

На правах рукописи



Галиев Ильяс Халимович

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ПОД
СУЩЕСТВУЮЩИМИ ЗДАНИЯМИ**

2.1.7 Технология и организация строительства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Ибрагимов Руслан Абдирашитович

Официальные оппоненты: **Гайдо Антон Николаевич,**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»,
строительный факультет, декан

Мухаметзянов Зинур Ришатович,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной
технический университет», кафедра
«Автомобильные дороги и технология
строительного производства», профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»

Защита состоится 15 февраля 2024 г. в 11:00 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, студия №9 «Открытая сеть».

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» и на сайте www.mgsu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Коротеев Дмитрий Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время наблюдается рост и развитие подземного строительства во всем мире. Мировой опыт градостроительного проектирования показывает, что наиболее эффективным методом решения увеличивающейся концентрации территориальных и транспортных проблем является комплексное освоение подземного пространства.

Разрабатываемые технологические решения по освоению подземного пространства должны обеспечивать нормальные условия эксплуатации и сохранность наземных и подземных сооружений, а также качественное проведение геотехнического мониторинга зданий. В настоящий момент нормативная база имеет предпосылки к развитию подземного пространства с введением в действие СП 473.1325800.2019 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования». Оптимальные условия для устойчивого развития города достигаются при доле подземных сооружений 20-25 % от общего числа объектов, при этом фактическое соотношение количества подземных объектов даже в г. Москва составляет порядка 8%.

В условиях сложившейся исторической застройки крупных городов, очевидным является расширение полезных площадей для размещения объектов инфраструктуры за счет увеличения подземных пространств существующих зданий. Однако, стесненность строительства, принадлежность реконструируемых зданий к объектам культурного наследия требует более тщательной проработки проектных и организационно-технологических решений. В связи с этим, поиск организационных и технологических решений, направленных на разработку и освоение подземных пространств существующих зданий, становится все более актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Научно-методологические и теоретические основы разработки и оптимизации организационных и технологических решений по устройству подземных пространств существующих зданий отражены в трудах отечественных ученых: А.А. Афанасьева, А.Х. Байбурина, Ю.А. Вильмана, А.Н. Гайдо, А.Н. Левченко, П.П. Олейника, А.Б. Пономарева, А.А. Лапидуса, Д.С. Конюхова, В.И. Теличенко, Р.А. Мангушева, З.Р. Мухаметзянова, М.Ю. Абелева, В.В. Знаменского, А.З. Тер-Мартirosяна, В.М. Улицкого, А.Г. Шашкина и др.

Повышением технологической эффективности подземного строительства и разработкой инновационных методов создания «умного подземного пространства» занимались такие зарубежные ученые как: Isam Shahrour, Chuangzhou Wu, Yun Wan, Hee-Soon Shin, T. Hanamura, Jinyao Wang, Soo-Yeon Seo, Toshinori Mizutani, S. Durmisevic, S. Nelson.

Цель исследования – разработка рациональных организационно-технологических решений устройства подземных пространств под существующими зданиями на основе оптимальных технологических параметров и мониторинга с применением современных методов и приборов.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие **задачи исследования:**

- анализ современных технологических методов устройства подземных пространств существующих зданий;
- выявление организационных, технологических и конструктивных факторов, влияющих на разрабатываемую технологию устройства подземных пространств существующих зданий;

- на основе экспертно-квалиметрического метода определение факторов, влияющих на организационно-технологические решения на стадиях проектирования, мониторинга и установление их значимости;
- оптимизация наиболее значимых мероприятий на стадиях проектирования и мониторинга;
- разработка методики формирования рациональных организационно-технологических решений устройства подземных пространств под существующими зданиями на основе оптимальных технологических параметров и мониторинга с применением современных методов и приборов;
- внедрение предложенных организационно-технологических решений при увеличении подземных пространств существующего здания на объекте реконструкции и оценка технико-экономической эффективности предложенных методов.

Объект исследования – существующие здания, участки подземного пространства, возводимые с целью увеличения их полезной площади и дальнейшей эксплуатации.

Предмет исследования – система оптимизации организационно-технологических решений при устройстве подземных пространств под существующими зданиями.

Научно-техническая гипотеза исследования заключается в возможности оптимизации организационно-технологических решений увеличения подземных пространств под существующими зданиями за счет оптимизации технологических параметров, позволяющих снизить трудоемкость и минимизировать продолжительность технологических процессов при одновременном мониторинге строительно-монтажных работ с использованием приборов наземного лазерного сканирования.

Методология и методы исследования

Методологической базой исследований послужили работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области организации и технологии строительства, элементы численного расчетного анализа и математической обработки результатов, методы теории принятия решений (рисунок 1).

Научная новизна исследований:

1. Предложена методика построения универсальной математической модели определения оптимальных параметров технологических процессов при устройстве подземных сооружений методом переопирания здания на новые фундаменты.
2. Разработана система мониторинга организационно-технологических процессов с использованием современных методов и приборов.
3. Разработаны технические рекомендации по научно-техническому сопровождению с применением новой геодезической марки при устройстве подземных сооружений под существующими зданиями.
4. Разработана методика формирования рациональных организационно-технологических решений на основе оптимальных технологических параметров и мониторинга строительно-монтажных работ с использованием новых методов и приборов.
5. Научно обоснованы наиболее значимые мероприятия в системе принятия организационно-технологических решений, влияющих на обеспечение эффективности строительства подземных сооружений под существующими зданиями.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании эффективных организационных и технологических решений устройства подземных пространств под существующими зданиями и выбора параметров производства работ на

основании предложенной методики мониторинга производства работ реконструируемых зданий.

Практическая значимость работы заключается в предложенных организационно-технологических решениях рассматриваемой технологии увеличения подземного пространства под существующими зданиями, применении приборов наземного лазерного сканирования при геотехническом мониторинге реконструируемых зданий, разработке геодезической марки, увеличивающей точность измерений, а также в апробации разработанных решений при устройстве подземных пространств существующего здания.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические принципы организационно-технологических решений увеличения подземных пространств существующих зданий;
- оптимизация технологических параметров при устройстве дополнительных подземных пространств под зданием;
- формирование критериев и результаты многокритериального анализа мероприятий на стадии ПОС и производства (мониторинга) работ;
- методика мониторинга реконструируемых зданий с использованием приборов наземного лазерного сканирования;
- практические рекомендации по выбору рациональных технологических методов выполнения работ, связанных с устройством дополнительных подземных пространств существующих зданий, контроль качества выполненных работ с использованием приборов наземного лазерного сканирования.

Степень достоверности и обоснованность выводов диссертационной работы обеспечивается применением научных методов исследования. Представленные в диссертации результаты исследований, выводы и заключения подтверждаются использованием общепризнанных методов расчета и расчетных технологий, научной и нормативно-технической документацией в области технологии и организации строительного производства, обобщением, подтверждением полученных результатов общеизвестными традиционными методами, применяющиеся в практике разработки и принятия организационно-технологических решений в строительстве.

