                            | 2,54                                                         |
| ЗЛА. Стены                                                                   | 142,25                          | 1,00                           | 42,90                                                                            | 2,49                                                         |
| ЗЛА. Опоры парогенераторов                                                   | 108,79                          | 1,65                           | 30,45                                                                            | 1,79                                                         |
| ЗЛА. Перекрытие                                                              | 218,30                          | 1,20                           | 55,39                                                                            | 2,96                                                         |
| Цилиндрическая часть ВЗО                                                     | 201,44                          | 1,20                           | 52,07                                                                            | 2,82                                                         |
| Купол ВЗО                                                                    | 129,28                          | 1,20                           | 37,87                                                                            | 2,20                                                         |
| Строительные конструкции СПОТ                                                | 222,29                          | 0,50                           | 73,56                                                                            | 4,22                                                         |

Табл. 1. Средние расход арматуры и толщина конструкций реакторного здания и общие удельные трудозатраты устройства стыковых соединений и установки блоков

Tab. 1. Average consumption of reinforcement and the thickness of the reactor building structures, and the total specific labor costs for the device of butt joints and installation of blocks

где  $a_r$  – коэффициент среднего расхода арматуры;  $m_{kr}$  – средний расход арматуры на 1 м³  $k$ -ой железобетонной конструкции, т/м³;  $m_r^{B30}$  – средний расход арматуры на 1 м³ ВЗО, т/м³;

$$a_{\delta} = \frac{\delta_k}{\delta_{B30}}, \tag{9}$$

где  $a_{\delta}$  – коэффициент средней толщины конструкции. Трудозатраты на устройство стыковых соединений вычислим по формуле:

$$c_k^{стык.} = a_r \cdot c_{B30}^{стык.} + \frac{c_{B30}^{нац}}{a_{\delta}}, \tag{10}$$

где  $c_k$  – удельные трудозатраты на устройство стыков  $k$ -ой конструкции реакторного здания, (чел.-ч)/м³.

Средние расход арматуры и толщина конструкций реакторного здания, и удельные трудозатраты на армирование стыков, устройство нащельников, и общие трудозатраты устройства стыковых соединений приведены в таблице 1. Данные трудозатраты приведены на 1 м³ непосредственно стыков.

Трудозатраты на установку блока (без устройства стыков) складываются из подъема блока на отметку, выставления блока в проектное положение, раскрепления и расстроповки блока. Для установки блока требуется 12 суток при задействовании 28 человек в смену. Работы также производятся в 2 смены по 10 часов. Трудозатраты на установку блока составят:

$$C_{B30}^{уст.} = n_{чел.} \cdot t_{B30}^{уст.} \cdot t_{смены} \cdot n_{смен} = 28 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 2 = 6720 \text{ чел.-ч}, \tag{11}$$

где  $C_{B30}^{уст.}$  – трудозатраты на установку блоков ВЗО, чел.-ч;  $t_{B30}^{уст.}$  – продолжительность установки блоков ВЗО, сут.

Для пояса из 12 блоков ВЗО объем блоков составляет 2386 м³. Таким образом, удельные трудозатраты на 1 м³ установки блоков ВЗО составляют:

$$c_{B30}^{уст.} = \frac{C_{B30}^{уст.}}{V_{B30}} = \frac{6720}{2386} = 2,82 \text{ (чел.-ч) / м}^3, \tag{12}$$

где  $c_{B30}^{уст.}$  – удельные трудозатраты на установку блоков ВЗО, (чел.-ч)/м³;  $V_{B30}$  – объем блоков ВЗО, м³.

Трудоемкость установки армоопалубочных блоков зависит от массы блоков. В свою очередь, масса блока зависит от насыщенности конструкции арматурой и площади несъемной опалубки. Насыщенность конструкции арматурой определяется коэффициентом среднего расхода арматуры (8). Площадь несъемной опалубки обратно пропорциональна толщине блока. Толщина блока определяется коэффициентом средней толщины конструкции (9). В блоке ВЗО масса арматуры на 1 м³ составляет 201,44 кг/м³, а масса несъемной опалубки 125,6 кг/м², что при толщине блока 1,2 м составляет 104,66 кг/м³. Также в блоке имеются связевые фермы, удельная масса которых составляет 25,40 кг/м³. Соотношение армирования, несъемной опалубки и ферм, округляя, примем 0,61:0,31:0,08. Трудозатраты на установку армоопалубочных для остальных конструкций реакторного здания вычислим с помощью экстраполяции:

$$c_k^{уст.} = 0,61 \cdot a_r \cdot c_{B30}^{уст.} + 0,31 \cdot \frac{C_{B30}^{уст.}}{a_{\delta}} + 0,08 \cdot c_{B30}^{уст.}, \tag{13}$$

где  $c_k^{уст.}$  – удельные трудозатраты на установку блоков  $k$ -ой конструкции реакторного здания, (чел.-ч)/м³.

Общие удельные трудозатраты на установку блоков приведены в таблице 1.

| Наименование конструкции                                                     | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\beta$ | $\gamma$ |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|---------|----------|
| 1                                                                            | 2          | 3          | 4       | 5        |
| Фундаментная плита                                                           | 11,68      | 13,43      | 5,06    | 6,57     |
| Транспортный портал. Конструкции фундамента                                  | 20,20      | 23,23      | 13,22   | 6,54     |
| Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала выше основания балок | 95,51      | 109,83     | 29,24   | 9,80     |
| Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза               | 47,41      | 54,52      | 10,60   | 8,95     |
| Контурные стены обстройки                                                    | 57,25      | 65,84      | 10,61   | 10,23    |
| Цилиндрическая часть НЗО                                                     | 54,51      | 62,69      | 9,64    | 10,30    |
| Купол НЗО                                                                    | 38,80      | 44,62      | 6,86    | 9,33     |
| Строительные конструкции межоболочечного пространства                        | 50,65      | 58,25      | 5,66    | 13,07    |
| Внутренние стены обстройки                                                   | 41,85      | 48,13      | 7,40    | 9,52     |
| Перекрытия обстройки                                                         | 37,81      | 43,48      | 6,68    | 9,27     |
| ЗЛА. Шахта реактора                                                          | 29,97      | 34,46      | 12,08   | 7,11     |
| ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ                                                 | 45,69      | 52,54      | 11,98   | 8,40     |
| ЗЛА. Бассейн выдержки                                                        | 52,70      | 60,60      | 15,02   | 8,46     |
| ЗЛА. Стены                                                                   | 42,90      | 49,34      | 10,73   | 8,41     |
| ЗЛА. Опоры парогенераторов                                                   | 39,11      | 44,97      | 12,56   | 7,71     |
| ЗЛА. Перекрытие                                                              | 60,68      | 69,78      | 16,62   | 8,88     |
| Цилиндрическая часть ВЗО                                                     | 57,04      | 65,60      | 15,62   | 8,74     |
| Купол ВЗО                                                                    | 41,48      | 47,70      | 11,36   | 8,12     |
| Строительные конструкции СПОТ                                                | 52,02      | 59,82      | 9,20    | 10,14    |

Табл. 2. Коэффициенты функции зависимости трудозатрат на монтаж блока в зависимости от объема блока  
Tab. 2. The coefficients of the dependence function of labor costs for the installation of the block, depending on the volume of the block

Трудозатраты на бетонирование  $c_k^{бет.}$  составляют 4,55 (чел.-ч)/м³, трудозатраты на уход за бетоном  $c_k^{ух.}$  составляют 1,37 (чел.-ч)/м³. Данные трудозатраты не зависят от толщины конструкции, насыщенности арматурой и т. п., поэтому примем их для всех конструкций.

Общие трудозатраты на монтаж блока складываются из удельных трудозатрат по категориям, умноженных на объем категорий:

$$c_k^{монт.} = V_k^{стык.} \cdot c_k^{стык.} + V_k \cdot (c_k^{уст.} + c_k^{бет.} + c_k^{ух.}), \tag{14}$$

где  $c_k^{монт.}$  – трудозатраты на установку блока  $k$ -ой конструкции реакторного здания, чел.-ч;  $c_k^{бет.}$  – удельные трудозатраты на бетонирование  $k$ -ой конструкции реакторного здания, (чел.-ч)/м³;  $c_k^{ух.}$  – удельные трудозатраты на уход за бетоном  $k$ -ой конструкции реакторного здания, (чел.-ч)/м³.

Подставив значение объема стыка из формулы (2), получим:

$$c_k^{монт.} = ((1,00 \dots 1,15) \sqrt{V_k \cdot \delta_k} - 0,25 \cdot \delta_k) \cdot c_k^{стык.} + V_k \cdot (c_k^{уст.} + c_k^{бет.} + c_k^{ух.}). \tag{15}$$

Обозначим  $\alpha_1 = c_k^{стык.} \cdot \sqrt{\delta_k}$ ,  $\alpha_2 = 1,15 \cdot c_k^{стык.} \cdot \sqrt{\delta_k}$ ,  $\beta = c_k^{уст.} + c_k^{бет.} + c_k^{ух.}$ ,  $\gamma = 0,25 \cdot \delta_k \cdot c_k^{стык.}$ . Для каждой из конструкций получим функцию зависимости трудозатрат на монтаж блока в зависимости от объема блока вида:

$$C_k^{монт.} = (\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot \sqrt{V_k} + \gamma \cdot V_k - \beta, \tag{16}$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$  – коэффициенты, значения которых указаны в таблице 2.

Получим теперь приведенные удельные трудозатраты монтажа в зависимости от объема блока:

$$c_k^{монт.} = \frac{C_k^{монт.}}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2)}{\sqrt{V_k}} - \frac{\beta}{V_k} + \gamma, \tag{17}$$

где  $c_k^{монт.}$  – удельные трудозатраты на установку блока  $k$ -ой конструкции реакторного здания, чел.-ч/м³.

График функции (17) имеет характер, представленный на рисунке 2. Поскольку соотношение сторон блока может разниться, в качестве значения трудозатрат не-

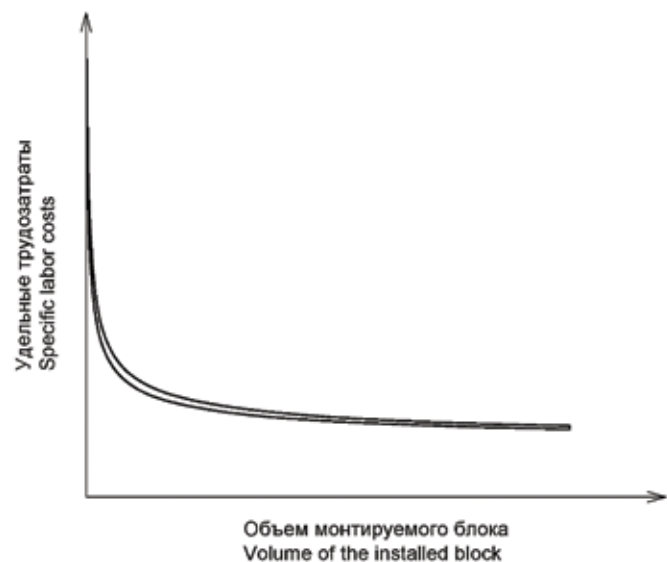
обходимо принять область, ограниченную графиками. На рисунке 2 представлен общий характер зависимости между объемом монтируемого блока и удельными трудозатратами на монтаж. Точная зависимость получается для каждой конкретной конструкции в зависимости от коэффициентов  $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ . Однако характер данных зависимостей будет схож.

Как видно из графика, при увеличении объема блока удельные трудозатраты на 1 м³ конструкции уменьшаются. Однако при использовании крупных блоков возникают определенные проблемы организационного характера. Крупные блоки необходимо изготавливать либо в непосредственной близости от строительной площадки, либо доставлять на площадку большегрузным транспортом, либо укрупнять на месте из привезенных небольших фрагментов. Последний из перечисленных методов называется укрупнительной сборкой. Для него необходимы площадки укрупнительной сборки в непосредственной близости от возводимого объекта (желательно в зоне действия монтажного крана). Определим степень потребности в трудозатратах и площадях для укрупнительной сборки блоков различной величины.

Удельные затраты на укрупнительную сборку равны сумме трудозатрат на устройство стыковых соединений (10). Объем стыковых соединений при укрупнительной сборке будет равен разности объема стыков всех фрагментов, из которых выполняется сборка, и объема стыков по периметру укрупненного блока. Допустим, что все собираемые фрагменты одинаковы по габаритам. Математически это будет выражаться следующим образом:

$$V_{pa} = V_f^{стык.} \cdot n_f - V_k^{стык.}, \tag{18}$$

где  $V_{pa}$  – объем стыков блока, выполняемых на укрупнительной сборке,  $k$ -ой железобетонной конструкции, м³;  $V_f^{стык.}$  – объем стыков фрагментов блока  $k$ -ой железобетонной конструкции, м³;  $V_k^{стык.}$  – объем стыков монтируемого блока  $k$ -ой железобетонной конструкции, м³;  $n_f$  – количество фрагментов блока  $k$ -ой железобетонной конструкции.



**Рис. 2.** Вид графика величины удельных трудозатрат на монтаж армоопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока

**Fig. 2.** Type of graph of the value of specific labor costs for the installation of reinforced blocks depending on the volume of a single block

$V_f^{стак.}$ ,  $V_k^{стак.}$  выводятся через  $V_p$ ,  $V_k$  соответственно аналогично формуле (3). Количество фрагментов блока будет равняться соотношению объемов монтируемого блока  $V_k$  и фрагмента  $V_p$  из которых собирается блок, откуда:

$$V_f = V_k \cdot n_f, \quad (19)$$

где  $V_f$  – объем фрагментов  $k$ -ой железобетонной конструкции,  $m^3$ ;  $V_k$  – объем  $k$ -ой железобетонной конструкции,  $m^3$ ;  $n_f$  – количество фрагментов блока  $k$ -ой железобетонной конструкции.

Трудозатраты на укрупнительную сборку получим, умножив объем укрупнительной сборки на удельные трудозатраты стыковых соединений:

$$C_{pa} = c_k^{стак.} \cdot (V_f^{стак.} \cdot n_f - V_k^{стак.}) = (\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot \sqrt{V_k} \cdot (n_f^{3/2} - 1) + \gamma \cdot V_k \cdot (n_f - 1), \quad (20)$$

где  $C_{pa}$  – трудозатраты укрупнительной сборки блока  $k$ -ой железобетонной конструкции,  $m^3$ .

Получим теперь приведенные удельные трудозатраты укрупнительной сборки в зависимости от объема блока:

$$c_{pa} = \frac{C_{pa}}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot (n_f^{3/2} - 1)}{\sqrt{V_k}} + \gamma \cdot (n_f - 1), \quad (21)$$

где  $c_{pa}$  – удельные трудозатраты укрупнительной сборки блока  $k$ -ой конструкции реакторного здания, чел.-ч/ $m^3$ .

#### Обсуждение

В данной статье получена методика, которая заключается в определении трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от степени укрупнения армоблока. Полученную методику в представленном виде возможно применять для реакторных зданий АЭС проекта АЭС-2006, для реакторных зданий АЭС других проектов, а также других зданий и сооружений комплекса АЭС. Однако для использо-

вания представленной методики для реакторных зданий АЭС других проектов, а также других зданий и сооружений комплекса АЭС необходимо провести уточняющую проверку методики на основе данных о трудозатратах и характеристиках конструкций для данных объектов.

Применение этой методики наиболее обосновано для зданий и сооружений, стоящих на критическом пути строительства комплекса АЭС. Применение этой методики для зданий и сооружений из других отраслей строительства допустимо только при использовании аналогичной технологии возведения железобетонных конструкций. Однако о применении армоблоков схожей конструкции на объектах промышленного и гражданского строительства неизвестно.

На основе определения трудозатрат по данной методике, а также требуемым срокам возведения определяются потребности в трудовых ресурсах. Потребности в трудовых ресурсах определяют организационную структуру строительного проекта, в первую очередь блока подрядчика и индустриального блока. Но косвенно затрагиваются также структуры проектного и логистического блоков. Таким образом, на основе данной методики возможно точнее выявить требуемые трансформации организационной структуры строительного проекта.

#### Заключение

1. При увеличении объема армоблока удельные трудозатраты монтажа армоблоков на  $1 m^3$  конструкции уменьшаются за счет переноса части работ в условия индустриальных производств с уменьшением доли работы по армированию и устройству опалубки на строительной площадке.
2. Полученная зависимость трудозатрат на монтаж армоблока в зависимости от объема армоблока показывает резкий спад в области невысоких значений и плавное уменьшение в области больших значений. Это свидетельствует о том, что наибольшая трудоемкость на монтаже возникает при монтаже мелких блоков из-за выполнения большого количества стыковых соединений, в то время как при большом объеме блока определяющими трудозатратами являются именно трудозатраты по строповке, поднятию и раскреплению армоблока.
3. Снижение логистических проблем при использовании армоблоков большого объема возможно достичь применением укрупнительной сборки армоблока вблизи возводимого объекта из заранее произведенных фрагментов.
4. При большом объеме армоблоков, собираемых из фрагментов, удельные трудозатраты укрупнительной сборки на  $1 m^3$  конструкции также уменьшаются.
5. При увеличении количества фрагментов, из которых на этапе укрупнительной сборки составляется армоблок, удельные трудозатраты укрупнительной сборки на  $1 m^3$  конструкции возрастают нелинейно.
6. Использование полученной методики определения трудозатрат позволит сформировать оптимальную организационную структуру строительного проекта, отвечающую требованиям выбранной технологии возведения.

technology for the global generation industry. – 2009. – Vol. 153, № 11.

2. Kajiyama, N. Hitachi's involvement in nuclear power

plant construction in Japan / N. Kajiyama, K. Hamamura, K. Murayama // Hitachi Review. – 2009. – Vol. 58, № 2. – P. 48–52.

3. 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.
4. Construction technologies for nuclear power plants / International Atomic Energy Agency : [website]. – Vienna : IAEA, 2011. – URL: <https://www.iaea.org/publications/8637/construction-technologies-for-nuclear-power-plants>.
5. Гриценко, А. С. Технология крупноблочного монтажа несъемной опалубки реакторных отделений АЭС: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08 / Гриценко Александр Сергеевич; КИСИ. – Киев, 1990. – 22 с. – Текст непосредственный.
6. Исследование функционально-технологических ограничений при крупноблочном строительстве атомных электростанций / А. А. Морозенко, В. В. Белов, И. Е. Воронков, А. С. Кабанов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 341–348.
7. Морозенко, А. А. Повышение эффективности организаци-

#### REFERENCES

1. Presley, L. Modularizing containment vessels in new nuclear power plants / L. Presley, B. Weber // Power. Business and technology for the global generation industry. – 2009. – Vol. 153, № 11.
2. Kajiyama, N. Hitachi's involvement in nuclear power plant construction in Japan / N. Kajiyama, K. Hamamura, K. Murayama // Hitachi Review. – 2009. – Vol. 58, № 2. – P. 48–52.
3. 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.
4. Construction technologies for nuclear power plants / International Atomic Energy Agency : [website]. – Vienna : IAEA, 2011. – URL: <https://www.iaea.org/publications/8637/construction-technologies-for-nuclear-power-plants>.
5. Gricenko, A. S. Tekhnologiya krupnoblochnogo montazha nes'emnoj opalubki reaktornykh otdelenij AES [Technology of large-block installation of non-removable formwork of reactor compartments of nuclear power plants] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08 / Gricenko Aleksandr Sergeevich; KISI. – Kiev, 1990. – 22 p.
6. Issledovanie funktsional'no-tekhnologicheskikh ogranichenij pri krupnoblochnom stroitel'stve atomnykh elektrostansij [Study of functional and technological constraints in large-unit 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 [Actual problems of the construction industry and education], Moscow, 30 September 2020. – Moscow : Moscow State University of Civil Engineering, 2020. – P. 341–348.
7. Morozenko, A. A. Povyshenie effektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve AES na osnove

современного российского и зарубежного опыта [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.

8. Морозенко, А. А. Организационно-технологические аспекты крупноблочного возведения атомных электростанций / А. А. Морозенко, А. А. Шашков // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 5 (95). – С. 28–33.
9. Берндт, А. Определение рациональной блочности конструкций реакторного отделения АЭС с реакторами ВВЭР-1000 : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.08 / Андреас Берндт. – Москва, 1985. – 315 с. – Текст непосредственный.
10. Пергаменщик, Б. К. Изменение величины трудозатрат при укрупнении специальных конструкций АЭС / Б. К. Пергаменщик, Р. Р. Темишев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 1. – С. 138–143.
11. Темишев, Р. Р. Прогнозирование трудовых затрат при монтаже строительных конструкций АЭС : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Темишев Руслан Рамзанович; МГСУ. – Москва, 1995. – 20 с. – Текст непосредственный.
12. Зимин, С. С. Экспериментальные данные для моделирования стыковых соединений укрупненных конструкций / С. С. Зимин, Н. С. Алексеев, К. И. Ионов // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 12 (56). – С. 367–374.

современного российского и зарубежного опыта [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.

8. Morozenko, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskie aspekty krupnoblochnogo vozvedeniya atomnykh elektrostansij [Organizational and technological aspects of large-scale 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.
9. Berndt, A. Opredelenie ratsional'noj blochnosti konstruksij reaktornogo otdeleniya AES s reaktorami VVER-1000 [Determination of the rational block structure of the reactor compartment of NPPs with VVER-1000 reactors] : dis. ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.08 / Andreas Berndt. – Moscow, 1985. – 315 p.
10. Pergamenshchik, B. K. Izmenenie velichiny trudozatrati pri ukрупnenii spetsial'nykh konstruksij AES [Change in the amount of labor costs during the consolidation of special NPP structures] / B. K. Pergamenshchik, R. R. Temishev // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – № 1. – P. 138–143.
11. Temishev, R. R. Prognozirovanie trudovykh zatrat pri montazhe stroitel'nykh konstruksij AES [Change in the value of labor costs during the enlargement of special structures of nuclear power plants] : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / Temishev Rustan Ramzanovich; MGSU. – Moscow, 1995. – 20 p.
12. Zimin, S. S. Eksperimental'nye dannye dlya modelirovaniya stykovykh soedinenij ukрупnennykh konstruksij [Experimental data for modeling butt joints of enlarged structures] / S. S. Zimin, N. S. Alekseev, K. I. Ionov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific research and innovation]. – 2015. – № 12 (56). – P. 367–374.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Presley, L. Modularizing containment vessels in new nuclear power plants / L. Presley, B. Weber // Power. Business and

**Адамцевич Любовь Андреевна**  
Доцент, 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, AdamtsevichLA@mgsu.ru

Adamtsevich Liubov Andreevna  
Candidate of Technical Sciences, Ph. D. docent 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, 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, Yaroslavskoe shosse, 26, PilyayAI@mgsu.ru

**Аннотация**  
Целью статьи является оценка возможности применения различных моделей искусственного интеллекта на стадии реставрации объектов культурного наследия и исторически ценных градоформирующих объектов, к которым относятся объекты, связанные с историческими событиями или имеющие самостоятельную историко-градостроительную ценность. В рамках проведенного исследования определены задачи, которые можно решить на этой стадии жизненного цикла с использованием цифровых технологий четвертой промышленной революции.

Определены существующие методы анализа изображений, сформировано инфографическое описание таких методов искусственного интеллекта, как байесовский классификатор и искусственная нейронная сеть.

Проведенный анализ позволил выявить наиболее подхо-

дящую модель для цифровой обработки изображений с целью подбора строительных материалов для восстановления объектов культурного наследия и исторически ценных градоформирующих объектов.

Таким образом, для улучшения визуального анализа при проведении реставрации можно использовать системы искусственного интеллекта, и наилучший выбор для этого – сверточная нейронная сеть.

В рамках дальнейших исследований планируется на основе выбранной в работе модели искусственного интеллекта создать систему для анализа различных визуальных материалов, планируемых к использованию при реставрации объектов культурного наследия с учетом их архитектурных особенностей.

**Ключевые слова:** строительство, информационные технологии, реставрация, искусственный интеллект, сверточные нейронные сети.

model for digital image processing in order to select building materials for the restoration of cultural heritage sites and historically valuable city-forming objects.