Апробация работы. Основные результаты работы прошли апробацию на объекте внедрения по адресу: г. Казань, ул. Пушкина, 10, а также используются в учебном процессе студентов, обучающихся по профилю «Промышленное и гражданское строительство» по дисциплине «Спецкурс по технологии и организации строительства».

Основные результаты выполненных исследований докладывались и обсуждались на ежегодной научно-технической конференции в КГАСУ (г. Казань, 2011-2020 гг.); на IV-VIII Международной научно-практической конференции «Технологии, организация и управление в строительстве» (г. Москва, 2018-2022 гг.); на международной конференции «Научно-техническое сопровождение изысканий и проектирования» (г. Москва, 2018-2021 гг.); на II, IV Всероссийской научно-технической конференции «Механизация и автоматизация строительства» (г. Самара, 2019 г, 2021 г.); на IV Международной научно-практической конференции BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры (BIMAC 2021, г. Санкт-Петербург); на II Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева «Петербургская школа поточной организации строительства» (г. Санкт-Петербург, 2023 г.).

Личный вклад автора заключается в следующем:

- в анализе нормативно-технической и научно-исследовательской базы в области подземного строительства;

- в разработке научно-практических положений последовательности выполнения строительно-монтажных работ по возведению дополнительных подземных пространств под зданиями с учетом оптимизации технологических решений;
- в разработке алгоритма работы с приборами наземного лазерного сканирования при выполнении мониторинга зданий сооружений;
- в проведении статистической обработки результатов определения норм времени на работу с приборами наземного лазерного сканирования;
- в разработке организационно-технологических решений при комплексном устройстве подземного пространства на стадиях проектирования и мониторинга работ.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ, из них 4 – в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»; 3 – в научных изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus; 2 – в журналах библиографической базы данных научных публикаций российских учёных РИНЦ, 1 патент РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.1.7 – «Технология и организация строительства» по пунктам 1, 2, 4, 13:

п. 1. Прогнозирование и **оптимизация параметров технологических процессов** и систем организации строительства и его производственной базы, повышение организационно-технологической надежности строительства. Разработка параметров системы управления инвестиционно-строительными проектами

п. 2. Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса зданий и сооружений. **Разработка систем контроллинга и средств мониторинга организационно-технологических процессов.**

п. 4. Теоретические и экспериментальные исследования **эффективности технологических процессов.** Выявление общих закономерностей реализации сложных инвестиционно-строительных проектов с применением информационного моделирования и оптимизации организационно-технологических решений.

п. 13. **Разработка** научных основ, системного подхода, **методов** и технологий повышения эксплуатационного качества промышленных и гражданских зданий с учетом круглогодичного производства работ, **инструментального контроля** и способов повышения надежности зданий **при их возведении, эксплуатации и реконструкции.**

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Работа содержит 212 страницы основного печатного текста, а также 37 страниц приложений, в том числе 84 рисунка, 60 таблиц, список используемой литературы включает 219 наименований отечественных и зарубежных авторов.



Рисунок 1 – Методологическая схема исследований

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначена актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, обозначена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, указана степень достоверности и апробация результатов исследования.

В первой главе содержится анализ современного уровня развития методов устройства подземных пространств существующих зданий. Рассмотрены основные способы возведения подземных частей зданий и сооружений. На основе анализа существующей нормативной, научной и технической литературы составлена классификация организационно-технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями (рисунок 2).

На основе анализа перечня объектов в РФ и за рубежом составлен анализ эффективности мероприятий при устройстве дополнительных полезных площадей (таблица 1). Анализ проведенных исследований показал, что предлагаемые организационно-технологические решения направлены на проработку решений строящихся либо реконструируемых зданий и не учитывают особенности при пересадке зданий на новые фундаменты, что подтверждает необходимость совершенствования и обоснования рациональных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями на основе оптимальных технологических параметров и мониторинга с применением современных методов и приборов.

Таблица 1 – Оценка эффективности мероприятий на объектах реконструкции

Объект	Мероприятие / Критерий				
	Усиление надземных конструкций / ограничение горизонтальных перемещений	Применение приборов НЛС при мониторинге	Соблюдение плановых сроков / плановых трудозатрат	Стоимость реконструкции и / Полезная площадь новых помещений	Принцип выбора средств механизации
«Большой театр» (ГАБТ РФ)	Выполнено / не выполнено	Не применялись	Нет / нет	35,4 млрд руб. / 80 тыс. м ²	Сокращение сроков
Реконструкция Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке	Не выполнено / Не выполнено	не выполнено	Да / Да	н.д. / 29027,7 м ³ (до реконструкции и 15605 м ³)	Сокращение сроков
AclandHouse, Оксфорд, 2019 (Англия)	Выполнено / Выполнено	Не применялись	Нет данных	60 млн. фунтов стерлингов / 2100 м ²	Сокращение выбросов CO ₂
Комплекс New York Avenue Вашингтон, 2019	Выполнено / Не выполнено	Нет данных	Нет данных	54 млн. долларов / 7000 м ²	Нет данных
St. James Centre, Эдинбург, 2021 г. (Шотландия)	Выполнено / Не выполнено	Не применялись	Нет данных	850 млн. евро / 26 тыс. м ²	Нет данных

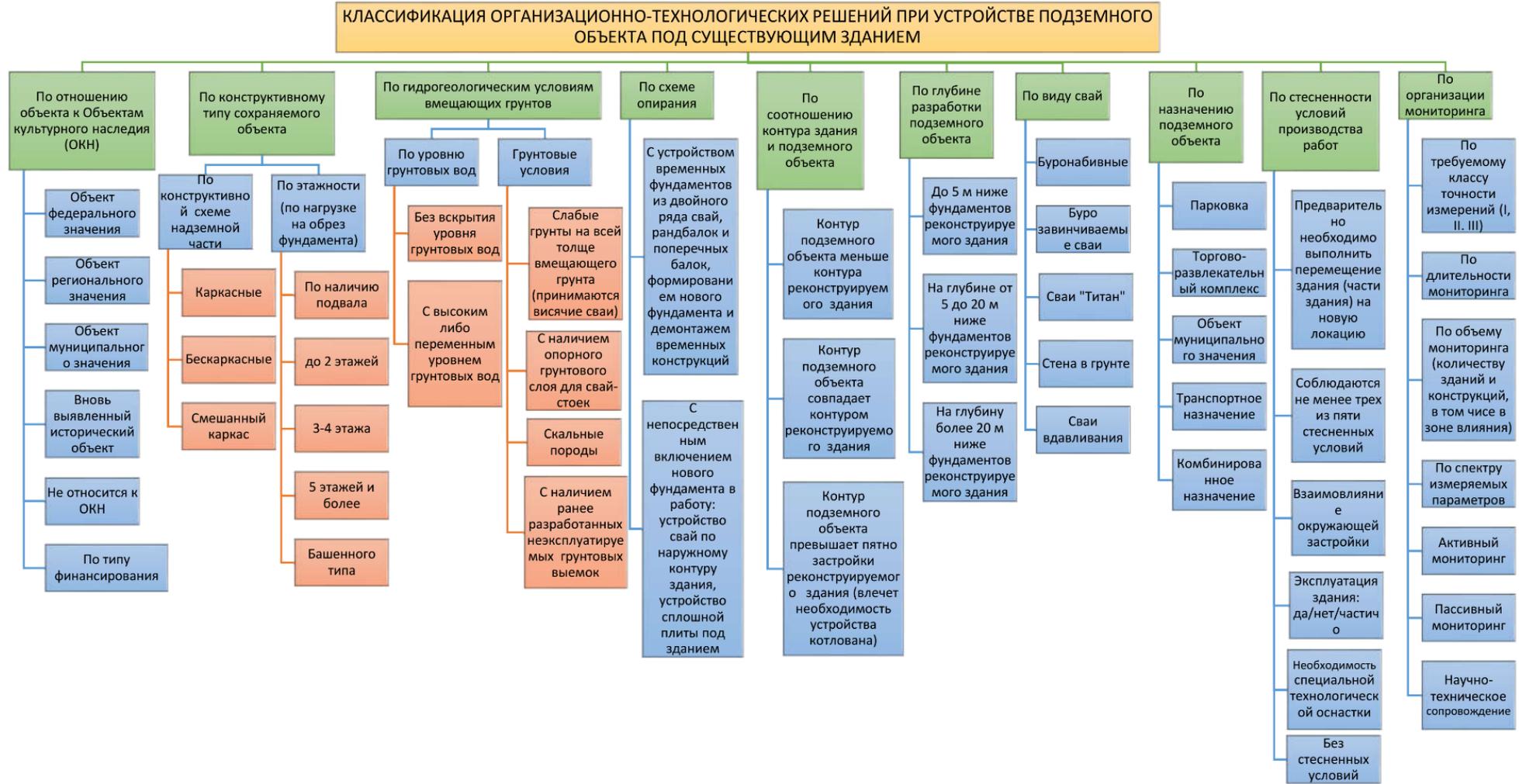


Рисунок 2 – Классификация организационно-технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями

Вторая глава посвящена обоснованию наиболее значимых организационно-технологических мероприятий, влияющих на эффективность строительства методом анализа иерархий на этапах проектирования и мониторинга.

Основные мероприятия и критерии для построения модели отобраны на основании аналитического обзора работ, выполненных известными авторами, опытного и экспертного анализа технологического процесса устройства подземных этажей под существующими зданиями. На основании экспертного опроса были выделены пять критериев, шесть мероприятий на стадии проектирования и пять мероприятий на стадии мониторинга, а также выполнено их ранжирование. Графическое представление взаимоувязанных комбинаций критериев и мероприятий по выбору эффективных решений по проведению работ при реконструкции приведено на рисунке 3.

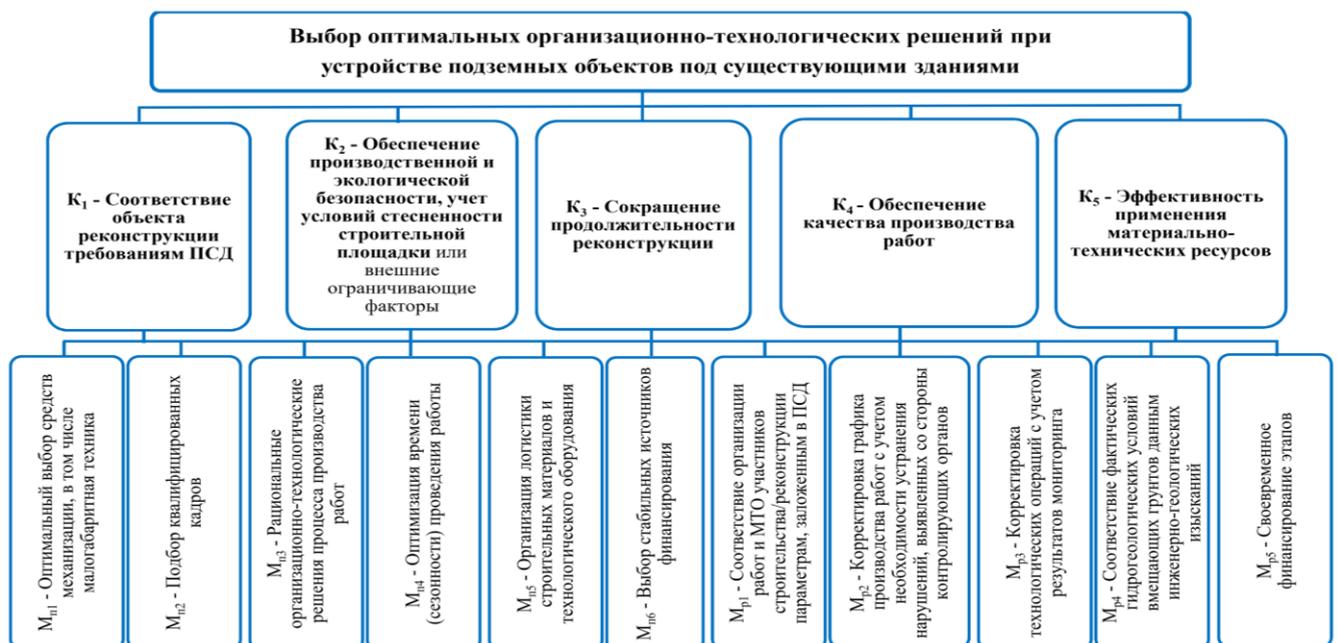


Рисунок 3 – Формирование выбора оптимальных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями

Схема представляет собой трехуровневую иерархическую структуру экспертно-квалиметрического метода. На верхнем уровне иерархии располагается цель, являющаяся выбором наилучшей альтернативы. Второй уровень состоит из основных критериев оценки эффективности K_1, K_2, \dots, K_5 . На третьем (последнем) уровне схемы представлены шесть мероприятий на стадии разработки проекта ($M_{п1}, M_{п2}, M_{п3} \dots M_{п6}$) и пять мероприятий на стадии мониторинга при реконструкции зданий ($M_{р1}, M_{р2}, M_{р3} \dots M_{р5}$).

На основе многокритериального анализа эффективности мероприятий на стадии разработки проекта и мониторинга по шкале приоритетов значимости мероприятий формировалась вероятная комбинация мероприятий, ранг которых задан в соответствие с мнением экспертов.