Thus, artificial intelligence systems can be used to improve visual analysis during restoration, and the best choice for this is a convolutional neural network.

As part of further research, it is planned, on the basis of the artificial intelligence model chosen in the work, to create a system for analyzing various visual materials planned for use in the restoration of cultural heritage sites, taking into account their architectural features.

**Keywords:** construction, Information Technology, restoration, artificial intelligence, convolutional neural networks.

относятся технологии информационного моделирования, 3D-строительная печать, Интернет вещей и пр. [1–5].

С одной стороны, сооружения стали однотипными, но, с другой стороны, остались объекты культурного наследия, исторически ценные градоформирующие объекты. В этой связи актуальной становится проблема сохранения подобных объектов, а также сохранения их исторического облика.

Нормативной документацией определено, что объектами культурного наследия (ОКН) являются объекты не-

движимого имущества с исторически связанными с ними территориями, возникшие в результате исторических событий, представляющие собой ценность с точки зрения истории, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники. «Исторически ценные градоформирующие объекты (ИЦГФО) – это здания и сооружения, которые имеют самостоятельную историко-градостроительную ценность, формируют фронт застройки, являются "фоновой" или "рядовой" застройкой, формируют окружение памятника и историческую среду» [6].

При этом большинство из описанных выше объектов в настоящее время требует реставрации, под которой понимают научно-исследовательские, изыскательские, проектные и производственные работы, проводимые в целях выявления и сохранности историко-культурной ценности объекта культурного наследия.

Целью статьи является оценка возможности применения различных моделей искусственного интеллекта (ИИ) на стадии реставрации объектов культурного наследия и исторически ценных градоформирующих объектов.

Во всем мире спрос на технологии, минимализирующие рабочую силу и используемое оборудование, растет, поэтому системы искусственного интеллекта как способ решения различных задач, в частности, автоматизации процессов принятия решений, активно развиваются. Учитывая последние тенденции, модели искусственного интеллекта зарекомендовали себя как эффективные методы. Однако применять данную технологию сложно, поскольку широкая практика интеграции данных систем для обработки запросов, появляющихся в строительной отрасли, пока отсутствует.

В свою очередь, при сносе, реконструкции или реставрации зданий образуется большое количество различных задач, которые могут быть решены при помощи ИИ. Основные задачи на стадии реконструкции и реставрации связаны с изображениями, графикой и визуальным восприятием [7]. При изучении данных визуального состояния различных строительных объектов [8] становится очевидно, что стандартный алгоритм анализа не подходит для оценки визуальной информации. Следовательно, для того чтобы решать сложные задачи при помощи систем искусственного интеллекта, изначально необходимо «научить» ИИ распознавать изображения.

При этом одним из первых и самым ярким примером использования нейросети в зрении было представлено в 1993 г. Яном ЛеКуном распознавание рукописных цифр.

Сегодня компьютерное зрение широко применяется у беспилотных автомобилей, при анализе медицинских снимков, биометрии лица и пр. Однако в строительстве таких примеров пока мало.

Распознавание изображений – это особый этап обработки изображений. Только после распознавания изображения можно вступить в стадию анализа и обработки

| Методы                       | Особенности                   | Способы идентификации                        | Типовые критерии                        |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Соответствие шаблону         | Образцы, пиксели, кривые      | Коэффициент корреляции, измерение расстояния | Ошибка классификации                    |
| Статистическое распознавание | Характеристики                | Классификатор                                | Ошибка классификации                    |
| Идентификация структуры      | Архитектура                   | Правила и грамматика                         | Допустимая ошибка                       |
| Нейронная сеть               | Образцы, пиксели, особенности | Сетевая функция                              | Минимальная среднеквадратическая ошибка |

Табл. 1. Общие методы распознавания изображений  
Tab. 1. Common image recognition methods

изображения. Хотя существует множество приложений обработки изображений, принципы и методы, используемые в них, зачастую одинаковы. За высокой эффективностью и высокой точностью ИИ все еще стоит неопределенность в технологии распознавания изображений. Развиваясь, системы искусственного интеллекта становятся подобием «черного ящика», это означает, что мы видим входную информацию и информацию на выходе, а весь процесс обработки от нас скрыт. Неопределенность в анализе внутренних процессов влечет за собой уменьшение доверия к данной системе.

Кроме того, в рамках работы с объектами культурного наследия возникает еще одно затруднение, связанное со временем возведения объектов и разнообразием стилей в архитектуре: от античности до модернизма.

Таким образом, особое внимание необходимо уделять деталям и особенностям объекта, которые характеризуют ценность ОКН, включая авторские особенности архитектуры.

**Материалы и методы**

Шаблон изображения – это определение и описание объекта изображения, который необходимо распознать. Класс шаблона изображения представляет собой набор образцов объектов с некоторыми общими характеристиками геометрического, математического и другого описания. Распознавание изображений – это процедура оценки и манипулирования над всеми формами визуальных материальных данных и графической информации с целью классификации, оценки и иллюстрации изображений. Общая структура системы распознавания образов изображений в основном состоит из захвата изображений, предварительной сортировки изображений, извлечения символов изображения, разработки категоризатора и принятия решений. Общие методы распознавания изображений представлены в таблице 1.



Рис. 1. Выбор полностью разрушенного элемента при помощи множества точек  
Fig. 1. Selection of a completely destroyed element by a set of points

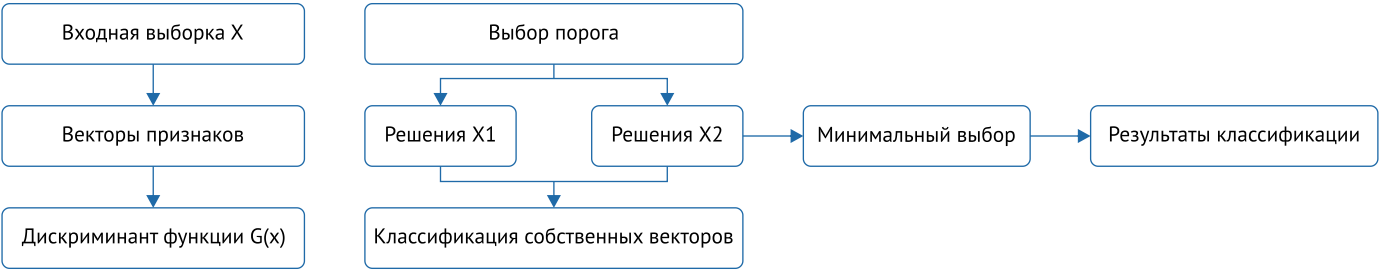


Рис. 2. Байесовский классификатор  
Fig. 2. Bayesian classifier



Рис. 3. Искусственная нейронная сеть  
Fig. 3. Artificial neural network

Следовательно, для работы с системами искусственного интеллекта на основе выбранных шаблонов необходимо собирать наборы данных. Первой рассматриваемой технологией, применяемой для сбора конкретных данных из общего плана изображений в набор, являются множества точек. При помощи подобной разметки изображений мы можем решать задачи поиска объектов, например таких, как ключевые точки. На основе полученных ключевых значений можно определить позу человека, решить задачу классификации лиц, определить критический объект в рамках реставрации здания, например, выбор полностью разрушенного элемента (рисунок 1).

Также существует обработка изображений прямоугольной разметкой. Это самый простой и быстрый метод для выделения объектов и их классификации. Но если в проекте нам требуется высокая точность обрабатываемых данных – то такой вид разметки ведет к снижению качества работы итоговых алгоритмов. Более продвинутый метод по сравнению с прямоугольной разметкой изображений – выделение полигонов. При его использовании на изображении выделяются точные границы искомого объекта. В ходе обработки каждому отдельному пикселю присваивается свой индекс, по которому алгоритм способен определить принадлежность объекта к какой-либо группе и его границы.

Подобные методы позволяют обработать графическое изображение, но что насчет физического описания, которое может позволить скорректировать результаты? Такая информация представлена со стороны натуральных данных и может быть использована для коррекции ра-

боты алгоритмов обработки изображений. При помощи этих данных возможно создание исключений или изменения веса различных критериев обработки и оценки для категоризации. Если натурные данные представлены в виде рукописных данных – то требуется решение задачи оптического распознавания символов (ОРС-задачи), которая решается на базе систем искусственного интеллекта, и ее решение может быть интегрировано в глобальную модель.

В рамках работы с архивными данными возможно использование всех перечисленных подходов. Но не стоит забывать, что если эти данные находятся на физическом носителе, то требуется использовать специализированное оборудование для их снятия, например, для создания ортотрансформированного фото. Если данные находятся в электронном архиве, то следует учесть процесс разархивирования.

Данные, которые получаются в результате подобных действий, собираются в единый набор и участвуют в процессе обучения или обработки при помощи методов систем искусственного интеллекта.

Методы систем ИИ в процессе оценки зрительного образа могут совершенно различаться. Например, байесовский классификатор (рисунок 2) минимизирует вероятность ошибочной классификации.

Зарекомендовала себя как оптимальный способ работы с изображениями искусственная нейронная сеть (рисунок 2).

Генетический алгоритм. Наиболее важными частями генетического алгоритма являются отбор, скрещивание и

| Концепции биологической эволюции | Роль генетических алгоритмов                                                              |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Окружающая среда                 | Чтобы адаптироваться к функции                                                            |
| Приспособление                   | Функция расчета адаптивного значения                                                      |
| Выживает сильнейший              | Решение с наибольшим значением адаптивной функции имеет наибольшую вероятность сохранения |
| Индивид                          | Одно решение проблемы                                                                     |
| Хромосома                        | Решение кодирования                                                                       |
| Ген                              | Кодируемый элемент                                                                        |
| Группа                           | Выбранный набор решений                                                                   |

Табл. 2. Генетический алгоритм  
Tab. 2. Genetic algorithm

|             | Байесовский классификатор                                                                                                  | Искусственная нейронная сеть                                                                                                                                                | Генетический алгоритм                                                                                                                                             |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Достоинства | Можно использовать на малых размерах обучающей выборки                                                                     | Сверточная нейронная сеть апробирована на множестве задач. Зарекомендовала себя как оптимальный способ работы с изображениями                                               | Получение множества «выживших» решений после обработки решений различными, в том числе и внешними, условиями                                                      |
| Недостатки  | Большой расход ресурсов, сложность обработки огромного массива данных, соответственно, трудность работы с большими данными | Требуется выбрать подходящую модель обучения для увеличения точности модели. Чем больше массив данных для обучения – тем больше точность, но тем медленнее модель обучается | Долгий процесс обработки данных и обучения. Несмотря на возможность категоризации, на данный момент нет активно используемого алгоритма для обработки изображений |

Табл. 3. Сравнительный анализ методов  
Tab. 3. Comparative analysis of methods

видоизменение. На его производительность, в основном, влияют эти три генетические операции, взаимосвязь которых показана в таблице 2.

Результаты

Существует целый ряд методов обработки изображений в рамках применения систем искусственного интеллекта. Особенно важна визуальная оценка объектов, которые относятся к объектам культурного наследия и исторически ценным градоформирующим объектам. При использовании систем ИИ, поддерживающих принятие различных решений путем параллельного анализа, процесс визуальной оценки становится точнее, проще, и его можно обосновать. Необходимо только выбрать наиболее подходящий метод. Сравнительный анализ рассмотренных методов представлен в таблице 3.

В процессе сравнения моделей видно, что для обработки изображений наиболее подходящий вариант – это искусственная нейронная сеть. У нее есть разновидность – сверточная нейронная сеть. Сверточная нейронная сеть (СНС) – это алгоритм глубокого обучения, который может принимать входное изображение, назначать важность (обучаемые веса и смещения) различным аспектам / объектам на изображении и иметь возможность отличать один от другого. Предварительная обработка, необходимая в СНС, намного ниже по сравнению с другими алгоритмами классификации. В то время как в примитивных методах фильтры разрабатываются вручную, при достаточном обучении СНС имеют возможность само-

стоятельно работать с этими фильтрами / характеристиками. Архитектура СНС аналогична схеме подключения нейронов в человеческом мозге и была создана на основе организации зрительной коры. Отдельные нейроны реагируют на раздражители только в ограниченной области поля зрения, известной как рецептивное поле. Набор таких полей перекрывается, чтобы покрыть всю визуальную область.

Заключение

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что для улучшения визуального анализа при проведении реставрации можно использовать системы искусственного интеллекта, и наилучший выбор для этого – сверточная нейронная сеть.

Цель дальнейшего исследования сводится к тому, чтобы на основе выбранной в работе модели искусственного интеллекта создать систему для анализа различных визуальных материалов, планируемых к использованию при реставрации объектов культурного наследия с учетом их архитектурных особенностей. Необходимо создать алгоритм работы сверточной нейронной сети, определить метод обучения искусственного интеллекта, сформировать модель сущность–связь (ER-модель) для хранения необходимой информации, нормализовать ее как минимум до 3 нормальной формы, на основе ER-модели собрать набор данных (датасет), необходимый для обучения. Заключительным этапом является объединение всех полученных результатов для создания экспериментальной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург, А. В. Строительная отрасль и концепция "Индустрия 4.0": обзор / А. В. Гинзбург, Л. А. Адамцевич, А. О. Адамцевич // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 7. – С. 885–911.

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. Кисель, Т. Н. Особенности внедрения технологий информационного моделирования на российских предприятиях инвестиционно-строительной сферы / Т. Н. Кисель, И. А. Тюрин // Финансовая экономика. – 2020. – № 3. – С. 151–155.

4. Пустовгар, А. П. Технология и организация аддитивного строительства / А. П. Пустовгар, А. О. Адамцевич, А. А. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 9. – С. 12–20.

5. Славчева, Г. С. Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации / Г. С. Славчева // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С. 28–36.

6. 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. – Т. 231. – P. 103–112.

7. 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 : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. – С. 441–444.

8. Стифеева, О. А. Исследование современного состояния жилищного фонда российской федерации / О. А. Стифеева // Научное обозрение. – 2016. – № 24. – С. 51–56.

9. Street View Imagery (SVI) in the Built Environment: A Theoretical and Systematic Review / Y. Li, L. Peng, C. Wu, J. Zhang // Buildings. – 2022. – № 12 (8). – P. 1167.

10. 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.

REFERENCES

1. Ginzburg, A. V. Stroitel'naya otrasl' i kontseptsiya "Industriya 4.0": obzor [The construction industry and the concept of "Industry 4.0": an overview] / A. V. Ginzburg, L. A. Adamtsevich, A. O. Adamtsevich // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2021. – Vol. 16, № 7. – P. 885–911.

2. Ilyinova, V. V. Mezhdunarodnyy opyt ispol'zovaniya BIM-tehnologij v stroitel'stve [International experience in the use of BIM technologies in construction] / V. V. Ilyinova, V. D. Mitsevich // Rossijskij vneshneekonomicheskij vestnik [Russian Foreign Economic Bulletin]. – 2020. – № 3. – P. 151–155.

3. Kisel, T. N. Osobennosti vnedreniya tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya na rossijskikh predpriyatiyakh investitsionno-stroitel'noj sfery [Features of the implementation of information modeling technologies at Russian enterprises in the investment and construction sector] / T. N. Kisel', I. A. Tyurin // Finansovaya ehkonomika [Financial Economics]. – 2020. – № 3. – P. 151–155.

4. Pustovgar, A. P. Tekhnologiya i organizatsiya additivnogo stroitel'stva [Technology and organization of additive construction] / A. P. Pustovgar, A. O. Adamtsevich, A. A. Volkov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2018. – № 9. – P. 12–20.

5. Slavcheva, G. S. Stroitel'naya 3D-pechat' segodnya: potentsial, problemy i perspektivy prakticheskoy realizatsii [Construction 3D printing today: potential, problems and prospects for practical implementation] / G. S. Slavcheva // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2021. – № 5. – P. 28–36.

6. 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. – T. 231. – P. 103–112.

7. Losev, K. Y. Sostav dannyh dlja informacionnoj podderzhki stroitel'nogo ob'ekta v ego zhiznennom cikle [The data scope for product lifecycle management of a construction object] / K. Y. Losev // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Integracija, partnerstvoiinnovacii v stroitel'nojnaukeiobrazovanii» [Collection of materials of the International Scientific Conference "Integration, partnership and innovation in construction science and education"]. – Moscow : Izd-vo Mosk. gos. stroit. un-ta [Publishing house of Moscow State Construction University], 2017. – P. 441–444.

8. Stifeeva, O. A. Issledovanie sovremennogo sostojanija zhilishhnogo fonda rossijskoj federacii [Research of the current state of the housing stock of the Russian Federation] / O. A. Stifeeva // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. – 2016. – № 24. – P. 51–56.

9. Street View Imagery (SVI) in the Built Environment: A Theoretical and Systematic Review / Y. Li, L. Peng, C. Wu, J. Zhang // Buildings. – 2022. – № 12 (8). – P. 1167.

10. 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.

УДК 69.001.5

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_58

**Международный опыт применения технологий  
Индустрии 4.0 для мониторинга актуального состояния  
строительного производства**

International Experience in Applying Industry 4.0 Technologies for Construction Progress Monitoring

**Адамцевич Любовь Андреевна**

Доцент, 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, AdamtsevichLA@mgsu.ru

Adamtsevich Liubov Andreevna

Candidate of Technical Sciences, Ph. D. docent 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, AdamtsevichLA@mgsu.ru

**Харисов Ильнур Зямитевич**

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

Kharisov Ilnur Zyamilovich

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, zkhnur@gmail.com

**Камаева Юлия Владимировна**

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, luliiaKamaeva@yandex.ru

Kamaeva Yulia Vladimirovna

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, luliiaKamaeva@yandex.ru

**Аннотация**

Целью статьи является анализ существующих методов мониторинга хода строительства с использованием технологий Индустрии 4.0, а также выбранных на основе проведенного анализа решений, представленных на рынке.

Исследование состояло из четырех взаимосвязанных этапов, включающих в себя анализ публикаций, выявление ключевых технологий, определение перспективных решений на базе определенных технологий.

При этом анализ проводился по публикациям, представленным в Scopus (выборка 1) и в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (выборка 2) в период с 2011 по 2022 гг. Выборки формировались по ключевому словосочетанию – «мониторинг хода строительства». Выявлено, что всего по указанному запросу отображается 2170 документов, опубликованных в период с 1963 по 2022 гг. в базе данных Scopus. Однако, учитывая цель работы – обеспечение мониторинга хода строитель-

**Abstract**

The purpose of the article is to analyze the existing methods for monitoring the progress of construction using Industry 4.0 technologies, as well as the solutions selected on the basis of the analysis on the market.

The study consisted of four interrelated stages, including the analysis of publications, the identification of key technologies, and the identification of promising solutions based on certain technologies.

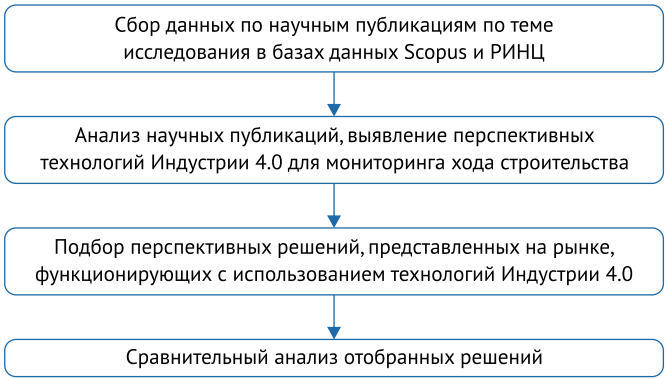
At the same time, the analysis was carried out on publications presented in Scopus (sample 1) and in the RSCI (sample 2) in the period from 2011 to 2022. The samples were formed according to the key phrase - construction progress monitoring. It was revealed that in total, the specified query displays 2170 documents published in the period from 1963 to 2022 in the Scopus database. However, considering the purpose of the research work - to ensure

**Введение**

Возведение объектов капитального строительства и реализация строительных проектов представляет собой технологически сложный процесс, в рамках которого отклонение контролируемых параметров и показателей может привести к дополнительным трудовым и финансовым затратам.

В то же время данные о состоянии строительного производства все еще получают посредством исполнительной документации, которая, к сожалению, не может отразить полностью актуальное состояние, так как информация, представленная в ней, не является оперативной.

В этой связи необходимой становится задача разработки подходов к мониторингу актуального состояния строительного производства с использованием передовых цифровых технологий.



**Рис. 1.** Обобщенная схема проведения исследования в соответствии с поставленной целью

**Fig. 1.** Generalized scheme of the study in accordance with the goal

ства с использованием технологий четвертой промышленной революции, – далее рассматривался массив статей, опубликованных с 2011 по 2022 гг. Подробный анализ проведен по статьям, имеющим наибольшее число цитирований. В РИНЦ по ключевому словосочетанию отображается всего 5 публикаций.

При этом стоит отметить, что используемые технологии для мониторинга строительного производства в публикациях обеих баз данных схожи: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), информационное моделирование, дополненная и смешанная реальность, лазерное сканирование и пр.

Далее проведен анализ наиболее перспективных, по мнению авторов, решений, представленных на рынке, функционирующих на базе технологий Индустрии 4.0.

**Ключевые слова:** мониторинг хода строительства, Индустрия 4.0, технологии информационного моделирования, БПЛА, дополненная и смешанная реальность.

monitoring of the progress of construction using the technologies of the fourth industrial revolution - an array of articles published from 2011 to 2022 was used. A detailed analysis was carried out with articles with the largest number of citations. In the RSCI, only 5 publications are displayed for the key phrase.

At the same time, it should be noted that the technologies used for monitoring construction production in the publications of both databases are similar: UAVs, information modeling, augmented and mixed reality, laser scanning, etc.

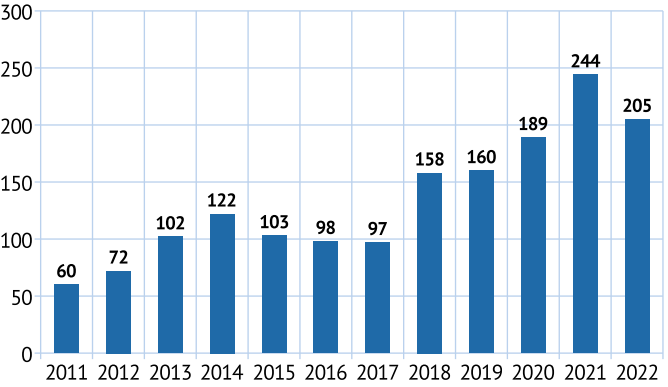
Further, an analysis was made of the most promising, according to the authors, solutions on the market, operating on the basis of Industry 4.0 technologies.

**Keywords:** construction progress monitoring, Industry 4.0, information modeling technologies, UAVs, augmented and mixed reality.

Под мониторингом строительства будем принимать систему наблюдения за процессом строительства, разработанную с применением передовых цифровых технологий, для получения оперативной информации о ходе строительства. Такая система должна собирать информацию для принятия оперативных и своевременных инженерных и управленческих решений, а также предоставлять информацию лицам, принимающим решения, не выходя на строительную площадку.