Ранжирование значимости мероприятий выполнялось методом экспертных оценок с привлечением семи экспертов. Степень согласованности мнений

экспертов по всем видам факторов (мероприятий на стадии проектирования и мероприятий на стадии мониторинга) оценивался коэффициентом конкордации Кэнделла (W), который должен быть не менее 0,5 при согласованном мнении экспертов. На следующем этапе проверялась неслучайность и согласованность мнений экспертов в соответствии с критерием согласованности Пирсона, полученные значения сравнивались с табличными показателями.

По итогам математической обработки результатов экспертного опроса установлено, что коэффициент конкордации Кэнделла в представленных опросах более требуемых $W_m=0,5$. Значения критерия Пирсона более табличных показателей при уровне значимости $q=5\%$, что подтверждает неслучайность мнений экспертов. Исходя из проведенных расчетов, гипотезу о согласованности экспертов при ранжировании факторов принимаем верной.

Методом матриц парных сравнений определены веса критериев. Показатель важности мероприятия определялся по формуле (1):

$$M_{п(р)m} = \frac{2(n - i + 1)}{n(n + 1)} 100, \quad (1)$$

где $п, р$ – соответственно индекс, обозначающий стадии проектирования и мониторинга, m – порядковый номер, n – количество мероприятий; i – заданный ранг мероприятия.

Построение матрицы парных сравнений выполнялось по формуле (2):

$$a_{i,j} = M_i / M_j, \quad (2)$$

Рассчитываются геометрические средние каждой из строк матрицы или векторы приоритетов по формуле (3) и вычисляются отношение векторов приоритетов каждой из строк матрицы к их сумме по формуле (4):

$$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n} \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (4)$$

Ранжирование мероприятий, влияющих на эффективность строительства, на стадиях проектирования и мониторинга представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Оценка важности мероприятий на этапе проектирования

Мероприятие	$M_{п1}$	$M_{п2}$	$M_{п3}$	$M_{п4}$	$M_{п5}$	$M_{п6}$	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
$M_{п1}$	1	0,5	0,167	0,333	0,25	0,2	0,334	0,0313
$M_{п2}$	2	1	0,333	0,667	0,5	0,4	0,668	0,0625
$M_{п3}$	6	3	1	2	1,5	1,2	2	0,1875
$M_{п4}$	3	1,5	0,5	1	0,75	0,6	1	0,0938
$M_{п5}$	4	2	0,667	1,333	1	0,8	1,336	0,125
$M_{п6}$	5	2,5	0,833	1,667	1,25	1	5,344	0,5
Сумма	21	10,5	3,5	7	5,25	4,2	10,689	1

Таблица 3 – Оценка важности мероприятий на этапе мониторинга

Мероприятие	M _{p1}	M _{p2}	M _{p3}	M _{p4}	M _{p5}	N _i =($\prod_{j=1}^n a_{ij}$) ^{1/n}	Локальный вектор приоритетов
M _{p1}	1	0,333	0,2	0,25	0,5	0,3839	0,0667
M _{p2}	3	1	0,6	0,75	1,5	1,1516	0,2
M _{p3}	5	1,667	1	1,25	2,5	1,919	0,33333
M _{p4}	4	1,333	0,8	1	2	1,5354	0,26667
M _{p5}	2	0,667	0,4	0,5	1	0,7677	0,13333
Сумма	15	5	3	3,75	7,5	5,7578	1

Выполнив ранжирование всех критериев для установленных мероприятий на стадии проектирования и производства работ/мониторинга получены показатели важности критериев для каждой стадии (рисунок 4). На стадии разработки проекта технологии строительного-монтажных работ наибольшую значимость получили мероприятия по рациональной организации процесса производства работ и выбору стабильных источников финансирования (28,6 и 23,81), на стадии производства работ – корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга (33,33).

Вычисление глобального приоритета выполнено по формуле (5):

$$\alpha(A_i) = \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_2} \dots \sum_{i_k=1}^{m_k} \alpha_{i_1}(i_1, i_2, \dots, i_k) \alpha_{i_2}(i_1, i_2, \dots, i_k) \quad (5)$$

где α_i – важность мероприятия; α_j – важность критерия по отдельным мероприятиям.

Установлено, что для мероприятий на стадии проектирования и мониторинга наиболее важным является критерий «К4 – сокращение продолжительности реконструкции».

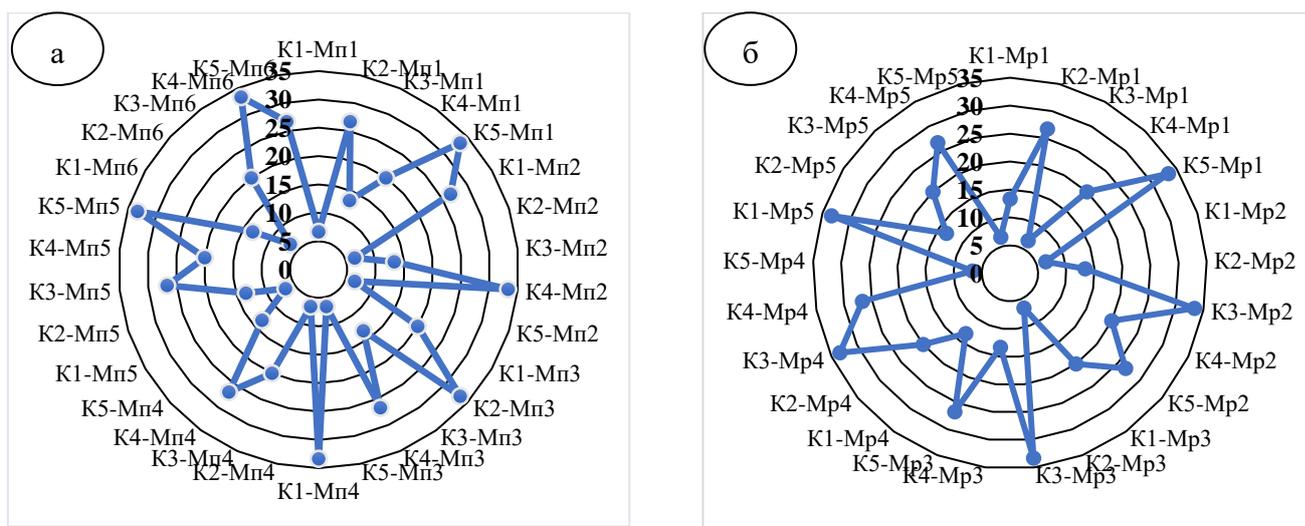


Рисунок 4 – Показатели важности критериев: а) на стадии организационно-технологического проектирования; б) на стадии производства работ

Диаграммы на рисунке 4 показывают, что наиболее важным критерием для мероприятия M_{п1} является K₅-M_{п1}, для мероприятия M_{п2} является K₄-M_{п2}, для

мероприятия $M_{п3}$ является $K_2-M_{п3}$, для мероприятия $M_{п4}$ является $K_1-M_{п4}$, для мероприятия $M_{п5}$ является $K_5-M_{п5}$, для мероприятия $M_{п6}$ является $K_4-M_{п6}$.

Наиболее важным критерием для мероприятия $M_{р1}$ является $K_5-M_{р1}$, для мероприятия $M_{р2}$ является $K_3-M_{р2}$, для мероприятия $M_{р3}$ является $K_3-M_{р3}$, для мероприятия $M_{р4}$ является $K_3-M_{р4}$, для мероприятия $M_{р5}$ является $K_1-M_{р5}$.

Учет выделенных мероприятий оптимизирует принятие организационно-технологических решений на стадиях проектирования и непосредственного проведения строительных работ при сопровождении в виде мониторинга, что способствует минимизации трудозатрат и сроков строительства при устройстве дополнительных подземных пространств существующих зданий. Таким образом, разработка новых методов мониторинга с применением цифровых приборов является актуальной задачей.

Третья глава посвящена разработке методики определения рациональных организационно-технологических решений при комплексном устройстве подземного пространства существующего здания на стадиях проектирования и мониторинга.

Для проработки мероприятий, касающихся «Рациональных организационно-технологических решений процесса производства работ» проведен двухфакторный композиционный (ротатабельный) эксперимент с квадратичной моделью с целью оптимизации трудоемкости выполняемых работ.

На основе серии из девяти опытов определены зависимости трудоемкости устройства 1 погонного метра фундамента от варьируемых параметров. После обработки значений получена нелинейная зависимость (6) трудоёмкости монтажа (F_2) конструкций от шага балок и нагрузки:

$$F_2 = 832,78 - 574,33X_1 + 0,544X_2 + 194,85X_1^2 + 0,0086X_2^2 - 0,1575X_1X_2 \quad (6)$$

где X_1 – шаг расположения балок усиления, м; X_2 – прикладываемая нагрузка, кН/м²; F_2 – трудоемкость монтажа, чел-час.

На основании результатов исследований выполнена оптимизация трудозатрат наиболее значимых мероприятий при производстве работ по устройству подземного пространства под существующим зданием: определены оптимальные конструктивные параметры, предложена механизация ручного труда с применением малогабаритной строительной техники и оптимизация логистики строительных материалов.

Оптимизация организационно-технологических решений интегрируется в состав проекта организации строительства (далее – ПОС), таким образом совершенствуется ПОС и повышается эффективность выполнения работ при устройстве подземных сооружений под существующими зданиями. Разработанная методика представлена в виде алгоритма формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями (рисунок 5).

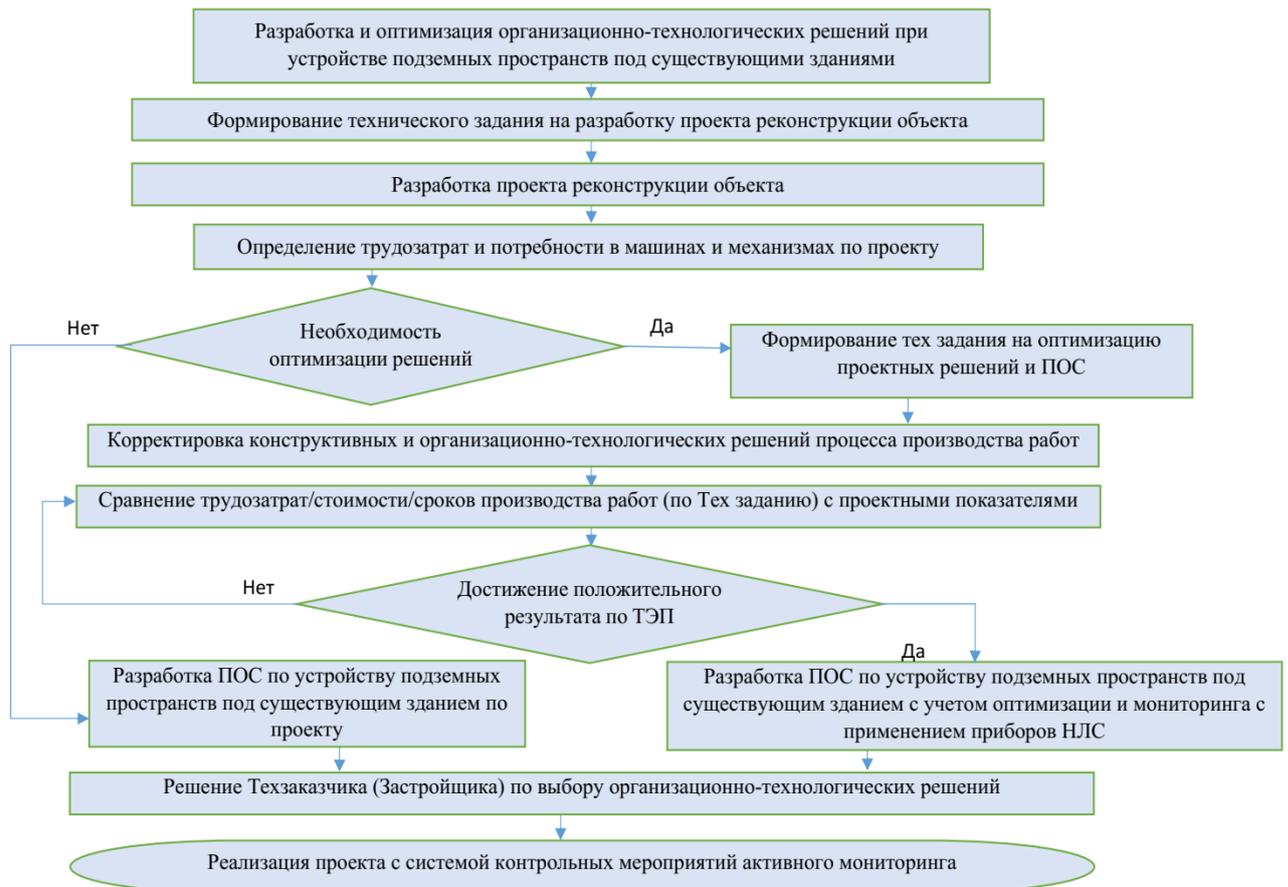


Рисунок 5 – Методика формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями с учетом оптимизации организационно-технологических решений

На втором этапе исследований «Контроль качества и оптимизация организационно-технологических решений на стадии мониторинга (реконструкции)» применены приборы наземного лазерного сканирования (далее – НЛС) при мониторинге зданий и внедрении результатов исследований.

Для повышения точности наблюдений, получения объемных снимков этапов проведения работ и более информативного представления результатов обработки данных выдвинута гипотеза о возможности использования для этих целей лазерных 3D сканеров и трекеров. В настоящем исследовании рассматривается три основных типа приборов: электронный тахеометр, лазерный сканер, лазерный трекер. Результаты хронометражных наблюдений работы с приборами представлены в таблице 4:

- среднее время работы тахеометра на 1-ой точке стоянки – 45 минут при первом цикле и до 18 минут на последующих точках;
- среднее время работы трекера на 1-ой точке стоянки составляет 127 минут на первом цикле, при работе бригадой из двух 2 человек и до 48 минут на последующих точках той же бригадой;
- среднее время работы 3D сканера на 1-ой точке стоянки – 47 минут при первом цикле и до 24 минут на последующих точках.