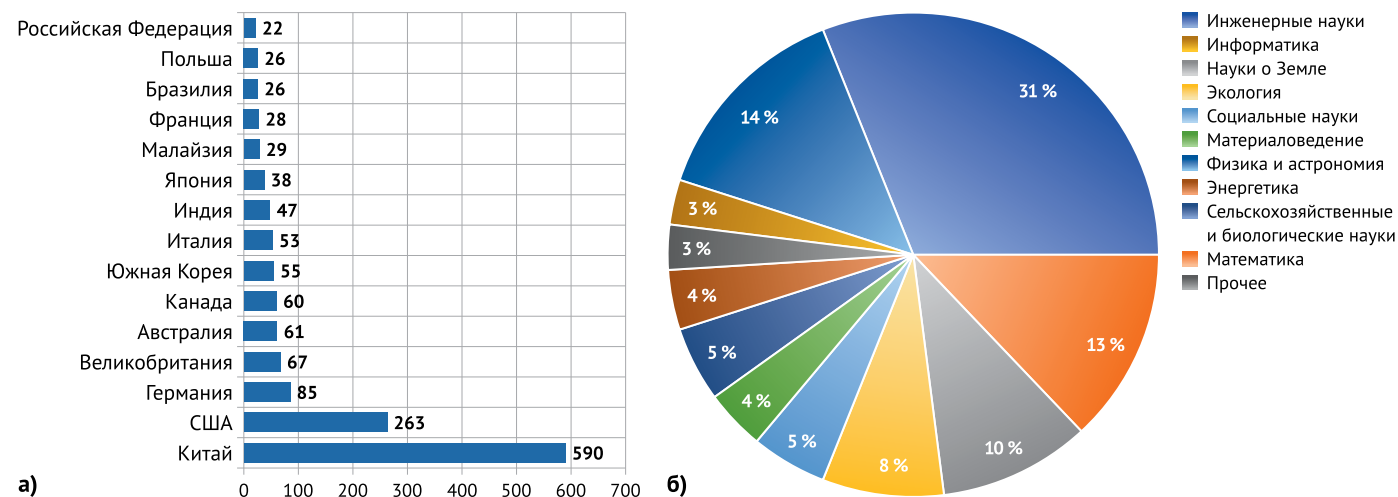
**Материалы и методы**

С целью анализа существующих решений для мониторинга хода строительного производства собрана статистика по публикациям: в международной базе данных Scopus по ключевому словосочетанию «Construction progress monitoring» (выборка 1) и по сочетанию «мониторинг хода строительства» (выборка 2) в РИНЦ (Российский ин-



**Рис. 2.** Распределение публикаций в международной базе данных Scopus в период с 2011 по 2022 гг.

**Fig. 2.** Distribution of publications in the international database Scopus in the period from 2011 to 2022



**Рис. 3. Распределение публикаций по странам и отрасли знаний**  
**Fig. 3. Distribution of publications by country and branch of knowledge**

декс научного цитирования) – библиографической базе данных научных публикаций преимущественно ученых России и стран СНГ.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема процесса проведения исследования, которая состоит из четырех взаимосвязанных этапов.

## Результаты

### 1.1. Анализ публикативной активности в базе данных Scopus

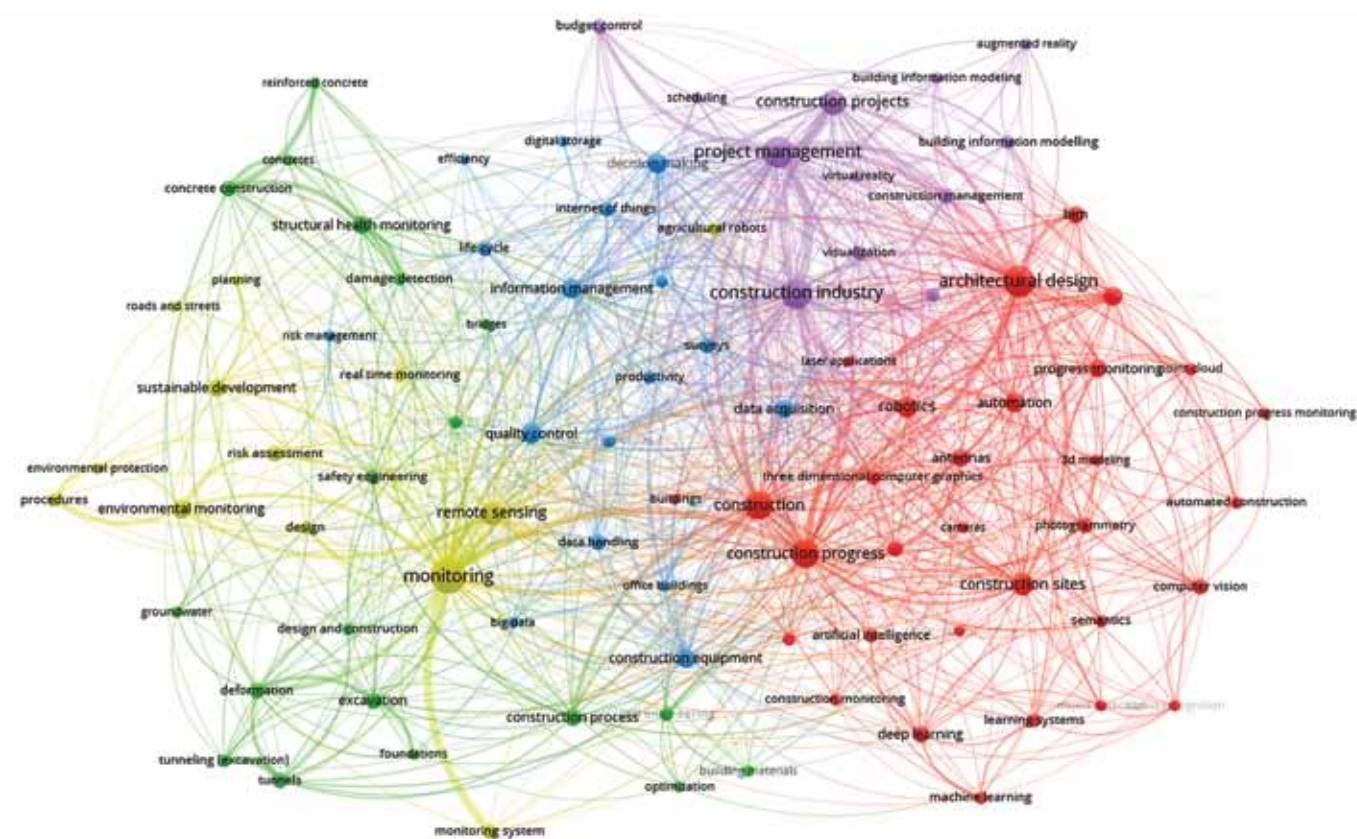
Всего по указанному запросу отображается 2170 документов, опубликованных в период с 1963 по 2022 гг. Однако, учитывая цель работы – обеспечение мониторинга хода строительства с использованием технологий четвертой промышленной революции, – далее будет рассматриваться массив статей, опубликованных с 2011 по 2022 гг. Распределение публикаций представлено на рисунке 2.

Распределение публикаций по странам мира (первые 15 стран) представлено на рисунке 3а, а на рисунке 3б представлено распределение публикаций по отраслям знаний.

Представленная статистика свидетельствует о том, что наибольшее количество публикаций относится к инженерным наукам, а больше всего внимания этому вопросу уделяют авторы из Китая (590 публикаций).

Вместе с тем для определения ключевых технологий и возможных новых подходов в рассматриваемом вопросе разработаем кластерную карту по ключевым словам, собранным в выборке 1.

Взаимосвязь ключевых слов представлена на рисунке 4. Минимальное количество совпадающих ключевых слов в выбранных публикациях было установлено равным 20. Пороговому значению соответствовало 106 слов



**Рис. 4.** Взаимосвязь ключевых слов в виде кластерной карты  
**Fig. 4.** The relationship of keywords in the form of a cluster map

| Ссылка на статью / кол-во цитирований | Краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]/305                               | Цель статьи – предоставить краткий обзор самых последних методов, которые упрощают сбор, анализ, визуализацию и передачу визуальных данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), с использованием без использования информационных моделей зданий в качестве априорной информации, поскольку применение беспилотных летательных аппаратов с камерами для визуального наблюдения за строительством и эксплуатацией зданий, мостов и других типов систем гражданской инфраструктуры стало достаточно востребованным. Кроме того, БПЛА могут обследовать строительные площадки с заданной частотой, отслеживать незавершенные работы, создавать документы по безопасности и проверять существующие конструкции, особенно в труднодоступных местах.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| [2]/277                               | В статье представлен обзор автоматизированного подхода к реконструкции объектов на основе изображений и эксклюзивных особенностей, связанных с использованием фотограмметрии. Представлен подход к организации наземного лазерного сканирования, выполненный для реконструкции и сравнения сцен в исходном состоянии.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| [3]/270                               | В статье рассматривается вариант автоматизации обработки данных, полученных с использованием лазерного сканера, для формирования информационной модели «как построено» и вариант дальнейшего сравнения этой модели с тем, как запроектировано.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| [4]/210                               | Одними из ключевых факторов при принятии управленческих решений, по мнению авторов статьи, являются точное и эффективное отслеживание, анализ и визуализация фактического состояния строящихся зданий. В статье представлен подход к распознаванию физического прогресса, основанный на двух новых источниках информации: неупорядоченные ежедневные коллекции фотографий строительства и информационные модели зданий, которые все чаще становятся обязательными компонентами при заключении контрактов на архитектуру / проектирование / строительство.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| [5]/193                               | В статье представлен обзор исследований и разработок в области мониторинга состояния высотных сооружений с использованием глобальной системы позиционирования (GPS).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [6]/157                               | В статье представлен метод автоматизированной идентификации объектов с использованием стандартных видеокамер на строительных площадках. Предлагаемый метод поддерживает обнаружение и классификацию оборудования и рабочих в режиме реального времени.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| [7]/148                               | Постоянно растущий объем визуальных данных благодаря интеллектуальным устройствам и платформам, оборудованным камерами, предоставляет возможность визуально фиксировать фактическое состояние строительных площадок с меньшими затратами по сравнению с другими альтернативными методами. Однако большая часть усилий по документированию состояния строительного производства сводится к сбору визуальных данных и обновлению информационной модели. В статье исследуются текущие стратегии использования визуальных данных и информационной модели при мониторинге эффективности строительства.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [8]/144                               | В статье представлены достижения в области автоматического получения построенных моделей облаков точек из неупорядоченных ежедневных коллекций фотографий и георегистрации изображений, автоматического создания четырехмерных изображений и автоматизированное наложение интегрированной исполнительной модели на 4D-информационную модель для создания интегрированных 4D-визуализаций: как построено и как запланировано.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [9]/126                               | Исполнительная документация представляет собой необходимый набор записей, состоящий из строительных чертежей, спецификаций и местонахождения оборудования, которые хранятся для целей управления объектом. Эти документы постоянно создаются и модифицируются на протяжении всего жизненного цикла проекта. Этот процесс обычно выполняется вручную и чреват ошибками, что препятствует принятию надежных решений. Технологические достижения сделали возможным создание 3D-моделей для оценки исполнительного состояния в целях мониторинга строительства, например, для проверки соответствия базовым графикам проекта и спецификациям контракта. С этой целью с помощью лазерных сканеров широко генерируются 3D-облака точек. Однако этот подход имеет ограничения в строительной отрасли из-за дорогого и хрупкого оборудования, отсутствия портативности и необходимости в обученных операторах. Это исследование направлено на изучение альтернативной технологии создания облаков точек в режиме реального времени с использованием фотографий, сделанных с помощью портативных цифровых камер. |
| [10]/112                              | В крупномасштабных строительных проектах процесс мониторинга хода строительства является трудоемким процессом, где ошибки неизбежны из-за человеческого фактора. В статье представлены структура и экспериментальный прототип концепции автоматизированного моделирования строительных проектов по запросу, объединяющий некоторые передовые цифровые решения, а именно: обработку изображений, машинное обучение, технологии информационного моделирования и виртуальную реальность.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| [11]/108                              | В статье представлено предварительное тематическое исследование для определения потенциальных областей применения визуальных ресурсов, полученных с помощью БПЛА для задач управления строительством.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**Табл. 1.** Публикации из выборки 1 с наибольшим количеством цитирований и отвечающие области исследования  
**Tab. 1.** Publications from sample 1 with the largest number of citations and corresponding to the field of study

из 13245. Для каждого из 106 ключевых слов программой была рассчитана общая сила одновременных ссылок с другими ключевыми словами. После проверки предложенных ключевых слов было выбрано 92 наиболее релевантных варианта в рамках темы исследования. Как видно из представленного рисунка, выделить конкретный тренд при мониторинге хода строительства сложно. К технологиям Индустрии 4.0, используемым при этом, относятся: искусственный интеллект, технологии информационного моделирования, робототехника, фотограмметрия, боль-

шие данные, виртуальная и дополненная реальность.

Для дальнейшего анализа принято решение провести обзор статей с наибольшим количеством цитирований.

Как видно из таблицы 1, наиболее востребованными являются технологии информационного моделирования, БПЛА, лазерное сканирование, обработка больших, в первую очередь визуальных, данных, фотограмметрия и пр.

## 1.2. Анализ публикативной активности в РИНЦ

Ключевое словосочетание искали в названиях публикаций, аннотациях и ключевых словах в статьях, книгах,

| Ссылка на публикацию | Краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [12]                 | В статье проведен анализ существующих механизмов строительного контроля и мониторинга хода строительства. В частности, представлен пример использования новых технологий видеонаблюдения: БПЛА, позволяющие проводить авторский надзор и мониторинг хода строительства удаленно. |
| [13]                 | Статья посвящена рассмотрению актуальных вопросов, связанных с усовершенствованием процесса управления строительно-монтажными работами посредством применения информационных моделей при осуществлении надзорных процедур.                                                       |
| [14]                 | В статье рассматриваются основные параметры и индикаторы для своевременного планирования и оценки качества проекта. Мониторинг данных индикаторов производится на протяжении всего срока строительства.                                                                          |
| [15]                 | Рассмотрены методы и приборы, применяемые при производстве изысканий, проанализирована возможность использования высокоточных электронных тахеометров при организации геодезических изысканий мостового перехода.                                                                |
| [16]                 | Представлен анализ результатов реализации государственной программы «Жилище» в 2012–2015 гг. и планы на 2016–2018 гг. по основным направлениям.                                                                                                                                  |

Табл. 2. Публикации в РИНЦ, представленные в рассматриваемой выборке  
Tab. 2. Publications in the RSCI presented in the sample under consideration

материалах конференций и диссертациях. Интервал поиска также был задан с 2011 по 2022 гг. Всего за указанный период отображается 5 статей, содержание которых представлено в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, работ, посвященных новым методам мониторинга хода строительства, не так много, а ключевыми являются БПЛА и технологии информационного моделирования.

1.3. Сравнительный анализ решений, представленных на рынке

Проведенный анализ публикаций позволил выявить наиболее востребованные технологии, используемые при мониторинге хода строительства. Далее авторами собраны существующие решения, представленные на рынке, и проведен их сравнительный анализ для определения сильных и слабых сторон технологий.

1.3.1. Планшет смешанной реальности

Планшет BRIO MRS с технологией смешанной и продвинутой смешанной реальности позволяет визуализировать информационную модель непосредственно на строительную площадку [18]. Инженеру строительного контроля можно навести планшет на монтируемый элемент и сравнить с тем, что должно быть построено, а инженеру эксплуатирующей организации можно узнать, как

построено и как проложены сети за стеной.

Кроме того, имея информационную модель, из нее можно не только получить всю заложенную информацию, но также указать текущий статус монтируемого элемента и передать на рабочий стол руководителя 3D-график объекта, где цветами указаны разные статусы монтируемых элементов: желтый – элемент монтируется, красный – элемент просрочен по времени и зеленый – элемент смонтирован и принят строительным контролем. Пример работы планшета представлен на рисунке 5.

Данное решение может стать одним из инструментов принятия дальнейшего решения руководителем, основанного на фактически представленной информации.

В таблице 3 представлен сравнительный анализ разработок цифровых платформ.

1.3.2. Беспилотные авиационные системы

Компания Аэромакс предлагает комплексные инновационные решения с использованием беспилотных авиационных систем (БАС) и геоинформационных платформ [18].

Данные спутниковой съемки позволяют получить снимки с максимальным общедоступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для крупномасштабного картирования. Кроме того, не всегда удается подобрать безоблач-

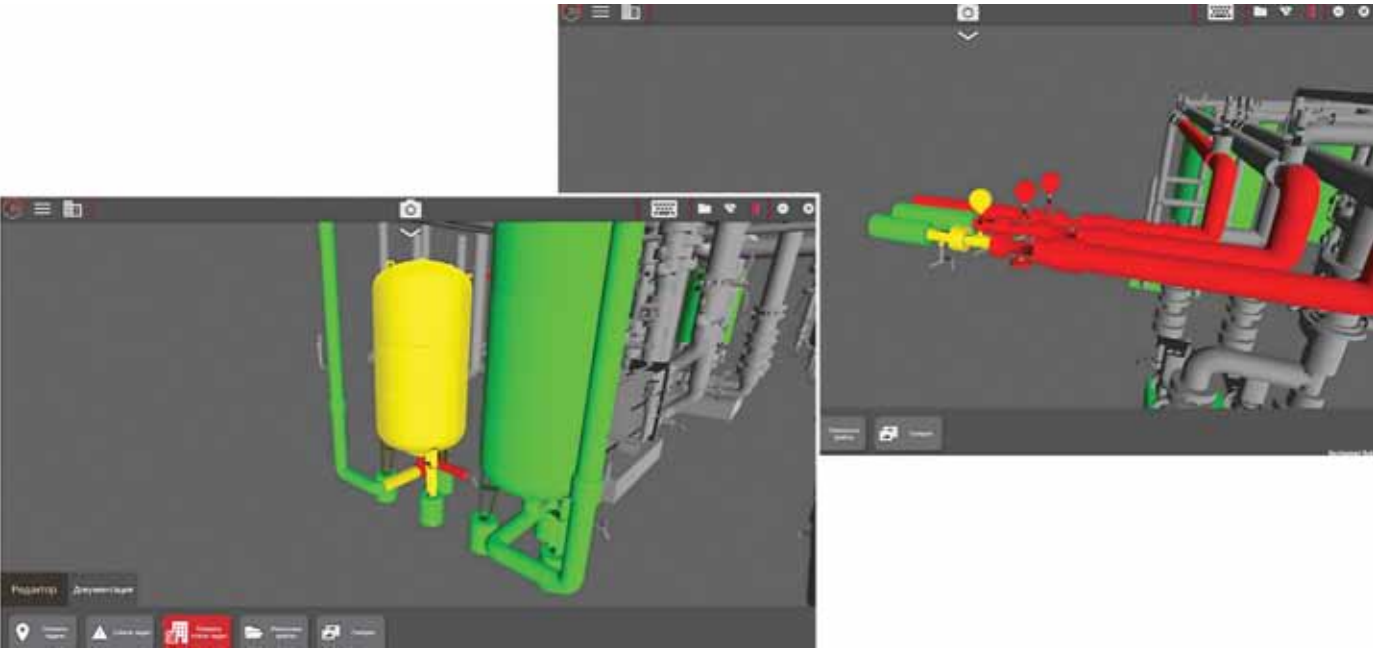


Рис. 5. Графическое отображение строящегося объекта на планшете Brio MRS  
Fig. 5. Graphic display of the object under construction on the Brio MRS tablet

| Характеристика                                                                                                                              | BRIO MRS                                                                                                                                                      | HoloLens 2                                                            | Daqri                                                                 | Magic Leap One                            | Решения на базе планшета Apple iPad Pro                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Ориентация и местоположение в пространстве                                                                                                  | Абсолютная ориентация                                                                                                                                         | Относительная ориентация                                              | Относительная ориентация                                              | Относительная ориентация                  | Относительная ориентация                                |
| Связь с системой управления информационной моделью                                                                                          | Присутствует                                                                                                                                                  | Отсутствует                                                           | Отсутствует                                                           | Отсутствует                               | Присутствует                                            |
| Метод позиционирования                                                                                                                      | Комбинированный трекинг (оптический, инерциальный) с бесшовной интеграцией с ГНСС (GPS/ГЛОНАСС) и высокоточными приборами определения координаты              | Оптический и инерциальный трекинг                                     | Оптический и инерциальный трекинг                                     | Оптический и инерциальный трекинг         | Оптический и инерциальный трекинг, GPS                  |
| Точность позиционирования                                                                                                                   | Точность 3 см при использовании оптических маркеров, 10–50 см на неограниченной территории, 10–50 м GPS/ГЛОНАСС, 1 см при использовании высокоточных приборов | Точность 10–50 см на территории 10 x 10 м                             | Точность 10–50 см на территории 10 x 10 м                             | Точность 10–50 см на территории 10 x 10 м | Точность 10–50 см на территории 10 x 10 м и 10–50 м GPS |
| Возможность внесения комментариев в проект, созданный с использованием технологий информационного моделирования, в режиме реального времени | Присутствует                                                                                                                                                  | Отсутствует                                                           | Отсутствует                                                           | Отсутствует                               | Присутствует                                            |
| Зависимость качества изображения от качества освещения в помещении / на объекте                                                             | Отсутствует (видимость изображения никак не зависит от качества освещения в помещении / на объекте)                                                           | Присутствует (чем ярче освещение, тем тусклее становится изображение) | Присутствует (чем ярче освещение, тем тусклее становится изображение) | Отсутствует                               | Отсутствует                                             |
| Возможность работать со строительными чертежами                                                                                             | Присутствует                                                                                                                                                  | Отсутствует                                                           | Отсутствует                                                           | Отсутствует                               | Присутствует                                            |

Табл. 3. Сравнительный анализ разработок цифровых платформ  
Tab. 3. Comparative analysis of digital platform developments

ные снимки из архива.

Традиционная аэрофотосъемка, которая проводится с помощью самолетов, требует высоких экономических затрат на обслуживание, что приводит к повышению стоимости конечных услуг.

БАС для аэрофотосъемки применяется для съемки с небольших высот и вблизи объектов для получения снимков высокого разрешения.

К сильным сторонам такого решения можно отнести рентабельность и оперативность получения снимков. К недостаткам – зависимость от погодных условий.

1.3.3. Лазерные сканеры

Еще одним инструментом, позволяющим отслеживать ход строительства, являются лазерные сканеры. Качество облаков точек, используемых для создания информационной модели, во многом зависит от типа оборудования, с помощью которого производится лазерное сканирование. Основными критериями выступают дальность сканирования и точность.

На рынке представлено достаточное количество разнообразного оборудования: лазерный сканер Leica, лазерный сканер Z+F, лазерный сканер |Trimble X7 и пр.,

основные отличия которых, как правило, заключаются только в характеристиках, но не в подходе.

Преимущества использования технологии заключаются в возможности трехмерной визуализации в процессе съемки, точности и скорости (зависят от характеристик используемого оборудования).

К недостаткам использования оборудования можно отнести сложности при сканировании стеклянных и других гладких поверхностей, проблемы с привязкой сканера к системе координат без использования других геодезических приборов, необходимость обеспечения прямой видимости объекта.

1.3.4. Роботизированные тахеометры

Роботизированные тахеометры позволяют значительно автоматизировать строительные процессы, связанные непосредственно со строительством и наблюдением за деформациями различных сооружений, а также при проведении геодезических работ, инженерных и геологических изысканий.

Главным отличием роботизированных тахеометров является наличие сервоприводов, которые позволяют вращать и наводить прибор в автоматическом режиме,

| Решение<br>Параметр                                    | TraceAir                                                                                                                                                                                                                       | BRIO MRS                                                                                                                                                                            | Trimble XR10<br>with HoloLens 2                                                                                                                                                                                                                           | Boston<br>Dynamics                                                                                                                                                                         | Мониторинг 360                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Форм-фактор                                            | Веб-платформа для контроля строительства в реальном времени на основе данных, полученных с дронов                                                                                                                              | Программно-аппаратный комплекс для визуализации информационной модели                                                                                                               | Решение смешанной реальности с обеспечением безопасности                                                                                                                                                                                                  | Робопес Spot: сканирование со специализированным 3D-лазером                                                                                                                                | 360-градусные камеры: удаленный интерактивный мониторинг                                                                                                                             |
| Состав решения / компоненты                            | Решение состоит из сервиса по созданию 3D-копии строительной площадки с помощью дронов и ее совмещению с проектной документацией, а также платформы для количественного и визуального контроля проделанных и планируемых работ | Планшет/устройство в комплекте с переносным компьютером со специализированным программным обеспечением (ПО)                                                                         | Устройство интегрировано в защитный шлем со специализированным ПО, дополнительный аксессуар позволяет просматривать голограммы в условиях высокой яркости                                                                                                 | Гибкий мобильный робот с планшетным приложением и встроенными стереокамерами                                                                                                               | Камера 360 + специализированное ПО                                                                                                                                                   |
| Фото/видео                                             | Аэрофотосъемка, камера 20,1 МР с APS-C матрицей                                                                                                                                                                                | Full HD (1080 p)                                                                                                                                                                    | Фотографии 8 Мрх, видео 1080 p 30                                                                                                                                                                                                                         | Стереокамеры (обзор 360 x 170°). Камера с панорамированием и наклоном с 30-кратным оптическим зумом                                                                                        | Разрешение в 10 раз больше стандартных камер. Панорамные фотографии в 22,6 Мрх (6720 x 3360 px) с длительной выдержкой                                                               |
| Ориентация и местоположение в пространстве             |                                                                                                                                                                                                                                | Абсолютная ориентация. Автоматическая привязка к месту                                                                                                                              | Относительная ориентация. Требуется ручная привязка к месту                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                      |
| Изображение                                            | Стереοизображение                                                                                                                                                                                                              | Стереοизображение                                                                                                                                                                   | Моноизображение                                                                                                                                                                                                                                           | Стереοизображение                                                                                                                                                                          | Стереοизображение                                                                                                                                                                    |
| Точность позиционирования                              | Плановая точность фотограмметрической модели – 5 см, точность координат до 1,5 см                                                                                                                                              | Точность 3 см в статике при использовании оптических маркеров, 10–50 см в неограниченном пространстве в динамике, 10–50 м GPS/ГЛОНАСС, 1 мм при использовании высокоточных приборов | Точность 10–50 см на территории 10 x 10 м                                                                                                                                                                                                                 | Увеличить точность автономной системы можно с помощью лидара: до +/- 3 см                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                      |
| Время автономной работы                                | Время работы/ полета – 40 минут                                                                                                                                                                                                | 3–4 часа                                                                                                                                                                            | 2–3 часа                                                                                                                                                                                                                                                  | Среднее время работы около 1,5 часа. В режиме ожидания – 3 часа                                                                                                                            | Среднее время работы 3–4 часа за смену                                                                                                                                               |
| Эксплуатационная температура                           | От – 15 до + 40 °С                                                                                                                                                                                                             | От –30 до +40 °С                                                                                                                                                                    | От +10 до +27 °С                                                                                                                                                                                                                                          | От – 20 до +45 °С                                                                                                                                                                          | От –20 до +50 °С                                                                                                                                                                     |
| Интеграция                                             | Интеграция с другими работающими на проекте программами и решениями: Autodesk Revit, BIM, Oracle Primavera, SAP, 1C                                                                                                            | BIM360, Google Drive, TDMS. Платформа может быть интегрирована с любой информационной системой, где цифровые модели представлены в формате .IFC                                     | Интеграция с облачной платформой Trimble Connect (поддержка для .SKP, .IFC, .RVT, .DWG, .DXF и др.)                                                                                                                                                       | Широкие возможности интеграции                                                                                                                                                             | Интеграция с другими системами потенциально возможна                                                                                                                                 |
| Поле / угол обзора                                     |                                                                                                                                                                                                                                | Глубина поля зрения (FOV): 87° = 3° x 58° = 1° x 95° = 3° датчика RGB, угол обзора (Г X в X r): 69,4° x 42,5° по горизонтали 77° (+/– 3°)                                           | Лучший в отрасли угол обзора 43° для наилучшего восприятия смешанной реальности                                                                                                                                                                           | Горизонтальное поле зрения = 360°                                                                                                                                                          | 360°                                                                                                                                                                                 |
| Безопасность                                           | Минимальный риск получения травмы                                                                                                                                                                                              | Минимальный риск получения травмы                                                                                                                                                   | Средний риск получения травмы, т. к. виртуальный объект может закрыть реальный мир                                                                                                                                                                        | Риск получения травмы отсутствует                                                                                                                                                          | Минимальный риск получения травмы                                                                                                                                                    |
| Зависимость качества изображения от качества освещения |                                                                                                                                                                                                                                | Потеря видимости при ярком освещении незначительна                                                                                                                                  | Потеря видимости при ярком освещении незначительна                                                                                                                                                                                                        | Потеря видимости при ярком освещении незначительна                                                                                                                                         | Потеря видимости при ярком освещении или в темноте незначительна                                                                                                                     |
| Преимущества решения / польза                          | Повышенная «прозрачность». Улучшенная коммуникация за счет использования единого информационного поля. Качественное краткосрочное планирование. Повышенный контроль производства                                               | Ускоряет обмен информацией до 5 раз. Снижает планирование погрешности бюджета. Предотвращает или оперативно выявляет нарушения                                                      | Позволяет работать с моделью непосредственно на площадке, сократить количество ошибок и коллизий. Помогает повысить производительность за счет эффективного взаимодействия сотрудников на площадке и в офисе. Поддержка практически всех форматов моделей | Позволяет проверять ход работ на строительной площадке, сравнивать план/факт, автоматизировать сбор данных со строительной площадки, а также анализировать объект в труднодоступных местах | Позволяет контролировать качество выполненных работ в соответствии с проектом. Позволяет выдерживать график работ. Позволяет получать актуальную информацию со строительной площадки |

Табл. 4. Анализ решений, использующих различные технологии четвертой промышленной революции  
Tab. 4. Analysis of solutions using various technologies of the fourth industrial revolution

включая распознавание, захватывание и отслеживание цели и пр.

Основными производителями сегодня являются Leica, Sokkia, Trimble, GeoMax.

Выводы

В таблице 3 представлен сравнительный анализ решений для одного вида технологий, а в таблице 4 приведен обобщающий анализ решений, использующих различные технологии. Поскольку технологии базируются на различных подходах, то некоторые позиции в таблице остались незаполненными.

Проведенный анализ подтвердил, что в настоящее время существует значительное количество решений для мониторинга хода строительства, использующих техно-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works / Y. Ham, K. K. Han, J. J. Lin, M. Golparvar-Fard // Visualization in Engineering. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 1.

2. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques / M. Golparvar-Fard, J. Bohn, J. Teizer, S. Savarese, F. Peña-Mora, // Automation in Construction. – 2011. – Vol. 20, iss. 8. – P. 1143–1155.

3. The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components / F. Bosché, M. Ahmed, Y. Turkan, C. T. Haas, R. Haas // Automation in Construction. – 2015. – Vol. 49, Part B. – P. 201–213.

4. Golparvar-Fard, M. Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models / M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora, S. Savarese // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2015. – Vol. 29, iss. 1. – P. 04014025.

5. Yi, T.-H. Recent research and applications of GPS-based monitoring technology for high-rise structures / T.-H. Yi, H.-N. Li, M. Gu // Structural Control and Health Monitoring. – 2013. – Vol. 20, iss. 5. – P. 649–670.

6. Chi, S. Automated Object Identification Using Optical Video Cameras on Construction Sites / S. Chi, C. H. Caldas // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2011. – Vol. 26, iss. 5. – P. 368–380.

7. Han, K. K. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study / K. K. Han, M. Golparvar-Fard // Automation in Construction. – 2017. – Vol. 73. – P. 184–198.

8. Golparvar-Fard, M. Integrated sequential as-built and as-planned representation with D 4AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry / M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora, S. Savarese // Journal of Construction Engineering and Management. – 2011. – Vol. 137, iss. 12. – P. 1099–1116.

9. Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras / A. Bhatla, S. Y. Choe, O. Fierro, F. Leite // Automation in Construction. – 2012. – Vol. 28. – P. 116–127.

10. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning /

REFERENCES

1. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works / Y. Ham, K. K. Han, J. J. Lin, M. Golparvar-Fard //

логии четвертой промышленной революции. Вместе с тем сделать однозначный выбор в пользу определенного предложения сложно, поскольку необходимо учитывать все их особенности и условия, в которых проводится мониторинг хода строительства. Так, БПЛА являются наиболее эффективными при контроле линейных объектов. Тахеометры и лазерные сканеры – при контроле ответственных строительных конструкций, где очень важна точность проведенных измерений. Планшеты смешанной реальности типа BRIO MRS наиболее эффективны при контроле инженерных сетей. Лазерные сканеры требуют значительных временных затрат при камеральной обработке, а при использовании оборудования при «густонасыщенных» сетях появляются «мертвые» зоны.

F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, N. Dawood // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 110. – P. 103012.

11. Irizarry, J. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks / J. Irizarry, D. B. Costa // Journal of Management in Engineering. – 2016. – Vol. 32, iss. 3. – P. 05016001.

12. Яндренкин, Н. А. Мониторинг хода строительства зданий / Н. А. Яндренкин // Экономика и управление: тенденции и перспективы : Материалы III Межвузовской ежегодной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 01–02 марта 2022 года. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – С. 447–456.

13. Топчий, Д. В. Совершенствование процесса управления строительно-монтажными работами посредством применения информационных моделей при осуществлении надзорных процедур / Д. В. Топчий, А. Я. Токарский // Строительное производство. – 2019. – № 2. – С. 30–35.

14. Петрович, Ю. А. Панель управления и индикаторы для контроля производства в строительных проектах / Ю. А. Петрович, С. В. Гузев // Управление проектами: идеи, ценности, решения : Материалы I Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 г. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – С. 16–26.

15. Петрович, Ю. А. Показатели эффективности строительных проектов / Ю. А. Петрович // Молодой ученый. – 2021. – № 3 (345). – С. 316–321.

16. Богомолова, Н. Н. Особенности инженерных изысканий в районах распространения вечной мерзлоты на примере проекта «Северный широтный ход» / Н. Н. Богомолова, И. Н. Журавлев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 5–14.

17. Валуи, А. А. Пятилетие реализации государственной программы города Москвы «Жилище» и планы на 2016–2018 гг. / А. А. Валуи, И. Л. Киевский, Ж. А. Хоркина // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 44–48.

18. Mechanisms for optimizing procurement activities in construction based on cost management of contract works / I. Kharisov, S. Sborshikov, I. Artamonova, P. Bilenko // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering», ERSME-2020. – 2020. – Vol. 217 – P. 9.

19. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в России / «Аэромакс» [сайт]. – URL: <https://www.aeromax-group.ru/>.

Visualization in Engineering. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 1.

2. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques / M. Golparvar-Fard, J. Bohn, J. Teizer, S. Savarese,

F. Peña-Mora, // Automation in Construction. – 2011. – Vol. 20, iss. 8. – P. 1143–1155.

3. The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components / F. Bosché, M. Ahmed, Y. Turkan, C. T. Haas, R. Haas // Automation in Construction. – 2015. – Vol. 49, Part B. – P. 201–213.

4. Golparvar-Fard, M. Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models / M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora, S. Savarese // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2015. – Vol. 29, iss. 1. – P. 04014025.

5. Yi, T.-H. Recent research and applications of GPS-based monitoring technology for high-rise structures / T.-H. Yi, H.-N. Li, M. Gu // Structural Control and Health Monitoring. – 2013. – Vol. 20, iss. 5. – P. 649–670.

6. Chi, S. Automated Object Identification Using Optical Video Cameras on Construction Sites / S. Chi, C. H. Caldas // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2011. – Vol. 26, iss. 5. – P. 368–380.

7. Han, K. K. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study / K. K. Han, M. Golparvar-Fard // Automation in Construction. – 2017. – Vol. 73. – P. 184–198.

8. Golparvar-Fard, M. Integrated sequential as-built and as-planned representation with D 4AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry / M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora, S. Savarese // Journal of Construction Engineering and Management. – 2011. – Vol. 137, iss. 12. – P. 1099–1116.

9. Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras / A. Bhatla, S. Y. Choe, O. Fierro, F. Leite // Automation in Construction. – 2012. – Vol. 28. – P. 116–127.

10. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning / F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, N. Dawood // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 110. – P. 103012.

11. Irizarry, J. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks / J. Irizarry, D. B. Costa // Journal of Management in Engineering. – 2016. – Vol. 32, iss. 3. – P. 05016001.

12. Yandrenkin, N. A. Monitoring khoda stroitel'stva zdaniy [Monitoring the progress of building construction] / N. A. Yandrenkin // Ekonomika i upravlenie: tendentsii i perspektivy : Materialy III Mezhdunarodnoy ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 01–02 marta 2022 goda [Economics and Management: Trends and Prospects : Materials

of the III Interuniversity Annual Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, March 01–02, 2022]. – St. Petersburg : SPbGASU, 2022. – P. 447–456.

13. Topchiy, D. V. Sovershenstvovanie protsessa upravleniya stroitel'no-montazhnymi rabotami posredstvom primeneniya informatsionnykh modelej pri osushchestvlenii nadzornykh protsedur [Improving the process of managing construction and installation works through the use of information models in the implementation of supervisory procedures] / D. V. Topchiy, A. Y. Tokarsky // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2019. – № 2. – P. 30–35.

14. Petrovich, Y. A. Panel' upravleniya i indikatory dlya kontrolya proizvodstva v stroitel'nykh proektakh [Control panel and indicators for production control in construction projects] / Y. A. Petrovich, S. V. Guzev // Upravlenie proektami: idei, tsennosti, resheniya : Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 15–17 maya 2019 g. [Project management: ideas, values, solutions : Materials of the I International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 15–17, 2019]. – St. Petersburg : SPbGASU, 2019. – P. 16–26.

15. Petrovich, Y. A. Pokazateli ehffektivnosti stroitel'nykh proektov [Indicators of the effectiveness of construction projects] / Y. A. Petrovich // Molodoj uchenyj [Young scientist]. – 2021. – № 3 (345). – P. 316–321.

16. Bogomolova, N. N. Osobennosti inzhenernykh izyskaniy v rajonakh rasprostraneniya vечноj merzloty na primere proekta «Severnyj shirotnyj khod» [Features of engineering surveys in areas of permafrost distribution on the example of the project «Northern latitudinal way»] / N. N. Bogomolova, I. N. Zhuravlev // Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovanij [Bulletin of the results of scientific research]. – 2020. – № 1. – P. 5–14.

17. Valuy, A. A. Pyatiletie realizatsii gosudarstvennoj programmy goroda Moskvy «Zhilishhe» i plany na 2016–2018 gg. [The fifth anniversary of the implementation of the state program of the city of Moscow «Housing» and plans for 2016–2018] / A. A. Valuy, I. L. Kievskij, Z. A. Khorkina // Zhilishhnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2016. – № 10. – P. 44–48.

18. Mechanisms for optimizing procurement activities in construction based on cost management of contract works / I. Kharisov, S. Sborshikov, I. Artamonova, P. Bilenko // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering», ERSME-2020. – 2020. – Vol. 217 – P. 9.

19. Bepilotnye letatel'nye apparaty (BPLA) v Rossii [Unmanned aerial vehicles (UAVs) in Russia] / Aeromax [website]. – URL: <https://www.aeromax-group.ru/>.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_66

# Эффективность применения технологий с использованием 3D-принтера в строительстве

Efficiency of Applying Technologies Using a 3D Printer in Construction

Зеленцов Леонид Борисович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, [Lzelencov@yandex.ru](mailto:Lzelencov@yandex.ru)

Zelentsov Leonid Borisovich

Ph. D. in Engineering, Professor, Head of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, [Lzelencov@yandex.ru](mailto:Lzelencov@yandex.ru)

© Зеленцов Л. Б., Маилян Л. Д., Пирко Д. В.,  
Аль-Саррай И. А. Х., Саид Ю. С. С.,  
2022 Строительное производство № 3 2022

Маилян Лия Дмитриевна

Доцент, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая безопасность, учет и право», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1

Mailyan Liya Dmitrievna

Associate Professor, Ph. D., Associate Professor of the Department «Economic Security, Accounting and Law», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1

Пирко Дмитрий Владимирович

Магистр ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, [dmitwl2000@gmail.com](mailto:dmitwl2000@gmail.com)

Pirko Dmitry Vladimirovich

Master of the Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, [dmitwl2000@gmail.com](mailto:dmitwl2000@gmail.com)

Аль-Саррай Ихсан Али Хусейн

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, [ihsanali@uowasit.edu.iq](mailto:ihsanali@uowasit.edu.iq)

AL-Sarray Ihsan Ali Hussein

Graduate student of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, [ihsanali@uowasit.edu.iq](mailto:ihsanali@uowasit.edu.iq)

Саид Юсиф Салам Саид

Аспирант кафедры «Организация строительства», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), Россия, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1, [yousif.salam@uokirkuk.edu.iq](mailto:yousif.salam@uokirkuk.edu.iq)

Saeed Yousif Salam Saeed

Graduate student of the Department «Organization of Construction», Don State Technical University (DSTU), Russia, 344000, Rostov-on-Don, ploshhad' Gagarina, 1, [yousif.salam@uokirkuk.edu.iq](mailto:yousif.salam@uokirkuk.edu.iq)

## Аннотация

**Цель.** В этой статье предпринята попытка привлечь больше внимания специалистов и заинтересованных лиц к важности применения 3D-принтера в строительстве при производстве из бетона конструктивных элементов со сложной геометрией. Исследования базируются на анализе многочисленных публикаций, особенно в области затрат ресурсов, времени и устойчивого применения 3D-принтера в строительстве.

**Методы.** Следует признать, что традиционные методы строительства достигли предела своих возможностей при реализации сложных архитектурных решений и что процесс строительства включает в себя множество вызовов и проблем, требующих современных решений, способных запустить процесс строительства в более широком пространстве автоматизации с использованием 3D-принтера.

## Abstract

**Purpose.** This article is an attempt to draw more attention of specialists and interested parties to the importance of using a 3D printer in construction in the production of concrete structural elements with complex geometry. The research is based on the analysis of numerous publications, especially in the field of resource costs, time and sustainable use of a 3D printer in construction.

**Methods.** It must be recognized that traditional construction methods have reached their limits in implementing complex architectural solutions, and that the construction process includes many challenges and problems that require modern solutions that can start the construction process in a wider automation

## Введение

Все строительные и инвестиционные компании в мире стремятся к успеху при наличии сильной конкуренции на рынке строительной отрасли, и эти компании также заинтересованы в том, чтобы строительная отрасль занимала лидирующие позиции в рейтинге отраслей промышленности, способствующих глобальному экономическому росту. Однако последние экономические исследования

**Результаты.** Хотя подход к строительству с использованием аддитивных технологий еще находится в зачаточном состоянии и требует дополнительных углубленных исследований, технология производства бетонных работ с применением 3D-принтера является многообещающим направлением и может стать альтернативой традиционным технологиям строительства в ближайшем будущем.

**Выводы.** Эта технология имеет ряд преимуществ, таких как сокращение затрат и времени, и уже достаточно апробирована при реализации многих проектов в различных странах мира, в том числе в России.

**Ключевые слова:** строительная отрасль, 3D-принтер, технология 3D-печати, традиционные методы строительства, новые методы строительства, инновации.

space using a 3D printer.

**Results.** Although the approach to automated construction is still in its infancy and requires more in-depth research, 3D printer concrete production technology is a promising direction and may become an alternative to traditional construction technologies in the near future.

**Conclusions.** This technology has a number of advantages, such as reducing costs and time, and has already been sufficiently tested in the implementation of many projects in various countries of the world, including Russia.

**Keywords:** construction industry, 3D printer, 3D printing technology, traditional construction methods, new construction methods, innovation.

указали на противоположность ожиданиям строительных компаний, поскольку наблюдается снижение вклада строительной отрасли в производство и глобальный экономический рост.

Это может быть связано с высоким уровнем проблем, с которыми сталкивается строительная отрасль на всех этапах реализации строительных проектов, или, с другой стороны, с характером принимаемых строительным

руководством неэффективных стратегий. Кроме того, большинству из этих стратегий не хватало инноваций и креативности, и они были сосредоточены в основном на традиционных методах строительства, не обращая внимания на тот факт, что строительная отрасль, использующая привычные традиционные методы, достигла своих максимальных технологических решений. Кроме того, серьезная проблема, с которой столкнулся мир в целом и строительная отрасль в частности в 2019–2022 годах, – пандемия коронавируса, которая привела к огромным потерям при реализации большинства инженерных строительных проектов по всему миру и насторожила высшее руководство большинства компаний и организаций в отношении масштабов влияния глобальных катастроф на традиционную строительную отрасль. Это побудило руководителей серьезно задуматься о том, что будущие решения в сфере строительства должны быть основаны на решениях, позволяющих применять современные средства по автоматизации производственных процессов на строительной площадке. Поэтому строительные организации и компании начали постепенно, но медленно внедрять новые и перспективные технологии, которые приведут строительную отрасль к глубокому переходу к автоматизированному строительству [1].

Одной из наиболее важных отличительных технологий в настоящее время является 3D-печать бетона, или то, что называется аддитивным производством, которое представляет собой печать 3D-компонентов здания на строительной площадке на основе компьютеризированной цифровой модели.

Начало изобретению 3D-принтера было положено в 1984 году [2], который вскоре стал одной из самых быстрорастущих и распространенных технологий в большинстве отраслей промышленности. Тем не менее, эта технология входит в строительную сферу (2004 г.) [3] совсем недавно благодаря некоторым робким экспериментам и попыткам. В 2014 году был напечатан первый 3D-дом, и этот проект можно рассматривать как реальное начало четвертой промышленной революции в области строительства и инвестиций. Бетонный 3D-принтер призван создать уникальный метод строительства с помощью цифровой модели. Он также предлагает практические решения проблем, связанных с традиционной строительной отраслью: низкой производительностью труда, высоким расходом материальных ресурсов, рисками в сфере безопасности, загрязнением окружающей среды и другими проблемами. Согласно многим выполненным исследованиям, строительная отрасль потребляет примерно 40 % мировых сырьевых ресурсов и оставляет огромное количество отходов [4].

В дополнение – традиционная строительная отрасль представляет значительную опасность в сфере обеспечения безопасности труда рабочих. Так, например, только в России ежегодно умирает примерно пять рабочих на 100 000 строительных объектов. Этой проблемы можно избежать, используя цифровую технологию 3D-принтера, которая сводит человеческий фактор в проекте практически к нулю.

Вклад и важность 3D-принтера для производства бетонных работ (который будет более подробно рассмотрен в другом разделе этого исследования) в повышении эффективности реализуемых строительных проектов были рассмотрены в ряде публикаций, многие из которых показали, что аддитивное производство может принести ощутимую прибыль при меньших затратах труда и времени производства работ. Кроме того, такое производство

оказывает положительный эффект на сохранение окружающей среды за счет сокращения отходов строительных материалов, сокращения выбросов парниковых газов, потребления энергии. Эти факторы в совокупности считаются важными для успеха при реализации строительных проектов.

Быстро растет оптимизм по поводу внедрения современных технологий аддитивного производства в строительные проекты в ближайшем будущем, и ожидается, что рынок инвестиций в эту технологию увеличится с 70 миллионов до 40 миллиардов долларов за период с 2017-го по 2027 год соответственно. Возросла вера строителей и исследователей в то, что автоматизация и роботы должны заменить человеческий труд на большинстве этапов производства после того, как темпы производства традиционными методами стали не способны решать проблемы, стоящие перед строительной отраслью.

#### Материалы и методы

Как уже отмечалось, данная статья подготовлена на основе ранее выполненных исследований по применению 3D-принтеров для бетона, а цель предлагаемого подхода состоит в том, чтобы проанализировать конкретные результаты, полученные при строительстве тех или иных объектов с использованием данной технологии в разных странах мира, и отобразить их в виде сравнительных таблиц.

Как известно, конструкция 3D-печати (C3DP), или 3D Construction Printing (3DCP), относится к различным технологиям, использующим 3D-печать.

C3DP впервые рассмотрел James B. Gardiner в контексте его применения к зданиям и строительным деталям (конструкциям), которые могут быть созданы с использованием технологии 3D-принтера. Существует два типа C3DP. Первый – C3DP, детали которого печатаются за пределами строительной площадки, а затем монтируются на объекте. Что касается второго типа C3DP, то здания полностью печатаются на принтере. Для обоих типов существуют выдающиеся попытки печати и проекты по всему миру. Так, например, китайская компания Ying Chuang смогла напечатать офисное здание в Дубае, а Huashang Luhai Ltd. напечатала первый нестандартный дом в Пекине.