Таблица 4 – Хронометрические данные работы с различными типами приборов

Номер работы	Тахеометр	Тип сканера	
	Sokkia SET 550RX	3D сканер FARO Focus S150	API RADIANT R20
Подготовительные работы			
1	Загрузка проектных данных в память прибора, 10 мин	Установка настроек, 10 мин	Подготовка источника питания, 17 мин.
2	Распаковка транспортной упаковки, 1-2 мин	Распаковка транспортной упаковки, 1-2 мин	Распаковка транспортной упаковки, 8 мин
3	Установка настроек в зависимости от задач, условий местности, 5 мин	Установка настроек в зависимости от задач, условий местности, погодных условий, 6 мин	Установка настроек в зависимости от задач, условий местности, погодных условий, 6-11 мин
Последовательность работ при сканировании			
4	Установка треноги, 2-5 мин	Установка треноги, 2-5 мин	Установка треноги, подготовка места для периферийного оборудования, подключение интерфейса, 13-20 мин
5	Включение прибора, разогрев, 1-4 мин		Включение ноутбука, прибора, источников питания, 4-10 мин
6	–	–	Проверка настроек программы, 3 мин
7	Привязка к неподвижным реперам, 3 мин	–	Привязка к неподвижным реперам, 3-5 мин
8	Снятие показаний по контрольным точкам, 4 мин	Запуск цикла сканирования с точки стоянки, 6-13 мин	Снятие показаний по контрольным точкам, 5-8 мин
Перемещение на следующую позицию, повтор цикла по пп. 4-8			

На основе опыта проведения мониторинга зданий с использованием приборов НЛС на объектах: 1) здание купца Лисицына по ул. Пушкина, 10 г. Казань; 2) дымовая труба бывшего кирпичного завода в селе Ключище (Республика Татарстан); 3) учебный корпус №1 КГАСУ, а также результатов измерений на объекте внедрения было установлено, что рекомендуется вводить поправки согласно выражению (7):

$$\Delta(x_{i,(j+1)}-x_{i,j}) = [x_{i,(j+1)}-x_{i,j}] + [(t_{i,j}-t_{i,(j+1)}) * \alpha_t * (L/2-b_i)], \quad (7)$$

где $\Delta(x_{i,(j+1)}-x_{i,j})$ – относительное смещение i -той марки при соответствующих измерениях; i – номер марки; j – номер измерения; x – координата марки; t – температура наружного воздуха при проведении замеров; α_t – коэффициент линейного расширения кладки либо другого материала стены; L – длина здания по стороне измерений; b – расстояние от ближайшего угла здания до марки.

Метод НЛС позволяет выполнять сканирование всего объекта, создавая общее облако точек, что несколько замедляет процесс сканирования, а также камеральную обработку материалов. Однако имея данные по всей поверхности стен, в процессе мониторинга создается возможность анализа деформаций

участков стен, расположенных вне контрольных марок.

По результатам определения хронометражной оценки получены показатели трудозатрат на разных циклах работы с исследуемыми типами приборов: при первом цикле измерений (1), при последующих (n-ных) циклах измерений и при камеральной обработке результатов (рисунок 6 а).

Для удобства проведения измерений с указанными типами приборов разработана и запатентована новая конструкция геодезической марки (патент RU210087 U1). Новизна данной марки заключается в универсальности ее использования для геодезического наблюдения приборами НЛС, лазерным трекером и тахеометром, а также антивандальностью марки за счет клиновидного универсального разъема, позволяющего снимать марку между этапами измерений (рисунок 6 б).

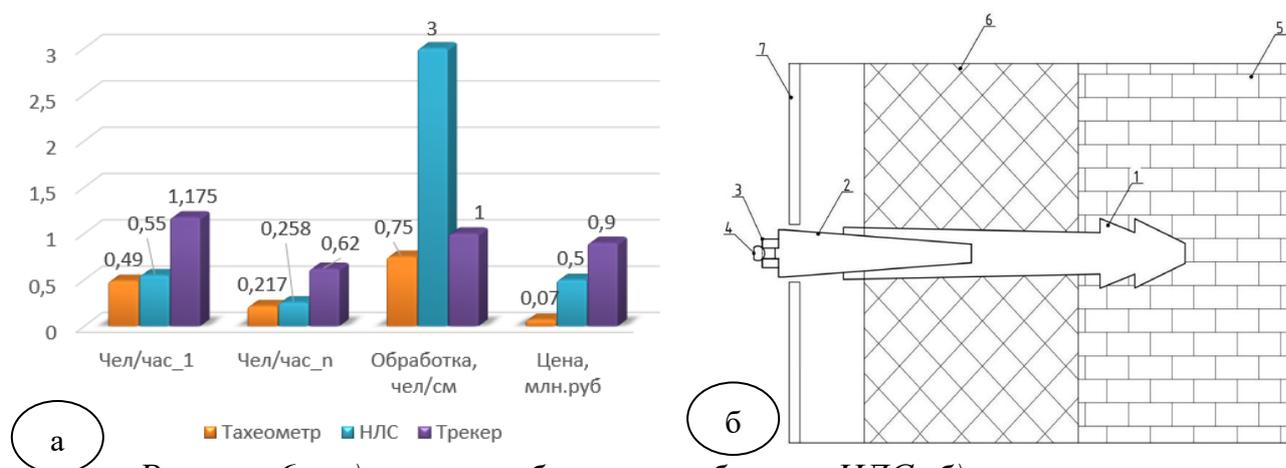


Рисунок 6 – а) анализ работы с приборами НЛС; б) конструкция марки

На рис. 6 б позициями обозначено: 1 – основание геодезической марки, устанавливаемое на 100 мм в ограждающие конструкции зданий – 5, и утеплитель толщиной 200 мм – 6; 2 – стальной держатель конической формы, который на 120 мм устраивается перед проведением измерений на соединение штифтового типа в основание; 3 – магнит, в вырез которого устанавливается уголкообразный отражатель – 4; керамогранитные плиты вентилируемого фасада – 7.

Составлена программа мониторинга, в соответствии с которой, изменение геометрического положения здания либо частей здания выявляется при сравнении (наложении) облаков точек, полученных при съемке с интервалом времени. Интервал времени выбирается в зависимости от сложности гидрогеологических условий, категории технического состояния конструкции и этапов строительно-монтажных работ.