В другом печатном эксперименте армия США напечатала бетонный мост длиной 10 метров, где группе морских пехотинцев, армии, ВВС и ВМС США удалось в ходе учений, проведенных в Кэмп-Пендлтоне, штате Калифорния, построить первый печатный мост в полевых условиях. В Китае Winsun считается одной из выдающихся компаний в области 3D-печати бетона, так как ей удалось построить 10 домов, стоимость одного дома составляет около 5000 долларов США. Компания также утверждает, что прошла стадию прототипирования и на данный момент продала 100 печатных домов.

В Ступинском районе Москвы (Россия) компании Apis Cor и PIK провели исследовательский эксперимент по 3D-печати дома. Дом был достроен в декабре 2016 года. Апис Кор утверждает, что дом был отпечатан всего за один день с застроенной площадью 38 квадратных метров. Датская компания D Printhuset запустила проект по печати офисного помещения площадью не менее 50 квадратных метров, который является первым печатным зданием, соответствующим европейским стандартам.

Опыт использования 3D-принтера не ограничивается экспериментами и попытками, а скорее выходит за рамки этого, решая важную проблему в строительной отрасли, которая заключается в недорогом жилье, и проект Tabasco

в Мексике является первым рассмотренным проектом по созданию жилого комплекса из 50 домов, каждый площадью 150 квадратных метров. Цель проекта – обеспечить высококачественным жильем по низкой цене [5].

DUS Architects в Амстердаме разработала уникальный 6-метровый принтер под названием (Kamer Maker), который использует полипропиленовые печатные материалы для печати компонентов дома на канале размерами 2,2 x 2,2 x 3,5 м, где эти компоненты будут установлены друг с другом для строительства дома, который будет доступен для публики как музей с 12 залами, посвященными исследованию 3D-печати зданий.

Есть несколько других проектов, разбросанных по всему миру, которые отличаются своими размерами и способом печати, например, вилла Винсона на Тайване площадью 1100 квадратных метров и стоимостью примерно 200 000 канадских долларов (около 160 000 долларов). Одним из типографских проектов, части которого были напечатаны за пределами площадки, является пешеходный мост в Испании в Алькобендасе. Размеры этого моста составляют около 12 метров в длину и 1,75 метра в ширину, и он состоит из 8 соединенных между собой частей. И в качестве первого 3D-печатного фонтана – пример фонтана, который был построен в городе Балях в России. Этот фонтан был спроектирован диаметром 26 метров и глубиной 2,2 метра и был напечатан компанией AMT.

После обнадеживающих результатов проектов 3D-печати по всему миру большинство стран и строительных организаций проявили повышенный интерес к внедрению этой технологии в своих будущих проектах. И среди этих проектов будущий проект Королевства Саудовская Аравия, где был подписан контракт между Mobty Contracting и Winson Company, в соответствии с контрактом Winson предоставит Mobty в аренду 150 3D-принтеров по бетону для строительства 1,5 миллиона домов доступного жилья, поскольку Королевство страдает от серьезного жилищного кризиса, и поэтому оно нашло решение в 3D-печати.

Эксперименты с печатью, хотя и немногочисленные, дали основания и доказательства того, что 3D-печать обладает способностью и потенциалом изменить правила игры в строительной отрасли, особенно в строительстве жилых зданий. По этой причине международные научные публикации и периодические издания утверждают, что эта технология обладает уникальными характеристиками, которых не хватает традиционному методу строительства, особенно в области временных параметров и экологии (устойчивости).

Кроме того, строительные организации и крупные компании-застройщики считают, что повышенная инвестиционная ориентация в области 3D-печати станет мощным двигателем роста строительной отрасли в будущем. Американская компания McKinsey & Company указала, что технология 3D-строительства является одной из 12 прорывных технологий в строительной отрасли, и подсчитала, что эта технология принесет экономический эффект примерно в 55 миллиардов долларов. Одной из наиболее важных особенностей традиционных методов строительства является высокая стоимость зданий – и это то, что мотивирует высшее руководство всегда стремиться предоставлять инновационные методы и технологии в строительстве, со временем дополнительное производство доказывает способность внести заметные изменения в этот аспект [6].

Еще одной особенностью, связанной со строительной отраслью, является ее значительное воздействие на

окружающую среду, поскольку на нее приходится 11 % от общего объема выбросов, а также 6 % потребления энергии. Строительная отрасль потребляет почти две трети от общего объема добычи инертных полезных ископаемых – эта проблема может быть преодолена за счет применения 3D-печати, и она рассматривается Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (UNEP) как основной фактор снижения воздействия на окружающую среду. С другой стороны, используемая в строительстве деревянная опалубка, утилизируемая по прошествии определенного времени, является источником отходов в строительной отрасли, а традиционный подход к заливке и формированию бетона ограничивает возможности изготовления нетипичных инженерных конструкций.

Традиционная строительная среда, как правило, небезопасна для рабочей силы и часто приводит к травмам или даже смерти на строительных площадках. По данным Бюро статистики труда США, четверо из каждых 100 работников в 2010 году получили травмы или имели заболевания, связанные с работой, есть статистика, указывающая на 802 ежегодных случаев смерти.

Важность 3D-печати заключается в том, что она обладает способностью снижать затраты и сокращать сроки строительства, поскольку способствует сокращению трудоемкости работ на стройплощадке до уровня, близкого к нулю, а гибкость, обеспечиваемая 3D-бетонным принтером, позволяет архитекторам и инженерам производить сложные строительные блоки без дополнительных расходов, связанных с качеством используемой опалубки. Кроме того, эта технология показала свою способность работать в самых суровых погодных условиях, включая дождь, что считалось одной из проблем, стоящих перед процессом строительства.

В имеющихся публикациях подчеркивается важность применения технологии 3D-печати, которая заключается в снижении затрат, сокращении времени, повышении экологической устойчивости, обеспечении безопасности труда рабочих на строительной площадке и структурной гибкости.

#### Результаты

В дополнение к тому, что обсуждалось о важности применения 3D-принтера в строительной отрасли, и для того, чтобы эта технология стала надежной альтернативой в будущем, она должна продемонстрировать свою способность снижать затраты при реализации проектов по сравнению с традиционными методами строительства. Хотя единого подхода для расчета общей стоимости проектов с использованием 3D-принтеров по бетону не существует, а оценки ограничены индивидуальным случаем каждого проекта, можно считать, что снижение стоимости производства одного квадратного метра ограждающих конструкций по сравнению с традиционными методами производства работ при использовании технологии аддитивного производства достигается за счет сокращения расхода материалов и предотвращения их потерь, уменьшения трудоемкости работ и косвенных затрат, включая затраты на компенсацию несчастных случаев и травм [7].

Успех применения 3D-принтера в снижении производственных затрат был проверен на практике, поскольку команде всего из 18 человек удалось собрать и построить офисное здание в Дубае менее чем за три недели, при этом стоимость материалов и рабочей силы была снижена до 80 % по сравнению с традиционными методами строительства. Согласно опубликованным в США данным RSMean's о стоимости 3D-печатного дома ICON Builds площадью 800 квадратных футов, общая экономия затрат

составила 16 % по сравнению с обычным строительством. В существующих публикациях упоминается множество примеров снижения общей стоимости строительства за счет использования бетонного 3D-принтера. Одним из таких примеров является дом размером 10 x 10 метров и площадью 200 квадратных метров в России, где было проведено сравнение между традиционным и трехмерным строительством в отношении конструктивных частей, которые включают внешние и внутренние стены и потолки, и экономия в общей стоимости составила около 23 %.

В Иордании было проведено гипотетическое сравнение ситуации со строительством в районе Рас-эль-Айн в рамках проекта многоцелевого зала общей площадью около 350 квадратных метров, и исследование пришло к выводу, что использование 3D-принтера при производстве бетонных работ приведет к снижению общей стоимости строительства на 65 %. Еще один пример проекта 3D-печати из бетона в Новой Зеландии, общая стоимость проекта составила 191,735,56 новозеландских долларов, что примерно на 25 % (63 777,40) ниже затрат по сравнению с традиционными методами строительства. В другом гипотетическом исследовании, проведенном в Финляндии, рассматривалось сравнение между традиционным прямоугольным зданием и круглым, выполненным с использованием 3D-принтера, для здания площадью 40 квадратных метров в рамках проекта из 100 таких зданий. Исследование показало, что при традиционной прямоугольной конструкции общая стоимость увеличивается примерно на 80 %, что объясняется способностью 3D-принтера обходиться без опалубки, что приводит к снижению расхода материалов и снижению трудоемкости.

Последний пример – проект здания, выполненного на 3D-принтере, размеры которого составили 12,5 x 10,5 x 3 метра, состоящего из двух спален, джакузи и гостиной и являющегося частью Louis Grand Hotel на Филиппинах. Материалы, использованные при печати, были местными, найденными на Филиппинах, и исследователи выяснили, что при сравнении с традиционными методами строительства снижение общей стоимости составило бы около 60 % в результате использования 3D-принтера [8].

Результаты ранее выполненных исследований приведены на рисунке 1 и рассчитаны по формуле 1.

$$AVE = \frac{16\% + 23\% + 65\% + 25\% + 80\% + 60\%}{6} = 44,83\%.$$
 (1)

Нет никаких сомнений в том, что фактор времени в строительных проектах имеет большое значение, поскольку он считается важным при оценке успеха проекта. Кроме того, увеличение скорости строительства и сокра-

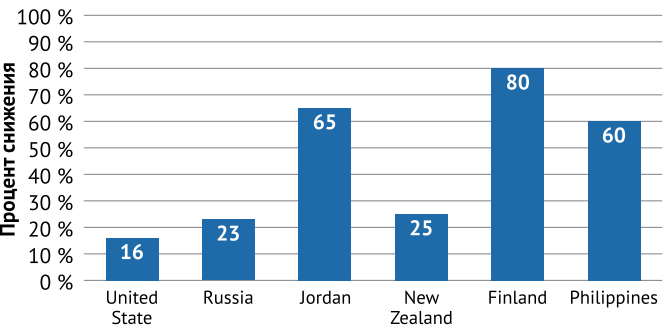


Рис. 1. Процент снижения затрат на основании ранее опубликованных данных  
Fig. 1. Cost reduction percentage based on previously published data

щение продолжительности проекта положительно скажутся на эффективности логистики и административных услуг. Бетонный 3D-принтер может значительно увеличить скорость работы, и эта скорость может быть связана с тем фактом, что 3D-принтер по бетону работает в устойчивом темпе, не проходя через остановки, необходимые для рабочей силы, или остановки с целью обработки бетона традиционными методами строительства.

Возможность прямого преобразования компьютеризованного проекта в печатную конструкцию считается революцией в строительной отрасли и имеет большую экономическую отдачу от стоимости проекта. Например, в области инвестиций в жилое строительство вопрос завершения проекта в кратчайшие сроки имеет большое экономическое значение для высшего руководства, поскольку это повышает конкурентоспособность компании на строительном рынке.

Одним из наиболее важных исследований, которое касалось оценки времени реализации проекта с использованием 3D-принтера для производства бетонных работ и сравнении его с традиционными методами строительства, является исследование, проведенное корейскими исследователями на гипотетической модели стены длиной 52 метра и высотой от пола 2,5 метра. В ходе исследования был сделан вывод, что период строительства был сокращен на 50 % по сравнению со строительством традиционными методами.

Китайская компания HuaShang Tengda смогла напечатать двухэтажный дом и выполнить строительные работы всего за полтора месяца, в то время как аналогичное строительство традиционными методами заняло бы 6–7 месяцев.

Возвращаясь к тому, что было ранее упомянуто относительно дома размерами 10 x 10 метров, который был напечатан в России, 3D-бетонный принтер помог сократить время выполнения конструктивных деталей, таких как внешние стены и потолки дома, на 25 %. Также сообщалось, что технология 3D-печати Winsun смогла сократить на 30 % сроки строительства офисного здания в Дубае по сравнению с традиционными технологиями. Продолжительность строительства деревянного каркасного дома в Новой Зеландии составляет около 24 недель, но в эксперименте с использованием 3D-принтера по бетону работа была завершена раньше на 6,4 недели, а сокращение времени составило около 27 %.

В 2014 году Winsun смогла напечатать 10 домов площадью 100 квадратных метров на дом всего за 24 часа. Компания также утверждала, что напечатала шестизэтажное здание общей площадью 1100 квадратных метров, это здание было напечатано с использованием строительных отходов и стекловолокна, а коэффициент сокращения

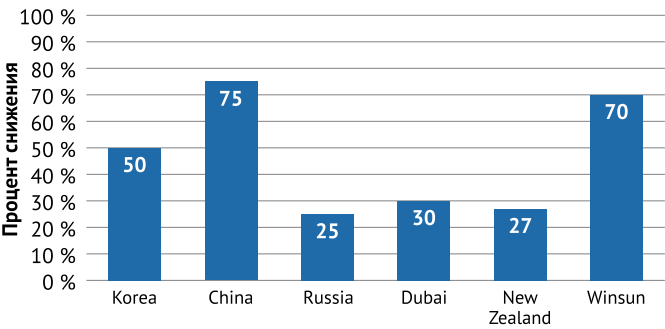


Рис. 2. Процент сокращения времени на основании ранее опубликованных данных  
Fig. 2. Percentage of time reduction based on previously published data

за период завершения составил около 70 % по сравнению со знакомыми методами. Проекты, загруженные на 3D-принтер в формате CAD, которые могут быть напечатаны в любое время, обеспечивают беспрецедентную гибкость технологии 3D-печати при выполнении зданий в течение 12 или 24 часов, и такой скорости реализации недостает традиционным методам строительства [9].

Представление результатов в соответствии с предыдущими исследованиями показано на рисунке 2 и в формуле 2.

$$AVE = \frac{50\% + 75\% + 25\% + 30\% + 27\% + 70\%}{6} = 46,16\%.$$
 (2)

Традиционная строительная отрасль является одним из наиболее ресурсоемких и отходообразующих промышленных секторов, поскольку, по оценкам специалистов, при строительстве дома на одну семью образуется от трех до семи тонн отходов. Отходы в строительстве можно разделить на твердые отходы, выбросы газов и потребление энергии. Твердые отходы в строительстве включают различные металлы, стекло, дерево, пластик, кирпичи и т. п., и эти отходы утилизируются либо путем захоронения, либо сжигания, что приводит к загрязнению окружающей среды и что не ограничивается только землей, но также распространяется и на воздух. Согласно данным Агентства по охране окружающей среды США, в 2003 году общий объем отходов, образующихся в результате сноса и строительства зданий, составил примерно 170 тонн только в Америке. Что касается воздействия углерода, строительная отрасль производит 38 % выбросов углерода во всем мире, в дополнение к 12 % этерификации.

Можно уменьшить или даже избежать этих цифр и воздействия на окружающую среду, полагаясь на экологически чистые методы строительства и низкоэнергетическое сырье, которые могут сократить количество мокрых строительных работ до такой степени, что возникновение отходов и пыли будет намного меньше по сравнению с традиционными методами. Бетонный 3D-принтер становится одной из самых экологически чистых промышленных технологий, поскольку эта технология обладает способностью снижать потребление энергии и значительно сокращать выбросы парниковых газов, а также приводит к образованию меньшего количества твердых отходов.

Пока существует острая нехватка исследований, посвященных вкладу 3D-принтера для бетона в сокращение объема отходов, образующихся в традиционной строительной отрасли. Результаты предыдущих исследований нами были разделены на две категории. Первая категория показывает сокращение твердых отходов, а вторая категория связана с выбросами газов. Ссылаясь на то, что ранее упоминалось о проекте печати офисного здания в

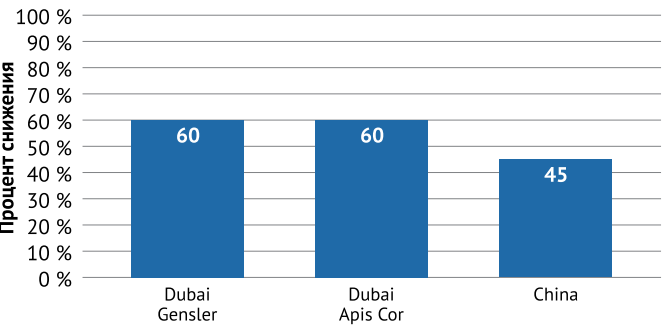


Рис. 3. Сокращение твердых отходов на основании ранее опубликованных данных  
Fig. 3. Reduction of solid waste based on previously published data

Дубае, который был спроектирован компанией Gensler, дополним, компания-исполнитель утверждала, что использование технологии 3D-печати позволило сократить объем отходов на 60 % по сравнению с традиционными методами. Еще одно здание было напечатано в Дубае также компанией Apis Cor высотой 9,5 метров и общей площадью 460 квадратных метров, которое до сих пор считается самым большим печатным зданием. Этот проект привел к образованию так же на 60 % меньшего количества отходов, чем отходы, которые могли образовываться в аналогичных зданиях, в которых использовались традиционные методы строительства. В Китае компанией WinSun построено шестизэтажное здание, известное как самое высокое здание с 3D-печатью в мире. Компания утверждает, что сокращение объемов строительных отходов составило 30–60 % (в среднем 45 %), но по поводу этих количественных показателей ведутся большие споры [10].

Что касается 3D-печатных проектов, которым удалось сократить выбросы углекислого газа, голландская компания CyBe Additive Industries смогла на 90 % использовать пригодный для вторичной переработки бетон, а также использовать специальный раствор для своих устройств. Результатом этого эксперимента стало снижение выбросов углекислого газа на 32 % по сравнению с обычным бетоном. В Сингапуре в ходе сравнительного исследования стоимости производства и воздействия на окружающую среду между экструзивной 3D-печатью по бетону и сборным железобетоном, основанным на применении бетонных форм, исследователи пришли к выводу, что технология 3D-печати по бетону способна сократить выбросы углекислого газа примерно на 86 %. В другом исследовании, проведенном в Катаре, посвященном воздействию на окружающую среду ряда строительных методов, в том числе 3D-печати, для сравнения использовалась единица измерения 1 м² внешней стены здания толщиной 20 см. Согласно исследованию, технология строительства на основе 3D-печати позволила сократить выбросы газов более чем на 50 % по сравнению с другими методами строительства.

Представление результатов в соответствии с ранее выполненными исследованиями показано на рисунках 3 и 4.

**Обсуждение**  
Цифровизация и автоматизация технологических процессов в наше время стали жизненно важным фактором прогресса и развития большинства отраслей промышленности, но в строительной отрасли это пока слабо проявляется, а используются, в основном, старые традиционные технологии и методы строительства. В последнее время предпринимаются робкие, но многообещающие попытки внедрить автоматизацию в строительные проекты с помощью технологии 3D-печати бетона. Согласно опублико-

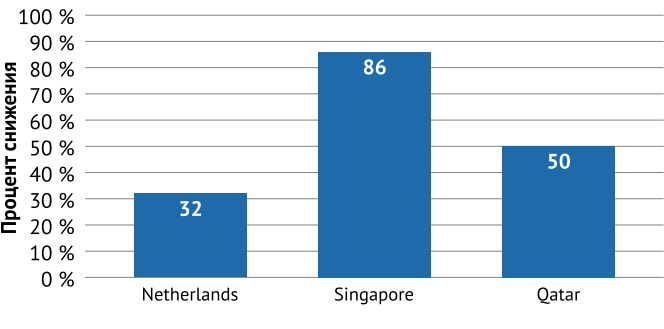


Рис. 4. Сокращение выбросов твердых газов на основании ранее опубликованных данных  
Fig. 4. Reduction of solid gas emissions based on previously published data

ванным ранее данным, эта технология обладает уникальными характеристиками по сравнению с традиционными методами строительства с точки зрения снижения затрат, потребления сырья, скорости доставки и использования минимально возможного количества рабочей силы, что повышает фактор безопасности на стройке, а в дополнение к этому – это экологически чистая технология. Некоторые из ранее реализованных печатных проектов были исследованы, что позволило сделать выводы о том, что технология 3D-принтера для бетона может снизить стоимость проекта на 44,83 %.

Это сокращение является результатом действия нескольких факторов, основными из которых являются сокращение трудоемкости работ и отказ полностью от деревянной опалубки, а также сокращение расхода бетона. Что касается продолжительности проекта, то показатель сокращения составил 46,16 %.

Использование 3D-принтера позволяет вести работы в одном темпе и ритме без технологических перерывов,

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, Н. Г. Акопян, М. С. Шогенов // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 41–44.
2. Грахов, В. П. Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства / В. П. Грахов, С. А. Мохначев, О. В. Бороздов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–12. – С. 2673–2676.
3. Khoshnevis, B. Robotic systems for automated construction / Patent № US7641461B2 from Jan. 5, 2010. – Khoshnevis : United States Patent, 2010.
4. Hager, I. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? / I. Hager, A. Golonka, R. Putanowicz // Procedia Engineering, 2016. –Vol. 151. – P. 292–299.
5. Интеллектуальные системы управления в строительстве : монография / Л. Б. Зеленцов, Л. Д. Маилян, М. С. Шогенов, И. Г. Трипута. – Ролстов-на-Дону : ДГТУ, 2017. – 88 с.
6. Остроух, А. В. Интеллектуальные системы : монография / А. В. Остроух. – Красноярск : Научно-инновационный центр,

#### REFERENCES

1. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh protsessov v stroitel'stve s ispol'zovaniem sovremennykh tsifrovyykh tekhnologiy [Modeling of organizational and technological processes in construction using modern digital technologies] / L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, N. G. Akopyan, M. S. Shogonov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction industry]. – 2020. – № 1. – P. 41–44.
2. Grakhov, V. P. Vliyaniye razvitiya 3D-tekhnologiy na ekonomiku stroitel'stva [The impact of the development of 3D technologies on the economics of construction] / V. P. Grakhov, S. A. Mokhnachev, O. V. Borozdov // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. – 2014. – № 11–12. – P. 2673–2676.
3. Khoshnevis, B. Robotic systems for automated construction / Patent № US7641461B2 from Jan. 5, 2010. – Khoshnevis : United States Patent, 2010.
4. Hager, I. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? / I. Hager, A. Golonka, R. Putanowicz // Procedia Engineering, 2016. –Vol. 151. – P. 292–299.
5. Intellectual'nye sistemy upravleniya v stroitel'stve : monografiya [Intelligent control systems in construction : Monograph] // L. B. Zelentsov, L. D. Mailyan, M. S. Shogonov, I. G., Triputa. – Rolstov-on-Don : DGTU, 2017. – 88 p.

которые являются обычными при традиционных методах возведения строительных конструкций. В области устойчивого развития строительства использование 3D позволяет получить два основных результата: сокращение объемов твердых отходов на 55 % и сокращение выбросов углекислого газа на 56 %.

Исследователи считают, что эти цифры являются предварительными оценками и не могут в полной мере приниматься как должное, так как изделий, изготовленных с использованием 3D-принтера, в строительстве пока недостаточно, чтобы сравнивать с традиционными технологиями и делать серьезные выводы [11].

#### Заключение

Приведенные в статье данные являются убедительным свидетельством важности применения 3D-принтера в строительных проектах, и возможно, что при большей смелости и инновациях в ближайшем будущем он станет серьезным конкурентом традиционным методам строительства, особенно в экстремальных условиях.

2020. – 316 с.

7. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. G. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer Human Interactions, Rome, Italy, 2018. – Italy, 2018. – P. 141–146.
8. The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review / A. Sartal, R. Bellas, A. M. Mejías, A. García-Collado. – DOI 10.1177/1687814020925232 // Advances in Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 12, iss. 5. – № 68781402092523.
9. A research on 3D printing concrete / R. Manju, R. Deepika, T. Gokulakrishnan, K. Srinithi, M. I. Mohamed // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, iss. 2S8. – P. 1691–1693.
10. A Review of 3D Printing in Construction and its Impact on the Labor Market / M. A. Hossain, A. E. Zhumabekova, S. C. Paul, J. R. Kim. – DOI https://doi.org/10.3390/su12208492 // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, iss. 20. – P. 8492.
11. Amin, K. F. Building Information Modelling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, iss. 2. – P. 23–61.
6. Ostroukh, A. V. Intellectual'nye sistemy : monografiya [Intelligent systems : monograph] / A. V. Ostroukh. – Krasnoyarsk : Nauchno-innovatsionnyj tsentr [Scientific and Innovation Center], 2020. – 316 p.
7. Approaches to a practical implementation of industry 4.0 / A. Elkaseer, M. Salem, H. Ali, S. G. Scholz // The Eleventh International Conference on Advances in Computer Human Interactions, Rome, Italy, 2018. – Italy, 2018. – P. 141–146.
8. The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review / A. Sartal, R. Bellas, A. M. Mejías, A. García-Collado. – DOI 10.1177/1687814020925232 // Advances in Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 12, iss. 5. – № 68781402092523.
9. A research on 3D printing concrete / R. Manju, R. Deepika, T. Gokulakrishnan, K. Srinithi, M. I. Mohamed // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, iss. 2S8. – P. 1691–1693.
10. A Review of 3D Printing in Construction and its Impact on the Labor Market / M. A. Hossain, A. E. Zhumabekova, S. C. Paul, J. R. Kim. – DOI https://doi.org/10.3390/su12208492 // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, iss. 20. – P. 8492.
11. Amin, K. F. Building Information Modelling Plan of Work for Managing Construction Projects in Egypt / K. F. Amin, F. H. Abanda // Journal of Construction in Developing Countries. – 2019. – Vol. 24, iss. 2. – P. 23–61.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_73

## Исследование организационно-технологических факторов организации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий

Research of Organizational and Technological Factors of Organization of Mass Housing Construction of Pre-Erasted Buildings

Погодин Денис Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе 26, denispogodin2013@yandex.ru

Pogodin Denis Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy 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, denispogodin2013@yandex.ru

Абрамова Анастасия Игоревна

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

Abramova Anastasia Igorevna

Associate Professor, 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, shatrovaan@mail.ru

#### Аннотация

Анализ теории и практики организации массового строительства быстровозводимых зданий показал, что на сегодняшний день отсутствуют алгоритмы и общепринятые методики для оперативного выбора варианта существующих технологий быстровозводимых зданий при строительстве на труднодоступных территориях, возведении госпиталей и больниц при вспышке эпидемий, пандемии и др. чрезвычайных ситуаций, а также при разрушениях, причиненных войной, статистические данные последствий которых фиксируют колоссальные цифры потерь жилого фонда. Целью настоящей статьи является разработка методики по повышению результативности организации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Анализ существующих организационных и технологиче-

#### Abstract

An analysis of the theory and practice of organizing the mass construction of prefabricated buildings has shown that today there are no algorithms and generally accepted methods for the prompt selection of the variant of existing technologies for prefabricated buildings during construction in hard-to-reach areas, the construction of hospitals and hospitals during an outbreak of epidemics, pandemics, and other emergencies, and also in the destruction caused by the war, the statistics of the consequences of which record enormous numbers of losses in the housing stock. The purpose of this article is to develop a methodology for improving the effectiveness of the organization of mass housing construction of prefabricated buildings.

To achieve this goal, the following tasks were performed:

1. Analysis of existing organizational and technological solu-

#### Введение

Для анализа современного опыта проектирования, производства и строительства быстровозводимых зданий, выявления их типологии и истории развития быстровозводимых зданий были взяты научные труды А. Н. Асаула, Г. В. Есаулова, Н. И. Докунихина, Ю. Н. Герасимова,

ских решений, а также технологий реализации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий; 2. Определение критериев и параметров, оказывающих влияние на выбор технологии массового жилищного строительства быстровозводимых зданий.

Научная новизна заключается в исследовании критериев и оценки эффективности решения задач организации строительства жилых быстровозводимых зданий с использованием метода экспертной оценки.

По результатам исследования определены основные организационно-технологические факторы организации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий.

**Ключевые слова:** организационно-технологические решения, массовое жилищное строительство, быстровозводимые здания, технология строительства, фактор, метод экспертной оценки.

tions, as well as technologies for the implementation of mass housing construction of prefabricated buildings; 2. Determination of criteria and parameters influencing the choice of technology for mass housing construction of prefabricated buildings.

Scientific novelty lies in the study of criteria and evaluation of the effectiveness of solving the problems of organizing the construction of residential prefabricated buildings, using the method of expert evaluation.

Based on the results of the study, the main organizational and technological factors for the organization of mass housing construction of prefabricated buildings were determined.

**Keywords:** organizational and technological solutions, mass housing construction, prefabricated buildings, construction technology, factor, peer review method.

Д. О. Швидковского, В. В. Кочергина, Н. А. Морозова, С. Г. Шабиева, Т. А. Денисовой, А. К. Шрейбера, А. А. Лapidуса, А. А. Морозенко, А. Х. Байбурина, А. В. Гинзбурга, Л. В. Киевского, Р. Р. Казаряна, Е. А., Король, П. П. Олейника, С. А. Синенко и других, что способствовало ком-

| № пп. | Наименование технологий                          |                                    | Габаритные размеры самого большого элемента, м     | Масса самого большого элемента, т | Тип грузоподъемного средства | Возможность транспортировки      | Допустимое количество этажей | Скорость монтажа, м <sup>2</sup> /ч |
|-------|--------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | Сборно-разборные из блок-контейнеров             | «Универсал», «Энергетик», «Лесник» | 3 × 6 × 2,8 – 3 × 6 × 2,9 (ТРАСПАК – 3 × 6 × 0,65) | 2,9–6,2                           | Автокран, подкатные тележки  | Автотранспорт                    | 1–2                          | 1,7–2,4                             |
| 2     |                                                  | «Новый дом»                        | 3,2 × 6,4 × 3                                      | 2,5–3                             | Автокран                     | Ж/д транспорт, автотранспорт     | 1–9                          | 1,5–2,5                             |
| 3     | Сборно-разборные из линейных и плоских элементов | «Модуль», «Сокол»                  | 2,4 × 4,8 × 0,1, 1,2 × 3,6 × 0,18                  | 0,634                             | Лебедки, автокран            | Ж/д, авто- и воздушный транспорт | 1–2                          | 0,48                                |
| 4     |                                                  | СИП-панели                         | 2,8 × 1,25 × 0,224                                 | 0,0665                            | Вручную, лебедки, автокран   |                                  | 1–5                          | 2,57                                |
| 5     |                                                  | МХМ                                | 3 × 6 × 0,295                                      | 2,655                             | Автокран                     |                                  | 1–3                          | 0,84                                |
| 6     |                                                  | СЛТ                                | 3 × 9 × 0,301                                      | 4,185                             | Автокран                     |                                  | 1–10                         | 0,84                                |
| 7     |                                                  | БЭНПАН                             | 3 × 7 × 0,36                                       | 3,403                             | Автокран                     |                                  | 1–3                          | 0,29                                |
| 8     |                                                  | ЛСТК                               | 0,3 × 6 × 0,065                                    | 0,087                             | Вручную, лебедки             |                                  | 1–6                          | 2,67                                |

Табл. 1. Технические показатели  
Tab. 1. Technical indicators

плексному анализу конструкций, их преимуществ и проблем [1].

Научные публикации и учебные пособия вышеперечисленных авторов формируют комплексный подход к дальнейшему исследованию. Однако достаточно слабо проработаны вопросы, касающиеся выбора оптимальной технологии строительства, особенно в условиях непредвиденных ситуаций, что является критически важным аспектом [2].

Авторами были рассмотрены теоретические основы технологий быстровозводимых зданий. Быстровозводимые здания – это здания, выполняемые из легких металлических конструкций. Самой главной отличительной особенностью данных зданий является скорость их строительства, которая в разы превосходит классические технологии строительства из кирпича, камня и дерева [3].

Выполнен анализ систем быстровозводимых зданий (таблица 1): сборно-разборные из блок-контейнеров, сборно-разборные из линейных и плоских элементов, система «Сокол», СИП-панели, система МХМ, система СЛТ, система БЭНПАН, система ЛСТК [4].

Технология строительства быстровозводимых зданий позволяет возводить здания при любой погоде, сократить сроки строительства, уменьшить трудозатраты, снизить

стоимость строительства. Проведен сравнительный анализ технологий быстровозводимых зданий.

Анализ систем технологии быстровозводимых зданий показал значительное количество систем со сроком эксплуатации менее 50 лет. В других технологиях выявлены сильные и слабые стороны. Именно эти технологии применялись для выбора оптимального варианта технологического решения возведения зданий [5].

Материалы и методы

Определены факторы (таблица 2), оказывающие значительное влияние на принятие организационно-технологических решений при организации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий. Для исследования возможности применения технологий быстровозводимых зданий был использован экспертный метод оценки [6].

Приведены экспертные оценки факторов в десятибалльной системе (рисунки 1, 2), позволившие установить наилучшие варианты технологии быстровозводимых зданий [7; 8]. Оценивались варианты технологии быстровозводимых зданий для применения в селе Бясь-Кюэль Республики Саха, где летом 2021 г. были лесные пожары, причинившие значительный ущерб поселению.

Сумма рангов по фактору  $\Phi_1$ :

$$\overline{X}_1 = \sum_{j=1}^m (X_1)_j = 28, \tag{1}$$

где  $m$  – число экспертов;  $j$  – порядковый номер эксперта;  $i$  – номер фактора.

Общая сумма рангов оценок экспертов:

$$\overline{X} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (X_j)_i = \frac{1}{2} * m * n(n-1) = 210, \tag{2}$$

где  $X_{ji}$  – оценка  $j$ -го фактора  $i$ -м экспертом;  $n$  – количество факторов.

Для фактора  $\Phi_i$  находим фактическое отклонение сумм рангов:

| Порядковый номер эксперта                           | Оценка влияния фактора |          |          |          |          |          | Сумма баллов |
|-----------------------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
|                                                     | $\Phi_1$               | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ |              |
| 1                                                   | 7                      | 5        | 6        | 3        | 10       | 9        |              |
| 2                                                   | 7                      | 5        | 6        | 3        | 10       | 9        |              |
| 3                                                   | 6                      | 3        | 10       | 5        | 9        | 7        |              |
| 4                                                   | 5                      | 10       | 6        | 3        | 7        | 9        |              |
| 5                                                   | 10                     | 6        | 5        | 3        | 7        | 9        |              |
| 6                                                   | 10                     | 6        | 3        | 5        | 7        | 9        |              |
| 7                                                   | 9                      | 3        | 6        | 5        | 10       | 7        |              |
| 8                                                   | 6                      | 3        | 9        | 5        | 10       | 7        |              |
| 9                                                   | 9                      | 5        | 3        | 7        | 10       | 6        |              |
| 10                                                  | 7                      | 5        | 6        | 3        | 9        | 10       |              |
| Сумма баллов по каждому фактору                     | 76                     | 51       | 60       | 42       | 89       | 82       | 400          |
| Среднее арифметическое                              | 0,19                   | 0,13     | 0,15     | 0,10     | 0,22     | 0,21     | 1            |
| Место фактора в ранжированном ряду (ранги факторов) | 3                      | 5        | 4        | 6        | 1        | 2        | –            |

Рис. 1. Оценки факторов в баллах  
Fig. 1. Factor scores

$$\Delta_1 = \left( \overline{X}_j - \overline{X}_{cp} \right) = -7. \tag{3}$$

Находим сумму квадратов фактических отклонений:

$$S_{\text{факт}} = \sum_{j=1}^n \Delta_j^2 = 952. \tag{4}$$

Результаты

В результате выявлено, что строительство быстровозводимых зданий позволяет удовлетворить потребности населения в новом жилье, объектах общественного назначения за счет быстрой реализации проектов. Анализ данных показал, что факторами, наиболее влияющими

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности разработки организационно-технологических решений при выполнении строительно-восстановительных работ в чрезвычайных условиях : монография / Б. Ф. Ширшиков, В. В. Акулич. – Москва : МГСУ, 2015. – 116 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25595312>.  
2. Shatrova, A. The choice of organizational and technological solutions based on the modeling option / A. Shatrova // IOP Conference Series Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference «FarEastCon-2019», Vladivostok, Russky Island, 01–04.10.2019. – 2020. – Vol. 753, iss. 5. – Chapter 4. – P. 052035. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43267983>.  
3. Михневич, И. В. Конструкторское решение и технология быстровозводимого сооружения для применения в зонах чрезвычайных ситуаций / И. В. Михневич, А. В. Рыбаков, С. Д. Николенко // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (40). – С. 66–75.  
4. Lapidus, A. Sip-technology as solution in low-rise multi-family residential buildings / A. Lapidus, Y. Ndayiragije // E3S Web of Conferences : 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM-2019. – 2019. – Vol. 97, № 06032. – P. 8.

REFERENCES

1. Osobennosti razrabotki organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri vypolnenii stroitel'no-vosstanovitel'nykh rabot v chrezvychajnykh usloviyakh : monografiya [Features of the development of organizational and technological solutions

| Порядковый номер эксперта       | Ранг влияния фактора |          |          |          |          |          | Сумма |
|---------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
|                                 | $\Phi_1$             | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ |       |
| 1                               | 3                    | 5        | 4        | 6        | 1        | 2        |       |
| 2                               | 3                    | 5        | 4        | 6        | 1        | 2        |       |
| 3                               | 4                    | 6        | 1        | 5        | 2        | 3        |       |
| 4                               | 5                    | 1        | 4        | 6        | 3        | 2        |       |
| 5                               | 1                    | 4        | 5        | 6        | 3        | 2        |       |
| 6                               | 1                    | 4        | 6        | 5        | 3        | 2        |       |
| 7                               | 2                    | 6        | 4        | 5        | 1        | 3        |       |
| 8                               | 4                    | 6        | 2        | 5        | 1        | 3        |       |
| 9                               | 2                    | 5        | 6        | 3        | 1        | 4        |       |
| 10                              | 3                    | 5        | 4        | 6        | 2        | 1        |       |
| Сумма рангов                    | 28                   | 47       | 40       | 53       | 18       | 24       | 210   |
| Среднее арифметическое          | 2,8                  | 4,7      | 4,0      | 5,3      | 1,8      | 2,4      | –     |
| Ранжирование фактов             | 3                    | 5        | 4        | 6        | 1        | 2        | –     |
| Отклонение сумм рангов          | -7                   | 12       | 5        | 18       | -17      | -11      | 0     |
| Квадраты фактических отклонений | 49                   | 144      | 25       | 324      | 289      | 121      | 952   |

Рис. 2. Оценки факторов в рангах  
Fig. 2. Factor scores in ranks

на выбор технологии строительства быстровозводимых зданий, являются  $\Phi_5$  и  $\Phi_6$ .

Заключение

1. Проанализированы существующие организационно-технологические решения, а также технологии реализации массового жилищного строительства быстровозводимых зданий.

2. Определены критерии и параметры, оказывающие влияние на выбор технологии массового жилищного строительства быстровозводимых зданий. Как результат были сформированы шесть факторов.

5. Погодин, Д. А. Системный подход организационно-технологических решений в строительном производстве / Д. А. Погодин // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 5 (1017). – С. 30–31.  
6. Lapidus, A. A. Identification of effective methods for assessing the risks of a construction company in conditions of uncertainty / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, Z. A. K. Alzaidi // Components of scientific and technological progress. – 2020. – № 11 (53). – P. 13–18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44481309>.  
7. Загорская, А. В. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов / А. В. Загорская, А. А. Липидус // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 21–34. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44513275>.  
8. Погодин, Д. А. Методы моделирования и оптимизации организационных и технологических решений в жилищном строительстве / Д. А. Погодин, А. И. Абрамова // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : Сборник докладов первой национальной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования», Москва, 30 сентября 2020 г. – Москва : МГСУ, 2020. – С. 353–356. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44556300>.

when performing construction and restoration work in emergency conditions. : monograph] / B. F. Shirshikov, V. V. Akulich. – Moscow : MGSU, 2015. – 116 p. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25595312>.

2. Shatrova, A. The choice of organizational and technologi-

| № пп.    | Наименование фактора                                                           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $\Phi_1$ | Степень удаленности объектов строительства от производственной базы            |
| $\Phi_2$ | Привлечение квалифицированного состава ИТР и рабочей силы                      |
| $\Phi_3$ | Трудозатраты (чел.-ч/м <sup>2</sup> ) и время (100 м <sup>2</sup> ) монтажа    |
| $\Phi_4$ | Обеспечение строительства необходимыми машинами и механизмами                  |
| $\Phi_5$ | Логистика сырья, конструкций и изделий от завода-изготовителя до места монтажа |
| $\Phi_6$ | Наличие сырьевой и производственной базы в регионе                             |

Табл. 2. Перечень факторов  
Tab. 2. List of factors

cal solutions based on the modeling option / A. Shatrova // IOP Conference Series Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference «FarEast-Con-2019», Vladivostok, Russky Island, 01–04.10.2019. – 2020. – Vol. 753, iss. 5. – Chapter 4. – P. 052035. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43267983>.

3. Mikhnevich, I. V. Konstruktsionnoye reshenie i tekhnologiya bystrovozvodimogo sooruzheniya dlya primeneniya v zonakh chrezvychajnykh situatsij [Design solution and technology of a prefabricated structure for use in emergency zones] / I. V. Mikhnevich, A. V. Rybakov, S. D. Nikolenko // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashhity [Scientific and educational problems of civil protection]. – 2019. – № 1 (40). – P. 66–75.

4. Lapidus, A. Sip-technology as solution in low-rise multi-family residential buildings / A. Lapidus, Y. Ndayiragije // E3S Web of Conferences : 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM-2019. – 2019. – Vol. 97, № 06032. – P. 8.

5. Pogodin, D. A. Sistemnyj podkhod organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij v stroitel'nom proizvodstve [A systematic approach to organizational and technological solutions in the construction industry] / D. A. Pogodin // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki [BST: Building Equipment Bulletin]. – 2019. – № 5 (1017). – P. 30–31.

6. Lapidus, A. A. Identification of effective methods for assessing the risks of a construction company in conditions of uncertainty / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, Z. A. K. Alzaidi // Components of scientific and technological progress. – 2020. – № 11 (53). – P. 13–18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44481309>.

7. Zagorskaya, A. V. Primenenie metodov ehkspertnoj otsenki v nauchnom issledovanii. Neobkhodimoe kolichestvo ehkspertov [Application of expert assessment methods in scientific research. The required number of experts] / A. V. Zagorskaya, A. A. Lapidus // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – № 3. – P. 21–34. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44513275>.

8. Pogodin, D. A. Metody modelirovaniya i optimizatsii organizatsionnykh i tekhnologicheskikh reshenij v zhilishhnom stroitel'stve [Methods of modeling and optimization of organizational and technological solutions in housing construction]. / D. A. Pogodin, A. I. Abramova // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya : Sbornik dokladov pervoj natsional'noj konferentsii «Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya», Moskva, 30 sentyabrya 2020 g. [Actual problems of the construction industry and education : Collection of reports of the first national conference «Actual problems of the construction industry and education», Moscow, September 30, 2020]. – Moscow : MGSU, 2020. – P. 353–356. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44556300>.

УДК 658.2 DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_76

## Формирование организационной структуры строительной фазы крупноблочного возведения АЭС

Formation of the Organizational Structure of the Construction Phase of Large-Block Construction of NPP

**Морозенко Андрей Александрович**

Профессор, доктор технических наук, 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

Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

**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

Graduate student of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Energy Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26, creatorjl@mail.ru

**Аннотация**

В данной статье представлены результаты исследований, определяющие влияние организационных структур на срок строительства объектов комплекса АЭС при возведении крупноблочным методом. Целью данной статьи является определение применяемых организационных структур и технологий на срок строительства объектов комплекса АЭС. Исследование базируется на анализе строительных проектов, возводимых в настоящее время по современным проектам. Представлены и описаны основные функциональные блоки организационной структуры строительного проекта при крупноблочном методе возведения АЭС на этапах жизненного цикла объекта, таких как проектирование и строительство, с целью организации их рационального взаимодействия. Указаны присущие функциональным блокам строительного проекта ресурсы. Описаны основные используемые технологии и локации производств

при возведении АЭС. Приведены основные сочетания используемых данных технологий и локаций. Определены технологические, организационные и логистические решения, влияющие на формирование организационной структуры строительного проекта при крупноблочном методе возведения: количество и квалификация трудовых ресурсов, требования заказчика, помехи в работе трудовых ресурсов, количество и типы грузоподъемных механизмов, количество и удаленность промышленных производств, виды и характеристики транспортных магистралей, размеры строительной площадки и возможность создания новых производств. Дан анализ их прямого или косвенного влияния на строительный проект. Приведены соответствующие аналитические зависимости изменения параметров от степени укрупнения. Показано дальнейшее возможное развитие исследования при учете экономических факторов. Сделаны выводы о влиянии выявленных особенностей на трудозатраты возведе-

дения, срок возведения и организационную структуру проекта. **Ключевые слова:** строительный проект, организационная

**Abstract**

This article presents the results of studies that determine the influence of organizational structures on the construction period of NPP complex facilities during the construction by the large-block method. The purpose of this article is to determine the applied organizational structures and technologies for the period of construction of the NPP facilities. The study is based on an analysis of construction projects currently being built according to modern designs. The main functional blocks of the organizational structure of a construction project with a large-block method of building a nuclear power plant at the stages of the life cycle of an object, such as design and construction, are presented and described in order to organize their rational interaction. The resources inherent in the functional blocks of the construction project are indicated. The main technologies used and locations of production during the construction of nuclear power plants are described. The main combinations of these technologies and locations used are given. Technological, organizational and logisti-

**Введение**

Как было показано в исследованиях А. С. Гриценко, В. А. Дорфа, А. А. Морозенко, А. М. Осокина, Б. К. Пергаменщика, Р. Р. Темишева и других [1–6], а также в ранее опубликованных исследованиях [7–9], одним из способов снижения стоимости строительства атомных электростанций (АЭС) является сокращение сроков строительства АЭС. Снижение сроков строительства может достигаться различными способами, один из которых – применение промышленных конструкций, в частности, для возведения железобетонных конструкций реакторного здания. В настоящее время наиболее применяемыми являются сборно-монолитные конструкции (армоопалубочные блоки – армоблоки) [10; 11]. Однако они применимы не во всех случаях, а также не во всем объеме здания.

Применение промышленных конструкций в той или иной степени при возведении АЭС влияет в том числе и на организационную структуру строительного проекта на разных этапах жизненного цикла. Основное влияние применение промышленных конструкций при возведении АЭС оказывает на предпроектном, проектном этапах, а также этапе строительства (который подразделяется, в свою очередь, на подготовительный и основной). На этапы эксплуатации и вывода из эксплуатации применение промышленных конструкций оказывает наименьшее воздействие, поскольку по окончании возведения железобетонных конструкций с применением сборно-монолитной технологии их эксплуатационные характеристики практически не отличаются от железобетонных конструкций, возведенных традиционным способом. Следователь-

но, работы по эксплуатации и выводу из эксплуатации аналогичны вне зависимости от способа возведения. Таким образом, организационная структура проекта на этапах эксплуатации и вывода из эксплуатации не требует изменения.

Целью данной статьи является определение применяемых организационных структур и технологий на срок строительства объектов комплекса АЭС. Для достижения цели данного исследования требуется решить следующие задачи:

– определить структуру строительного проекта на основе современных технологий;

– рассмотреть особенности, характерные для применяемых технологий возведения железобетонных конструкций;

– выделить технологические, логистические и другие ограничения, прямо или косвенно влияющие на срок возведения.

**Материалы и методы**

Исследование базируется на анализе строительных проектов, возводимых в настоящее время по современным проектам. Основными рассматриваемыми проектами являются российские проекты АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ с водо-водяными реакторами мощностью 1200 МВт. Рассматривались примеры возведения данных станций как на территории России, так и за рубежом.