Разработана методика проведения мониторинга зданий и сооружений при устройстве подземных пространств с использованием приборов НЛС (рисунок 7). Данная методика апробирована на строящемся объекте «УЛК» (г. Альметьевск). Разработана программа работ мониторинга строящегося объекта с использованием приборов НЛС и даны рекомендации по повышению точности сканирования (с погрешностью измерений до 0,5 мм).

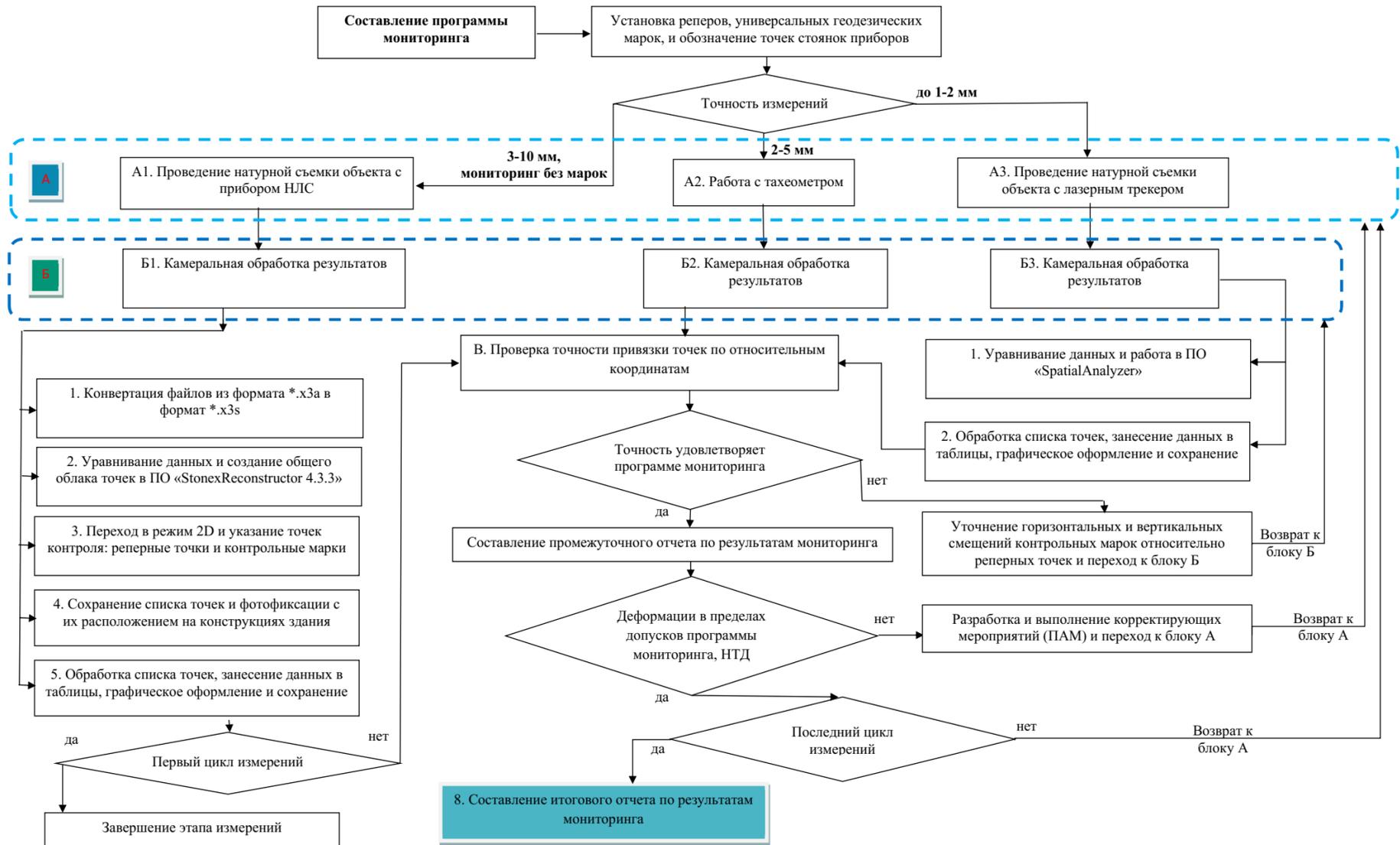


Рисунок 7 – Блок-схемы алгоритма работы с приборами НЛС при выполнении мониторинга зданий сооружений

В четвертой главе в качестве объекта внедрения предлагаемых организационно-технологических решений рассматривается объект «Дом купца С. Д. Лисицына – В. Д. Емелина, во флигеле которого 1 (13) февраля в 1873 г. родился певец Ф. И. Шаляпин».

Разработаны организационно-технологические решения увеличения подземного пространства существующего здания. На данную технологию получен авторский патент РФ на изобретение (№ 2431718). Разработанные решения состоят из девяти этапов.

На первом этапе проводится анализ проектной документации, оценка технического состояния строительных конструкций. Продолжением данного этапа является мониторинг здания на последующих стадиях выполнения работ с применением приборов наземного лазерного сканирования.

В основании стен необходимо установить рандбалки, являющиеся распределительным поясом для равномерной передачи нагрузки на нижележащие временные конструкции (рисунок 8 а).

Устройство буронабивных свай глубиной до 12 м диаметром 300 мм выполняют при помощи малогабаритной буровой установки, позволяющей выполнять бурение из подвала здания (рисунок 8 б). Ростверки выполняют поверх свай для равномерного распределения нагрузок на сваи от вышележащих конструкций (рисунок 9 а).

В стене методом алмазной резки выполняются отверстия, через которые в поперечном направлении проводятся металлические балки (рисунок 9 б) и переводят вес всего здания на ростверк с обеих сторон стены.



Рисунок 8 – а) устройство рандбалки; б) устройство буронабивных свай

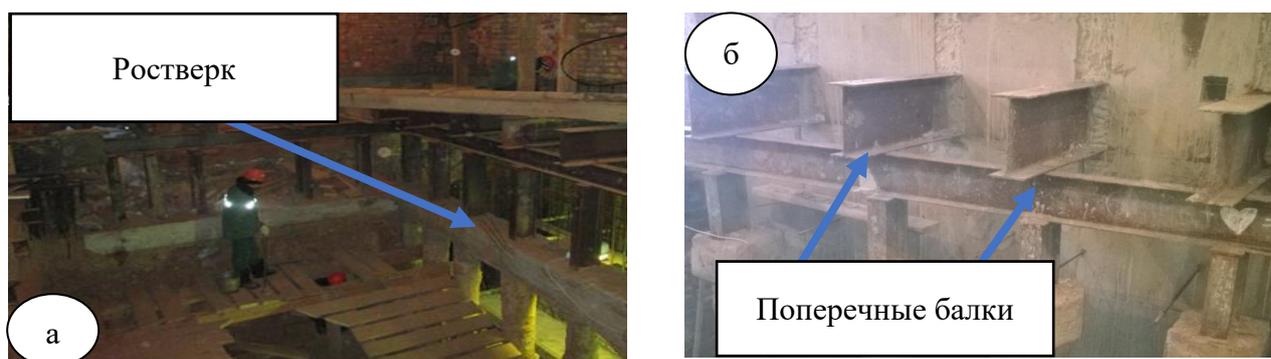


Рисунок 9 – а) устройство ростверков; б) устройство поперечных балок

Разработка грунта под подошвой фундамента и устройство нового фундамента выполняются механизированным и ручным способом.