**Результаты**

Под организационной структурой строительного проекта будем подразумевать структуру, состоящую из следующих основных функциональных блоков:

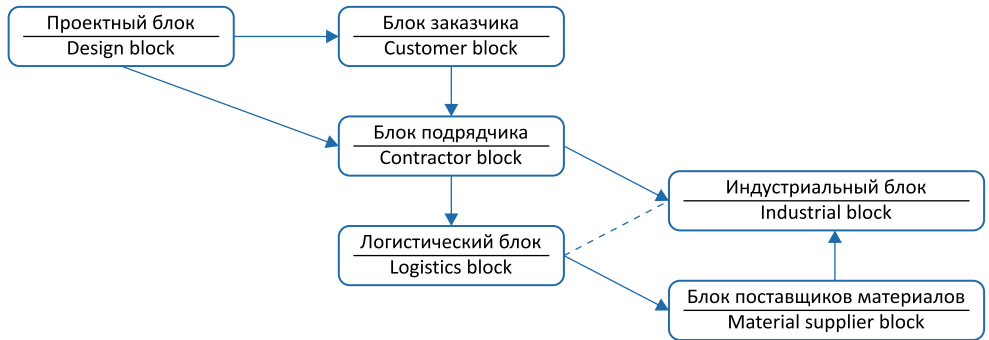


Рис. 1. Организационная структура строительного проекта во взаимосвязи с функциональными блоками  
Fig. 1. Organizational structure of a construction project in relation to functional blocks

- Блок заказчика;
- Проектный блок;
- Блок подрядчика;
- Блок поставщика материалов;
- Индустриальный блок;
- Логистический блок.

Организационная структура строительного проекта со взаимосвязями между функциональными блоками представлена на рисунке 1.

Упрощенно будем считать присущими функциональным блокам строительного проекта следующие ресурсы:

- Трудовые человеческие ресурсы;
- Монтажные механизмы;
- Транспорт;
- Производственные площадки.

Возведение сборно-монолитных конструкций возможно из блоков разного размера. Эти блоки могут изготавливаться как силами подрядчика на производствах, расположенных на строительно-монтажной базе, так и силами индустриального блока на производствах, расположенных вне строительной площадки. Возможен вариант возведения, когда на производстве (силами подрядчика или индустриального блока) производятся фрагменты армоблоков, которые доставляются на место монтажа по частям и проходят укрупнительную сборку вблизи возводимого объекта.

Традиционная технология возведения железобетонных конструкций также может применяться при возведении зданий и сооружений комплекса АЭС. Под традиционной технологией понимаем армирование железобетонной конструкции отдельными стержнями непосредственно на объекте, а также укладку бетонной смеси в инвентарной опалубке.

При возведении объектов на строительной площадке, как правило, используется совокупность традиционного и крупноблочного строительства (строительства с при-

менением армоблоков). Также возможны различные сочетания используемых технологий и производств при использовании крупноблочного строительства. Основные возможные сочетания представлены на рисунке 2.

Каждому сочетанию соответствует своя организационная структура, которая определяется технологией строительного производства.

От традиционных организационных структур данная ситуационная структура отличается наличием в проектном и индустриальном блоках расчетного и специального производственных подразделений, парирующих возможные риски, возникающие при реализации проекта за рубежом.

Организационная структура строительного проекта формируется на применяемой технологии, основанной на перераспределении трудозатрат между участниками строительного проекта. Таким образом, на формирование организационной структуры влияют различные факторы, возникающие на строительной площадке и вне ее. Среди них:

- Количество трудовых ресурсов;
- Квалификация трудовых ресурсов;
- Требования заказчика;
- Помехи в работе трудовых ресурсов;
- Количество грузоподъемных механизмов;
- Типы используемых грузоподъемных механизмов;
- Количество индустриальных производств;
- Удаленность индустриальных производств;
- Виды транспортных магистралей;
- Характеристики транспортных магистралей;
- Размеры строительной площадки;
- Возможность создания новых производств.

Срок строительства складывается из продолжительности подготовительного этапа и основного этапа строительства. На продолжительность подготовительного этапа будет влиять количество зданий и сооружений стро-

ительно-монтажной базы, размеры строительной площадки, количество площадок укрупнительной сборки, количество внутриплощадочных дорог и т. п. Продолжительность основного периода строительства определяется продолжительностями разного вида работ (бетонных, монтажных, электротехнических, пусконаладочных и пр.). Работы подготовительного и основного периодов производятся с частичным и полным запараллеливанием, поэтому невозможно определить общий срок строительства как алгебраическую сумму продолжительностей отдельных работ каждого из периодов. Поэтому, говоря о сроках строительства АЭС, будем акцентироваться на сроке бетонных работ на реакторном здании. При сокращении срока производства бетонных работ на реакторном здании можно говорить и приблизительно оценить сокращение срока строительства всего комплекса зданий и сооружений АЭС, поскольку реакторное здание находится на критическом пути.

При определении срока производства работ можем принять усредненную зависимость от трудозатрат, при которой принимается среднее количество трудовых ресурсов, задействованное при работах без учета распределения по длине данной работы:

$$T = \frac{C}{k_t \cdot n_{\text{сред}}}, \quad (1)$$

где  $T$  – общий срок производства бетонных работ, сут;  $C$  – общие трудозатраты на бетонные работы, чел.-ч;  $n_{\text{сред}}$  – усредненное количество трудовых ресурсов, чел.;  $k_t$  – коэффициент реального рабочего времени.

Коэффициент реального рабочего времени представляет собой отношение времени рабочих смен, умноженное на их количество, к суточному времени:

$$k_t = \frac{t_{\text{смены}} \cdot n_{\text{смен}}}{24 \text{ ч}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{смены}}$  – продолжительность смены (рабочее время), ч;  $n_{\text{смен}}$  – количество смен в сутках, сут<sup>-1</sup>.

При использовании различных методов возведения железобетонных конструкций реакторного здания (например, традиционного и крупноблочного) общая трудоемкость определяется как арифметическая сумма трудоемкостей различных методов возведения:

$$C = \sum_m C_m^{\text{CS}}, \quad (3)$$

где  $C_m^{\text{CS}}$  – суммарные трудозатраты на возведение реакторного здания методом  $m$ , производимые непосредственно на площадке, чел.-ч.

Для традиционного метода возведения суммарные трудозатраты на возведение реакторного здания, производимые непосредственно на площадке, будут равняться общим суммарным трудозатратам, поскольку на площадке происходят все технологические процессы по возведению железобетонных конструкций. Для крупноблочного метода непосредственно на строительной площадке производится только монтаж изготовленных и укрупненных армоблоков. Поэтому в суммарных трудозатратах  $C_m^{\text{CS}}$  не будут учитываться трудозатраты на индустриальное изготовление армоблоков и их предмонтажное укрупнение.

Таким образом, перераспределение трудозатрат между различными методами возведения будет влиять на срок производства бетонных работ и общий срок возведения АЭС в целом.

Квалификация трудовых ресурсов влияет на перечень возможных выполняемых работ. Для работ по монтажу армоблоков требуется большое количество монтажников-арматурщиков 3-го, 4-го и 5-го разрядов, а также сварщики 5-го разряда (особенно большая потребность в сварщиках при использовании армоблоков с металлической несъемной опалубкой). Также высокая квалификация предъявляется к рабочим на заводских производствах: требуются монтажники 5-го и 6-го разрядов, стропальщики и слесари 5-го разряда, и сварщики 6-го разряда. Как видно, средняя разрядность рабочих при строительстве крупноблочным методом очень высока, что является проблемой.

Особо остро данная проблема проявляется при реализации строительства АЭС за рубежом в странах с невысоким уровнем экономического развития. Квалификация местных кадров крайне низка. Поэтому приходится либо организовывать обучающие центры, либо перевозить большой контингент рабочих из России. В первом случае на обучение рабочих навыкам соответствующей квалификации требуется достаточно большое количество временных ресурсов, что увеличивает общий срок строительства. Доставка рабочих из России – это дополнительные расходы на организацию транспортировки, проживания и фонд оплаты труда (который будет выше, чем при использовании местного населения). Однако в этом случае менее критична проблема общих сроков реализации проекта.

Но требуется также учитывать, что использование местной рабочей силы может быть одним из условий страны-заказчика. При этом требуемая доля местного контингента в общих трудовых ресурсах по контрактным обязательствам может достигать 70–80 %. Это может стать решающим при выборе метода возведения строительных конструкций. Для реализации традиционного метода возведения железобетонных конструкций требуемый средний разряд рабочих ниже, а сроки обучения навыкам короче. Также требуется куда меньшее количество сварщиков, особенно высококвалифицированных.

Как было показано в формуле (1), общая продолжительность строительства обратно пропорциональна количеству рабочих, одновременно выполняющих свои функции на строительной площадке. Однако, как было показано выше, общая численность кадров соответствующей квалификации на рынке труда ограничена, из-за чего на строительной площадке не будет достаточного количества трудовых ресурсов, чтобы выполнить требуемую работу в срок. В таком случае продолжительность строительства будет возрастать прямо пропорционально степени снижения доступных трудовых ресурсов.

Еще одним ограничением численности трудовых ресурсов может стать высокая насыщенность фронта работ трудовыми ресурсами. При большом количестве находящихся на одном объекте рабочие создают друг другу помехи. Среди основных факторов снижения производительности труда – недостаточная площадь для нормальной работы, снижение мотивации, снижение качества работы, ухудшение санитарно-гигиенических условий труда, психологический эффект и прочее. Рациональное количество трудовых ресурсов вычисляется по формуле, выведенной В. А. Ундозеровым (4) [12–14]:

$$n_{\text{опт}} = C_1 - \sqrt{C_1 \cdot (C_1 - n_{\text{max}})}, \quad (4)$$

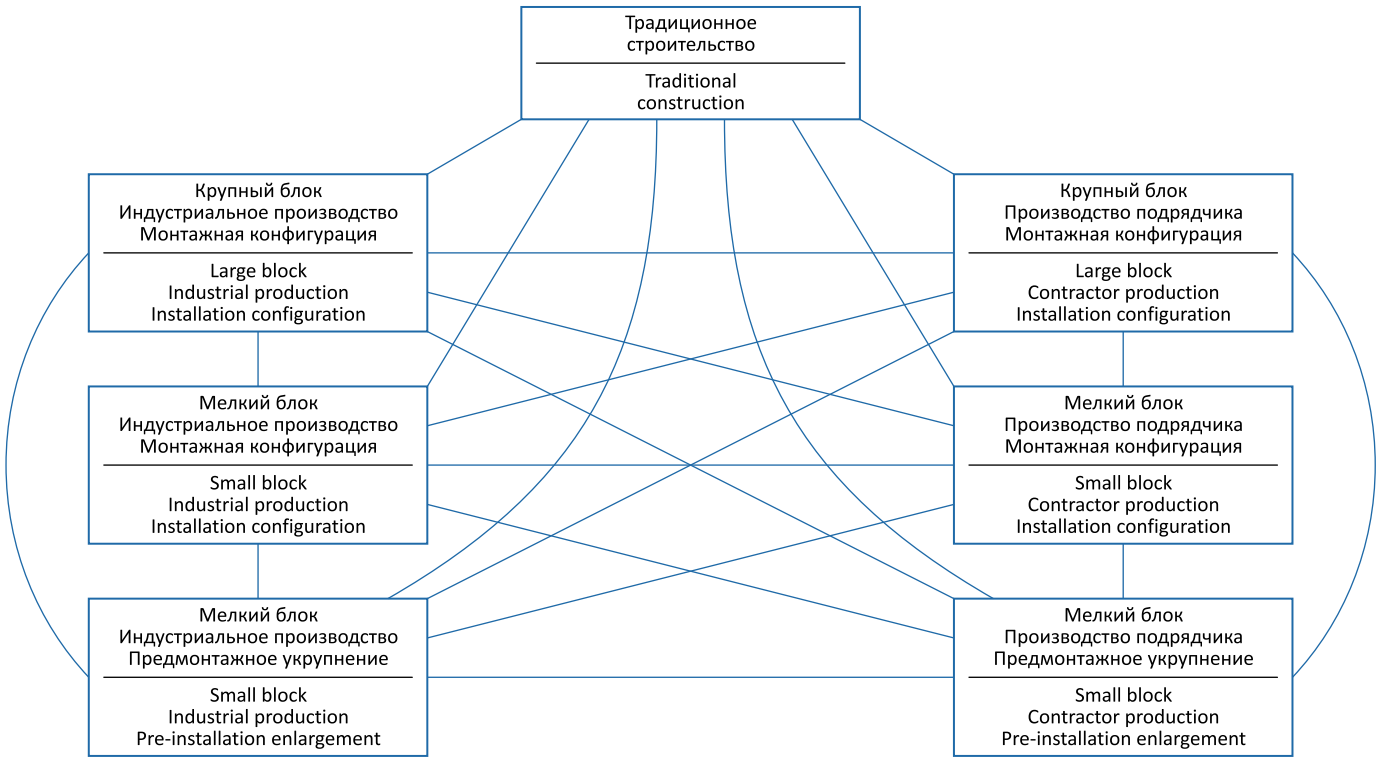


Рис. 2. Основные сочетания используемых технологий и локаций производств при возведении АЭС  
Fig. 2. The main combinations of technologies used and production locations in the construction of nuclear power plants

где  $n_{opt}$  – рациональное количество трудовых ресурсов, чел.;  $C_I$  – параметр, чел.;  $n_{max}$  – максимальная численность рабочих, при которой практически невозможно выполнение работы, чел.

Из формулы (4) явно видно, что при высоком насыщении фронта работ трудовыми ресурсами формула (3) несправедлива и должна быть модифицирована с учетом формулы (4). Однако при оптимальной численности рабочих, одновременно задействованных при возведении объекта, можно использовать пропорциональность суммарной выработки количеству рабочих, и формулу (3) возможно применять.

Предприятия строительной индустрии, где изготавливаются армоблоки, могут находиться как в непосредственной близости от строительной площадки, так и на удалении от нее. В непосредственной близости от строительной площадки находятся предприятия, которые специально возводят для строительства АЭС. Они могут располагаться на территории строительно-монтажной базы. В таком случае ограничения на транспортировку минимальны. Поскольку транспортировка производится на небольшое расстояние, возможно использование специальных платформ для перевозки крупногабаритных объектов [15]. Однако недостатком возведения предприятий строительной индустрии в непосредственной близости к площадке является то, что требуется окупить затраты на строительство этих предприятий за цикл возведения всех энергоблоков станции, поскольку в дальнейшем данное предприятие может оказаться не востребуемым для нужд промышленного и гражданского строительства. Тогда необходима оценка экономической эффективности сооружения предприятий только на период возведения АЭС.

При учете логистических затрат труда общие трудозатраты возведения железобетонных конструкций в армоблоках превысят трудозатраты при традиционном возведении. Трудозатраты логистики будут определяться, в том числе, удаленностью промышленного блока от блока подрядчика.

Возможен вариант использования существующих промышленных производств для нужд возведения АЭС. Варианты транспортировки армоблоков сильно зависят от расположения предприятий строительной индустрии относительно площадки строительства станции, а также расположения самой площадки строительства, особенно в рамках приближенности ее к судоходным акваториям. При наличии выхода к судоходным рекам, озерам, морям или океанам максимальный габарит армоблоков также может быть достаточно большим. В данном случае габарит армоблоков должен определяться наличием соответствующих грузоподъемных механизмов и инфраструктуры портов. При отсутствии доступа к судоходным путям используются два основных вида транспорта – железнодорожный и автомобильный.

Максимальным габаритом подвижного состава, принятым на территории Российской Федерации, согласно ГОСТ 9238, является габарит Т, который имеет 5.3 м в высоту и 3.75 м в ширину. При высоте уровня пола платформы 1.3...1.4 м получим максимальный поперечный габарит груза 3.90 х 3.75 м. Максимальная длина стандартных железнодорожных платформ составляет 18.4 м (4-осная платформа модели 13-926). Таким образом, максималь-

ный объем перевозимого армоблока будет равняться  $3.9 \cdot 18.4 \cdot \delta_k = 71.76 \cdot \delta_k$  (где  $\delta_k$  – средняя толщина  $k$ -ой железобетонной конструкции, м). Однако при толщине конструкции более 3.9 м максимальный объем фрагмента будет равен  $3.9 \cdot 3.75 \cdot \delta_k = 14.63 \cdot \delta_k$ . Ограничение по массе армоблока – 73 т. Удельную массу армоблоков в различных конструкциях определим на основе масс армирования, представленных в таблице 1 в виде среднего расхода арматуры, и масс несъемной опалубки и ферм, указанных в тексте ранее:

$$m_k = m_{kr} + m_f + \frac{m_f}{\delta_k}, \quad (5)$$

где  $m_k$  – удельная масса армоблока на 1 м³  $k$ -ой железобетонной конструкции, кг/м³;  $m_{kr}$  – средний расход арматуры на 1 м³  $k$ -ой железобетонной конструкции, кг/м³;  $m_f$  – удельная масса ферм на 1 м³ железобетонной конструкции, кг/м³;  $m_f$  – удельная масса 1 м² несъемной опалубки, кг/м²;  $\delta_k$  – средняя толщина  $k$ -ой железобетонной конструкции, м.

На основе удельных масс армоблоков определим предельные объемы перевозимых фрагментов армоблоков, исходя из грузоподъемности платформ:

$$V_f^{lim} = \frac{L}{m_k}, \quad (6)$$

где  $V_f^{lim}$  – предельный по массе объем перевозимого фрагмента армоблока, м³;  $L$  – грузоподъемность, кг.

Еще одним фактором, влияющим на крупноблочное возведение АЭС, является схема механизации монтажа. Важным являются как количество, так и грузоподъемность кранового оборудования. Классическая схема механизации для реакторного здания предполагает использование 4 башенных кранов, расположенных по 4 сторонам реакторного здания, и 1 тяжеловесный гусеничный кран (как правило, грузоподъемностью 750–1150 т). Теоретически возможно увеличение числа кранов до 8 башенных и 4 гусеничных на одно реакторное здание. Однако это требует дополнительного исследования на выявление создания взаимных помех при совместной работе кранов.

Для определения потребности в крановом оборудовании необходимо определить их технические возможности для монтажа армоблоков. Объемы бетона, ограничиваемые армоблоками, монтируемыми с помощью башенных кранов, вычисляются по формуле:

$$V_k^{lim} = \frac{L}{m_k}, \quad (7)$$

где  $V_k^{lim}$  – предельный объем бетона, ограничиваемого монтируемым армоблоком, м³.

Если величина армоблоков, доставляемых на строительную площадку, в 2 и более раз ниже, чем предельный объем монтируемого краном армоблока, возможно применение укрупнительной сборки. Количество фрагментов разукрупнения монтажного армоблока выглядит следующим образом:

$$n_f = \frac{V_k^{lim}}{V_f^{lim}}, \quad (8)$$

где  $n_f$  – количество фрагментов армоблока  $k$ -ой железобетонной конструкции.

Для гусеничных кранов степень разукрупнения определяется моделью крана. Для тяжеловесных гусеничных кранов ограничения по объему бетона, укладываемого в монтируемый армоблок, определяются в первую очередь устойчивостью армоблока заданных габаритов на монтаже. Это задача отдельного исследования.

Возможность и объемы использования укрупнительной сборки определяются характеристиками строительных площадок. Как правило, для возведения АЭС отводится площадка на удалении от существующей застройки, таким образом, стесненные условия строительства отсутствуют. Однако здания и сооружения комплекса АЭС возводятся параллельно, и физические ограничения могут возникать из-за большой плотности расположения зданий и сооружений на генеральном плане АЭС.

Потребность в пространстве площадок укрупнительной сборки и в грузоподъемных механизмах будем определять на 1 чел.-ч трудоемкости укрупнительной сборки. Формула определения удельной ресурсоемкости для каждого параметра будет записываться в следующем виде:

$$r_i = \frac{Q_i}{n_{чел} \cdot t_{смены} \cdot n_{смен}}, \quad (9)$$

где  $r_i$  – удельная ресурсоемкость  $i$ -го параметра;  $Q_i$  – количественная мера  $i$ -го параметра;  $n_{чел}$  – количество рабочих в бригаде в 1 смену, чел.

#### Обсуждение

Как видно из полученных выше результатов, на формирование организационной структуры строительства влияет множество факторов, многие из которых частично или полностью связаны между собой. Однако учет данных факторов должен производиться не только на основании технологических, организационных и логистических особенностей. Также важную роль в формировании организационной структуры строительного проекта будут нести экономические факторы. Однако учет экономических факторов – задача отдельного исследования, поскольку

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко, А. С. Технология крупноблочного монтажа несъемной опалубки реакторных отделений АЭС : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08 / Гриценко Александр Сергеевич ; КИСИ – Киев, 1990. – 22 с. – Текст непосредственный.
2. Дорф, В. А. Ускорение для АЭС / В. А. Дорф, Р. О. Красновский // Энергетика и промышленность России. – 2010. – № 4.
3. Морозенко, А. А. Повышение эффективности организационно-технологических решений при строительстве АЭС на основе современного российского и зарубежного опыта / А. А. Морозенко, И. Е. Воронков // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 10. – С. 74–79.
4. Осокин, А. М. Проект организации строительства ВВЭР-ТОИ / А. М. Осокин // Росэнергоатом. – 2012. – № 12.
5. Пергаменщик, Б. К. Изменение величины трудозатрат при укрупнении специальных конструкций АЭС / Б. К. Пергаменщик, Р. Р. Темишев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 1. – С. 138–143.
6. Темишев, Р. Р. Прогнозирование трудовых затрат при монтаже строительных конструкций АЭС : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Темишев Руслан Рамзанович ; МГСУ. – Москва, 1995. – 20 с. – Текст непосредственный.
7. Морозенко, А. А. Организационно-технологические аспекты крупноблочного возведения атомных электростанций / А. А. Морозенко, А. А. Шашков // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 5 (95). – С. 28–33.
8. Morozenko, A. Resource assessment of large-block construction

стоимость процессов по производству, транспортировке, укрупнительной сборке и монтажу армоблоков изменяется не линейно, а в зависимости от места строительства, поставщиков материалов, условий площадки и т. п. Учет экономических факторов в совокупности с приведенными в данной статье особенностями поможет еще более точно сформировать строительный проект на предпроектном этапе жизненного цикла АЭС.

#### Заключение

1. Перераспределение трудозатрат между различными методами возведения будет влиять на срок производства бетонных работ и общий срок возведения АЭС в целом.

2. При возведении АЭС крупноблочным методом возникает ряд граничных условий, которые требуется учитывать при формировании организационной структуры строительного проекта. Определяющим является срок возведения проекта. Важными граничными условиями являются условия, основанные на ресурсах блоков проекта и логистических ограничениях.

3. Выявленные ограничения для размеров блоков, транспортируемых различным транспортом, позволяют определить целесообразность использования удаленного производства без использования транспорта для перевозки негабаритных изделий.

4. Дополнительные трудозатраты на перевозку и укрупнительную сборку армоблоков суммируются с трудозатратами на изготовление и монтаж армоблоков, увеличивая тем самым общие трудозатраты на крупноблочное возведение. Однако трудозатраты непосредственно на стройплощадке остаются неизменными и более низкими, чем трудозатраты традиционного способа возведения.

5. С помощью учета вышеперечисленных факторов целесообразно сформировать организационную структуру строительного проекта, отвечающую требованиям выбранной технологии возведения.

- of NPP / A. Morozenko, A. Shashkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869 (6). – P. 062025.
9. 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.
  10. Дорф, В. А. Сборно-монолитная технология строительства зданий с несъемной сталефибробетонной опалубкой / В. А. Дорф, Р. О. Красновский, И. С. Кроль, Д. Е. Капустин // Север России: стратегии и перспективы развития : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Сургут, 27 мая 2016 года. – Сургут : Сургутский государственный университет, 2016. – Т. 2. – С. 77–82.
  11. Зимин, С. С. Конструктивные и технологические решения объемных армоблоков с несъемной несущей сталефибробетонной опалубкой / С. С. Зимин, Н. С. Алексеев // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 11. – С. 193–203.
  12. Ундозеров, В. А. Планирование строительных процессов в условиях высокого насыщения фронта работ трудовыми ресурсами / В. А. Ундозеров, А. А. Шашков, Д. Р. Гаймалов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 7 (97). – С. 30–34.
  13. Ундозеров, В. А. Моделирование снижения производительности труда при увеличении насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами / В. А. Ундозеров // Русский инженер. – 2019. – № 1. – С. 10–11.
  14. Ундозеров, В. А. Организация логистической информации

онной системы строительства объектов со сложной инфраструктурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Ундозеров Вадим Андреевич ; НИУ МГСУ. – Москва, 2019. – 166 с. – Текст непосредственный.

REFERENCES

1. Gricenko, A. S. Tekhnologiya krupnoblochnogo montazha nes'emnoj opalubki reaktornykh otdelenij AES [Technology of large-block installation of non-removable formwork of reactor compartments of nuclear power plants] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08 / Gricenko Aleksandr Sergeevich ; KISI. – Kiev, 1990. – 22 p.

2. Dorf, V. A. Uskorenie dlya AES [Acceleration for NPP] / V. A. Dorf, R. O. Krasnovskij // Energetika i promyshlennost' Rossii [Energy and industry of Russia]. – 2010. – № 4.

3. Morozenko, A. A. Povyshenie effektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve AES 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.

4. Osokin, A. M. Proekt organizatsii stroitel'stva VVER-TOI [VVER-TOI construction organization project] / A. M. Osokin // Rosenergoatom. – 2012. – № 12.

5. Pergamenschchik, B. K. Izmenenie velichiny trudozatrata pri ukрупnenii spetsial'nykh konstruksij AES [Change in the amount of labor costs during the consolidation of special NPP structures] / B. K. Pergamenschchik, R. R. Temishev // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2012. – № 1. – P. 138–143.

6. Temishev, R. R. Prognozirovaniye trudovykh zatrat pri montazhe stroitel'nykh konstruksij AES [Change in the value of labor costs during the enlargement of special structures of nuclear power plants] : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk [abstract of the dissertation ... candidate of Economic Sciences] : 08.00.05 / Temishev Rustan Ramzanovich ; MGSU. – Moscow, 1995. – 20 p.

7. Morozenko, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskie aspekty krupnoblochnogo vozvedeniya atomnykh elektrostantsij [Organizational and technological aspects of large-scale 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.

8. 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.

9. 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.

15. Холопов, А. А. Транспортировка и монтаж укрупненных элементов АЭС / А. А. Холопов, К. А. Дудкевич, Б. К. Пергаменщик // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 266–274.

10. Dorf, V. A. Sbornno-monolitnaya tekhnologiya stroitel'stva zdaniy s nes'emnoj stalefibrobetonnoj opalubkoj [Prefabricated cast-in-place technology for the construction of buildings with non-removable steel-fiber-reinforced concrete formwork] / V. A. Dorf, R. O. Krasnovskij, I. S. Krol, D. E. Kapustin // Sever Rossii: strategii i perspektivy razvitiya : Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Surgut, 27 maya 2016 goda [North of Russia: strategies and development prospects : Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Surgut, May 27, 2016]. – Surgut : Surgutskij gosudarstvennyj universitet [Surgut State University], 2016. – Vol. 2. – P. 77–82.

11. Zimin, S. S. Konstruktivnye i tekhnologicheskie resheniya ob'emnykh armoblokov s nes'emnoj nesushchej stalefibrobetonnoj opalubkoj [Structural and technological solutions for bulk reinforced concrete blocks with non-removable load-bearing steel-fiber-reinforced concrete formwork] / S. S. Zimin, N. S. Alekseev // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii [Modern scientific research and innovation]. – 2015. – № 11. – P. 193–203.

12. Undozero, V. A. Planirovaniye stroitel'nykh processov v usloviyakh vysokogo nasyshcheniya fronta rabot trudovymi resursami [Planning of construction processes in conditions of high saturation of the work front with labor resources] / V. A. Undozero, A. A. Shashkov, D. R. Gajmalov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – № 7 (97). – P. 30–34.

13. Undozero, V. A. Modelirovaniye snizheniya proizvoditel'nosti truda pri uvelichenii nasyshchennosti fronta rabot trudovymi resursami [Simulation of a decrease in labor productivity with an increase in the saturation of the front of work with labor resources] / V. A. Undozero // Russkij inzhener [Russian engineer]. – 2019. – № 1. – P. 10–11.

14. Undozero, V. A. Organizatsiya logisticheskoy informatsionnoy sistemy stroitel'stva ob'ektov so slozhnoj infrastrukturoy [Organization of a logistics information system for the construction of facilities with complex infrastructure] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [abstract of the dissertation ... Candidate of Technical Sciences] : 05.02.22 / Undozero Vadim Andreevich ; NRU MGSU. – Moscow, 2019. – 166 p.

15. Kholopov, A. A. Transportirovka i montazh ukрупnennykh elementov AES [Transportation and installation of enlarged elements of NPP] / A. A. Kholopov, K. A. Dudkevich, B. K. Pergamenschchik // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2010. – № 4. – P. 266–274.

Волков Роман Вячеславович

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте», первый проректор ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), Россия, 127994, ГСП-4, Москва, улица Образцова, 9, строение 9, volkov-su4@mail.ru

Volkov Roman Vyacheslavovich

Ph. D. in economics, Associate Professor of the Department «Buildings and Structures in Transport», First Vice-Rector of the Russian University of Transport (MIIT), Russia, 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova ulitsa, 9, p. 9, volkov-su4@mail.ru

Каширцев Михаил Сергеевич

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

Kashirtsev Mikhail Sergeevich

Graduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl shosse, 26, Kashirtsev.mikhail@mail.ru

Аннотация

Статья написана в рамках кандидатской диссертации, связанной с организационно-техническими мероприятиями при осуществлении научно-технического сопровождения строительства высотных зданий. В настоящей статье описывается процесс определения эффективности научно-технического сопровождения при строительстве уникальных высотных зданий [1]. В связи с тем, что методика ведения научно-технического сопровождения строительства не закреплена в нормативных документах Российской Федерации, часто процесс проведения научно-технического сопровождения на объектах строительства носит формальный характер и никак не отражается на сокращении сроков строительства, снижении стоимости, уменьшении рисков и других показателей [2]. Для того чтобы упорядочить процесс ведения научно-технического сопровождения строительства, в данной работе идет разработка методики формирования списка организационно-технических мероприятий, имеющих списки критериев для возможности применения данных мероприятий для различных уникальных

Abstract

The article was written as part of a Ph. D. thesis related to organizational and technical measures in the implementation of scientific and technical support for the construction of high-rise buildings. This article describes the process of determining the effectiveness of scientific and technical support in the construction of unique high-rise buildings. Due to the fact that the methodology for conducting scientific and technical support for construction is not fixed in the regulatory documents of the Russian Federation, the process of conducting scientific and technical support at construction sites is often formal and does not affect the reduction of construction time, cost reduction, risk reduction, etc. indicators. In order to streamline the process of conducting scientific and technical support for construction, this work is developing a methodology for generating a list of organizational and technical measures that have lists of criteria for the possibility of

Введение

В работе принято следующее определение эффективности научно-технического сопровождения строительства уникальных высотных зданий – это оценка, показывающая насколько успешно ведение научно-технического сопровождения строительства на объекте [6]. Эффективность научно-технического сопровождения на объекте строительства связана с сокращением сроков производства работ, увеличением технологичности производства, сокращением стоимости производства работ, а также уменьшением рисков в процессе производства работ [7]. В рамках диссертационной работы идет разработка параметрической модели, при применении которой можно будет формировать программу организационно-технических мероприятий, проводимых при научно-техническом сопровождении строительства (НТСС) для каждого

высотных зданий [3]. В связи с тем, что рассматриваются объекты уникального высотного строительства, к каждому объекту должны быть применены индивидуальные организационно-технические мероприятия, учитывающие различные геологические, экологические, а также природные условия у объектов [4]. Также в статье выполнен подбор оптимального количества экспертов для проведения опроса. Методом экспертных оценок критериям присваиваются весовые показатели для дальнейшего математического расчета. В работе представлен расчет эффективности ведения научно-технического сопровождения, данный расчет позволяет определить, насколько эффективно будет научно-техническое сопровождение на объекте в случае проведения тех или иных организационно-технических мероприятий [5].

**Ключевые слова:** научно-техническое сопровождение строительства, проектно-исследовательские работы, эффективность научно-технического сопровождения, автоматизированная параметрическая модель, высотные здания и сооружения, уникальные здания и сооружения.

applying these measures for various unique high-rise buildings. Due to the fact that unique high-rise construction objects are considered, individual organizational and technical measures should be applied to each object, taking into account various geological, environmental, and natural conditions at the objects. The article also selects the optimal number of experts for the survey. By the method of expert assessments, weight indicators are assigned to the criteria for further mathematical calculation. The paper presents a calculation of the effectiveness of conducting scientific and technical support, this calculation allows you to determine how effective scientific and technical support will be at the facility in the event of certain organizational and technical measures.

**Keywords:** scientific and technical support of construction, design and survey work, efficiency of scientific and technical support, automated parametric model, high-rise buildings and structures, unique buildings and structures.

конкретного объекта, а также повысить эффективность строительного производства за счет предотвращения неучтенных показателей во время проектирования.

Уникальность данной модели заключается в том, что она подстраивается под условия любого объекта высотного строительства. В результате можно будет смоделировать комплекс организационно-технических мероприятий для осуществления НТСС для каждого уникального объекта.

На рисунке 1 представлена методика расчета эффективности, где:

$P_n$  – параметр (организационно-техническое мероприятие);

$C_n$  – критерий (характеристика объекта строительства);

$W$  – весовой показатель.

УДК 624.05

DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_82

Методика расчета эффективности организационно-технических мероприятий при осуществлении научно-технического сопровождения строительства высотных зданий

Methodology for Calculating the Effectiveness of the Organizational and Technical Purpose of Scientific and Technical Support for the Construction of High-Rise Buildings

Топчий Дмитрий Владимирович

Доцент, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, dvtopchiy0405@gmail.com

Topchy Dmitry Vladimirovich

Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl shosse, 26, dvtopchiy0405@gmail.com



Рис. 1. Методика расчета эффективности  
Fig. 1. Methodology for calculating efficiency

В списке представлены тридцать организационно-технических мероприятий, влияющих на улучшение процесса строительства. Организационно-технические мероприятия в данной работе представляют собой методику проведения научно-технического сопровождения строительства, составляемую на основе нормативных документов, опыта строительства и проектирования уникальных высотных зданий как в Российской Федерации, так и за рубежом. Методика будет содержать список организационно-технических мероприятий, при выполнении которых будет достигаться сокращение сроков строительства, повышение производительности, снижение рисков возникновения внештатных ситуаций, повышение безопасности процесса производства работ. Данные организационно-технические мероприятия в работе называются параметрами. Каждый параметр имеет критерий. Критерий представляет собой характеристику объекта строительства, и у каждого критерия сформирован весовой

показатель от 0,1 до 0,5 с шагом 0,1 для возможности проведения математического расчета эффективности.

#### Материалы и методы

Для формирования весовых показателей проведен экспертный опрос, в котором экспертам было предложено оценить важность критерия по шкале от наиболее важного к наименее важному.

Эксперты были поделены на две группы для повышения достаточности исследования по следующему принципу.

Первая группа: эксперты, ведущие строительство (заказчики строительства, технические заказчики, генеральные подрядчики).

Вторая группа: эксперты, разрабатывающие проект уникального высотного здания (генеральные проектировщики, изыскатели и организации, ведущие техническое обследование).

Требования к экспертам 1 группы:

- 1) нахождение в реестре НОСТРОЙ;
- 2) завершение не менее одного проекта по строительству уникального высотного здания в должности не ниже руководителя проекта.

Требования к экспертам 2 группы:

- 1) нахождение в реестре НОПРИЗ;
- 2) завершение не менее одного проекта по строительству уникального высотного здания в должности не ниже руководителя проектной группы.

Минимально необходимое количество экспертов для проведения априорного ранжирования определено исходя из чувствительности критерия Пирсона  $\chi^2_p > \chi^2_T$ .

В результате математических преобразований сформирована окончательная формула:

$$m > \frac{2\chi^2_T}{(n-1)}, \quad (1)$$

где  $n = 5$  (максимальное значение объектов априорного ранжирования).

В результате расчета минимально необходимое количество экспертов = 7 экспертов.

Экспертам было предложено расставить баллы к каждому критерию параметров в зависимости от важности критерия по возрастанию от наименее важного к наиболее важному.

У каждого из тридцати параметров имеется от двух до пяти критериев, в связи с этим перед экспертами стояла задача присвоить критериям баллы от 1 до 5.

Для формирования анкеты опросника был использован интернет-ресурс [www.surveio.com](http://www.surveio.com).

Пример анкеты опросника представлен на рисунке 2.

В результате на основании экспертной оценки были выведены весовые показатели у критериев в зависимости от их важности при ведении научно-технического сопровождения строительства уникальных высотных зданий [8].

Для возможности ведения математического расчета, а также в связи с тем, что у тридцати параметров количество критериев варьируется от трех до пяти, весовые показатели имеют значения от 0,1 до 0,5 с шагом 0,1.

Также перед экспертами была поставлена следующая задача: оценить, при каких весовых показателях у критериев выполнение параметра на объекте в рамках научно-технического сопровождения строительства будет являться необходимым, а при каких – выполнение параметра не отразится на повышении эффективности работы [9].

В результате были получены следующие значения.

При весовых показателях критерия 0,1 и 0,2 выполнение данного параметра не скажется на увеличении эффективности ведения работы.

При весовых показателях 0,3, 0,4 и 0,5 выполнение данного параметра необходимо и влияет на увеличение эффективности при проведении научно-технического сопровождения строительства.

В результате параметры получают значения выполнения – это значения, при которых организационно-технические мероприятия параметра либо выполняются и имеют показатель 1, либо не выполняются и имеют показатель 0.

Параметр, имеющий значение критерия от 0,1 до 0,2, получит значение выполнения равное 0 (организационно-технические мероприятия данного параметра могут не выполняться).

Если параметр имеет значение критерия от 0,3 до 0,5,

то значение выполнения будет равно 1 (организационно-технические мероприятия данного параметра обязательны к выполнению).

#### Результаты

Проведем расчет эффективности для следующего параметра: «геотехнический мониторинг грунтовых масс за контуром подпорных стен».

Параметр имеет критерий «категория сложности инженерно-геологических условий», имеющий три значения:

- а) I категория;
- б) II категория;
- в) III категория.

На основании экспертного опроса весовые показатели распределены следующим образом:

- а) I категория имеет весовой показатель равный 0,1;
- б) II категория имеет весовой показатель равный 0,3;
- в) III категория имеет весовой показатель равный 0,5.

На исследуемом объекте категория сложности инженерно-геологических условий I, в связи с чем значение критерия равно 0,1 и значение выполнения для данного параметра будет равно 0. Для дальнейшего расчета весовой показатель 0,1 умножается на присвоенное значение выполнения 0, после умножения получено значение 0 для данного параметра.

В случае если бы на объекте была II категория сложности, то весовой показатель параметра был бы равен 0,3 и присвоенное значение выполнения равнялось бы 1 (организационно-технические мероприятия необходимы к выполнению). В результате расчета, умножив 0,3 на 1, получили бы значение 0,3.

Данный расчет должен быть проведен для каждого из параметров, и в результате суммарное значение с преобразованием в проценты покажет, какой процент выполнения организационно-технических мероприятий должен быть достигнут на объекте для достижения эффективности [10].

#### Заключение

По результатам проведенной работы были достигнуты следующие поставленные задачи:

1. Подобран оптимальный состав экспертов для составления опроса.
2. В результате проведенного экспертного опроса присвоены весовые показатели критериям параметров.
3. Представлен расчет эффективности научно-технического сопровождения на объекте уникального высотного строительства.

Рис. 2. Пример анкеты опросника  
Fig. 2. An example of a questionnaire

Москва, 04–07 марта 2019 года. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 1224–1226.

6. Топчий, Д. В. Научно-техническое сопровождение строительства и проектирования как дополнительный элемент квалиметрической модели обеспечения качества готовой строительной продукции / Д. В. Топчий, А. Ю. Юргайтис, М. Н. Данилочкин // Технологии и организация строительного производства. – 2018. – № 2. – С. 1–5.
7. Лapidus, А. А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта / А. А. Лapidus // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 11 (134). – С. 1428–1437.

#### REFERENCES

1. Posobie po nauchno-tekhnicheskomu soprovozhdeniyu i monitoringu stroyashhikh zdaniy i sooruzhenij, v tom chisle bol'sheproletnykh, vysotnykh i unikal'nykh : MRDS 02 08 [Manual on scientific and technical support and monitoring of buildings and structures under construction, including large-span, high-rise and unique ones : MRDS 02-08] : rekomendovano Protokolom soveshchaniya po voprosu razrabotki normativov po vysotnomu stroitel'stvu ot 20.12.2007 g. Departamentom gradostroitel'noj politiki, razvitiya i rekonstruktsii g. Moskvy ; pis'mom № 543/12 ot 01.11.2007 g. Federal'nogo agentstva po stroitel'stvu i zhilishhno-kommunal'nomu khozyajstvu [recommended by the Minutes of the meeting on the development of standards for high-rise construction dated 20.12.2007. Department of Urban Planning Policy, Development and Reconstruction of Moscow ; letter No. 543/12 dated 01.11.2007 of the Federal Agency for Construction and Housing and Communal Services] // OAO «KTB ZHB», GUP «NIIMosstroy», FGUP «NITS Stroitel'stvo», GUP MNIITEHP, GOSSTROINADZOR g. Moskvy [JSC «KTB ZHB», State Unitary Enterprise «NIIMosstroy», Federal State Unitary Enterprise «Research Center Construction», State Unitary Enterprise MNIITEP, GOSSTROYNADZOR of Moscow]. – Moscow : Moscow Government, Rosstroy, 2008. – 76 p.
2. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksij i osnovanij. Osnovnye polozheniya : GOST R 27751-2014 [Reliability of building structures and foundations. Main provisions : GOST R 27751-2014] : vved. v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 11 dekabrya 2014 g. № 1974-st : data vvedeniya 1 iyunya 2015 goda [introduction by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 11, 2014 No. 1974-st : date of introduction June 1, 2015] // OAO «Nauchno-issledovatel'skij tsentr «Stroitel'stvo» ; Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij institut stroitel'nykh konstruksij imeni V. A. Kucherenko [«Research Center «Construction» ; Central Research Institute of Building Structures named after V. A. Kucherenko]. – Moscow : Rosstandart, 2015. – 28 p.
3. Granev, V. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie proektirovaniya zdaniy i sooruzhenij [Scientific and technical support for the design of buildings and structures] / V. V. Granev. – 2018. – № 6. – P. 4–8.
4. Kashirtsev, M. S. Teoreticheskie aspekty osushchestvleniya nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya na etape stroitel'stva pri vozvedenii vysotnykh zdaniy [Theoretical aspects of the implementation of scientific and technical support at the construction stage during the construction of high-rise buildings] / M. S. Kashirtsev, D. V. Topchy // Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva : Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferentsii, Sankt-Peterburg, 4 fevralya 2019 goda [Organization of construction production : Materials of the All-Russian Scientific Conference, St. Petersburg, February 4, 2019]. –

8. Леонтьев, Е. В. Научно-техническое сопровождение при проектировании объектов производственного и гражданского назначения повышенного уровня ответственности / Е. В. Леонтьев, Р. Ю. Газизов // Вестник государственной экспертизы. – 2020. – № 1. – С. 56–61.
9. Dudler, I. V. Methodology of site investigation for extremely hazardous, technologically complicated, and unique engineering structures / I. V. Dudler, N. M. Khayme, S. P. Lyarskii // Water Resources. – Vol. 41, iss. 7. – P. 904–915.
10. Лapidus, А. А. Разработка программы проведения научно-технического сопровождения строительства зданий с заглублением подземной части более чем на 15 метров / А. А. Лapidus, И. С. Шевченко // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 1–11.

St. Petersburg : St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. – P. 89–92.

5. Kashirtsev, M. S. Osushchestvlenie nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva pri vozvedenii vysotnykh zdaniy, dni studencheskoj nauki [Implementation of scientific and technical support for construction in the construction of high-rise buildings, days of student science] / M. S. Kashirtsev, D. V. Topchy // Dni studencheskoj nauki : Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta stroitel'stva i arkhitektury, Moskva, 04–07 marta 2019 goda [Days of Student Science : Collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works of students of the Institute of Construction and Architecture, Moscow, 04–07 March 2019]. – Moscow : National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2019. – P. 1224–1226.
6. Topchii, D. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie stroitel'stva i proektirovaniya kak dopolnitel'nyj ehlement kvalimetricheskoj modeli obespecheniya kachestva gotovoj stroitel'noj produktsii [Scientific and technical support of construction and design as an additional element of the qualimetric model of quality assurance of finished construction products] / D. V. Topchy, A. Y. Yurgajtis, M. N. Danilochkin // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva [Technology and organization of construction production]. – 2018. – № 2. – P. 1–5.
7. Lapidus, A. A. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie izyskanij, proektirovaniya i stroitel'stva kak obyazatel'nyj ehlement dostizheniya trebuyemykh pokazatelej proekta [Scientific and technical support of surveys, design and construction as an obligatory element of achieving the required project indicators] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2019. – Vol. 14, № 11 (134). – P. 1428–1437.
8. Leontyev, E. V. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie pri proektirovanii ob'ektov proizvodstvennogo i grazhdanskogo naznacheniya povyshennogo urovnya otvetstvennosti [Scientific and technical support in the design of industrial and civil facilities with a higher level of responsibility] / E. V. Leontyev, R. Y. Gazizov // Vestnik gosudarstvennoj ehkspertizy [Bulletin of state expertise]. – 2020. – № 1. – P. 56–61.
9. Dudler, I. V. Methodology of site investigation for extremely hazardous, technologically complicated, and unique engineering structures / I. V. Dudler, N. M. Khayme, S. P. Lyarskii // Water Resources. – Vol. 41, iss. 7. – P. 904–915.
10. Lapidus, A. A. Razrabotka programmy provedeniya nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva zdaniy s zaglubleniem podzemnoj chasti bolee chem na 15 metrov [Development of a program for scientific and technical support of the construction of buildings with burying the underground part by more than 15 meters] / A. A. Lapidus, I. S. Shevchenko // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. 1–11.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**1.** Статья или ее части не должны быть ранее опубликованы или находиться на рассмотрении в других изданиях. Автор несет ответственность за соответствие информации, содержащейся в представленных документах.

**2.** Статьи должны содержать результаты научных исследований, аналитику, описание проектов и др. в области технического регулирования в строительстве.

**3.** Статью необходимо представить в электронном виде.

**4.** Перед названием статьи должен быть указан индекс УДК.

**5.** Название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотацию, ключевые слова, название таблиц и иллюстраций следует приводить на русском и английском языках.

**6.** На отдельном листе нужно представить сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

**7.** Объем рукописи не должен превышать 20 страниц (файл в формате .doc в MS Word).

**8.** Текст статьи должен быть напечатан следующим образом: с подрисуночными подписями, номерами рисунков и необходимыми пояснениями к ним; шрифт – Times New Roman, 12 пт., межстрочный интервал – полуторный.

**9.** Рисунки с подрисуночными подписями и номерами следует направлять отдельными файлами в формате .jpeg (разрешение не менее 300 dpi). Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи.

**10.** Библиографический список на русском и английском языках должен включать только литературу, цитируемую в статье. Ссылки на источники следует приводить в тексте в квадратных скобках. Список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5 - 2008.

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 Лapidус А. А.**

**Выпускающий редактор Бабушкина Д. Д.**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор)

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 75299  
от 25.03.2019 ЭЛ № ФС 77 – 75165 от 22.02.2019**

Цитирование, частичное или полное воспроизведение материалов  
только с согласия редакции

Авторы опубликованных материалов несут ответственность  
за достоверность приведенных в статьях сведений, точность данных  
по цитируемой литературе и за использование в статьях данных,  
не подлежащих открытой публикации

Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения,  
не разделяя точку зрения автора

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы  
и объявлений

**СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 3 (43) 2022**  
Дата публикации: 31 октября 2022 года

Отпечатано в типографии ООО «PROMZONA»  
105066, Москва, ул. Ольховская, д. 14, стр. 4  
Тираж 550 экз. Свободная цена



Телефон: +7 (495) 162 61 02  
e-mail: [info@build-pro.press](mailto:info@build-pro.press)  
сайт журнала: [www.build-pro.press](http://www.build-pro.press)

127018, РФ, Москва, Сушеvский вал,  
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405  
сайт издательства: [www.mosnec.com](http://www.mosnec.com)

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2022