После пересадки здания на новый фундамент, выполняется демонтаж временных конструкций, элементов усиления (поперечные балки, ростверки), частей буронабивных свай с внутренней части здания до пола подземных этажей, с внешней стороны – до отметки основания благоустройства территории.

Разработка подземной части здания выполняется с применением малогабаритной строительной техники (рисунок 10).

Общая площадь дополнительно образованных помещений в подвале 139,4 м², в том числе по предложенной технологии составила 78,08 м² (помещения Б1+Б2) (рисунок 11).



Рисунок 10 – Используемая малогабаритная техника

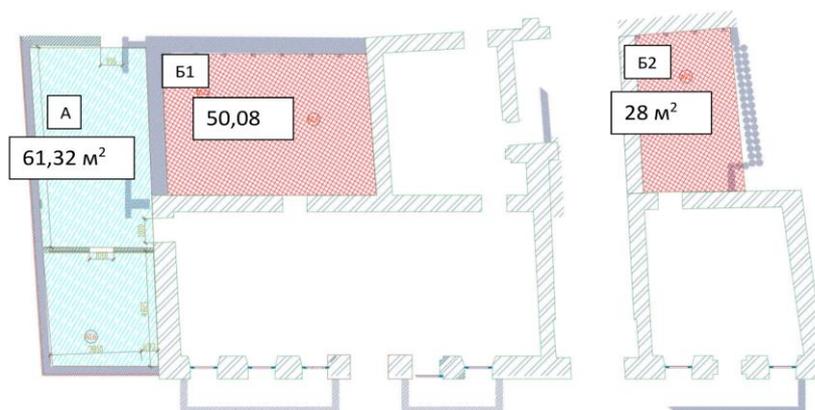


Рисунок 11 – План подвала объекта внедрения с образованными помещениями

Расчеты по обоснованию экономической эффективности реконструкции выполнены с использованием программного продукта «Альт-Инвест. Строительство». Выбранный горизонт планирования – 25 лет. При выполнении расчетов были учтены следующие инвестиционные затраты: покупка земельного участка, здания, стоимость работ по реконструкции подземного этажа. На стадии эксплуатации были рассчитаны коммунальные платежи и управленческие расходы, затраты на страхование здания, а также доходы от сдачи помещений в аренду.

Устройство подземного этажа позволит увеличить общую площадь здания на

4,43 %, а полезную площадь – на 6,55 %. При этом разработанные решения позволят сократить проектное значение сметной стоимости реставрации здания с реконструкцией подземного этажа на 1 403 тыс. руб. На сравнительном графике производства работ на рисунке 12 видно, что оптимизация организационно-технологических решений позволит снизить продолжительность работ на 52 дня.

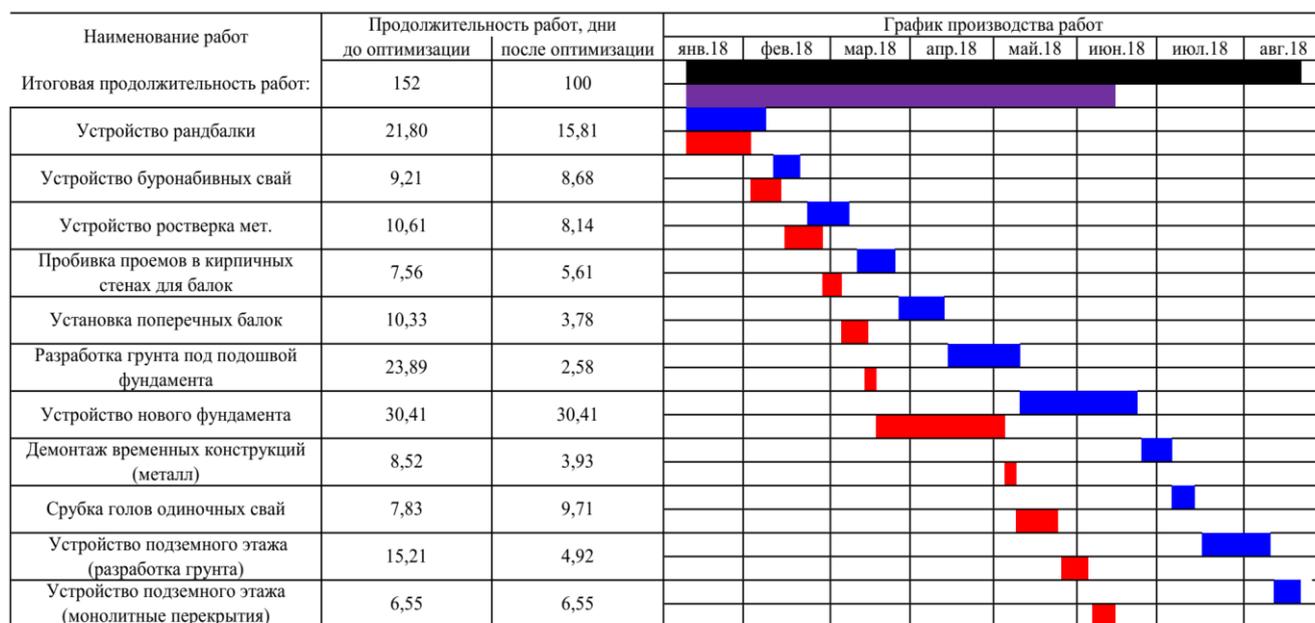


Рисунок 12 – Продолжительность подземных работ до и после оптимизации

Разработанные решения позволяют не только оптимизировать продолжительность работ, но и снизить сметную стоимость, что в свою очередь влияет на итоговые показатели эффективности (таблица 5).

Таблица 5 – Сравнительные показатели эффективности проекта

Наименование	Проектные	С применением разработанных решений	Технико-экономический эффект, %
1 Чистая приведенная стоимость (NPV), тыс. руб.	46 220	49 441	+6,9 %
2 Норма доходности дисконтированных затрат, разы	1,23	1,25	+1,63 %
3 Дисконтированный срок окупаемости (РВР), лет	18,61	18,24	-1,99 %
4 Внутренняя норма рентабельности, % (номинальная - с учетом инфляции)	13,3	13,4	+0,75 %

Сокращение срока окупаемости составляет 0,38 года, что в денежном выражении соответствует разнице в NPV в 3 221 тыс. руб. То есть оптимизация

стоимости и времени выполнения работ позволит увеличить чистую приведенную стоимость проекта более чем на 3 млн. руб. (рисунок 13).

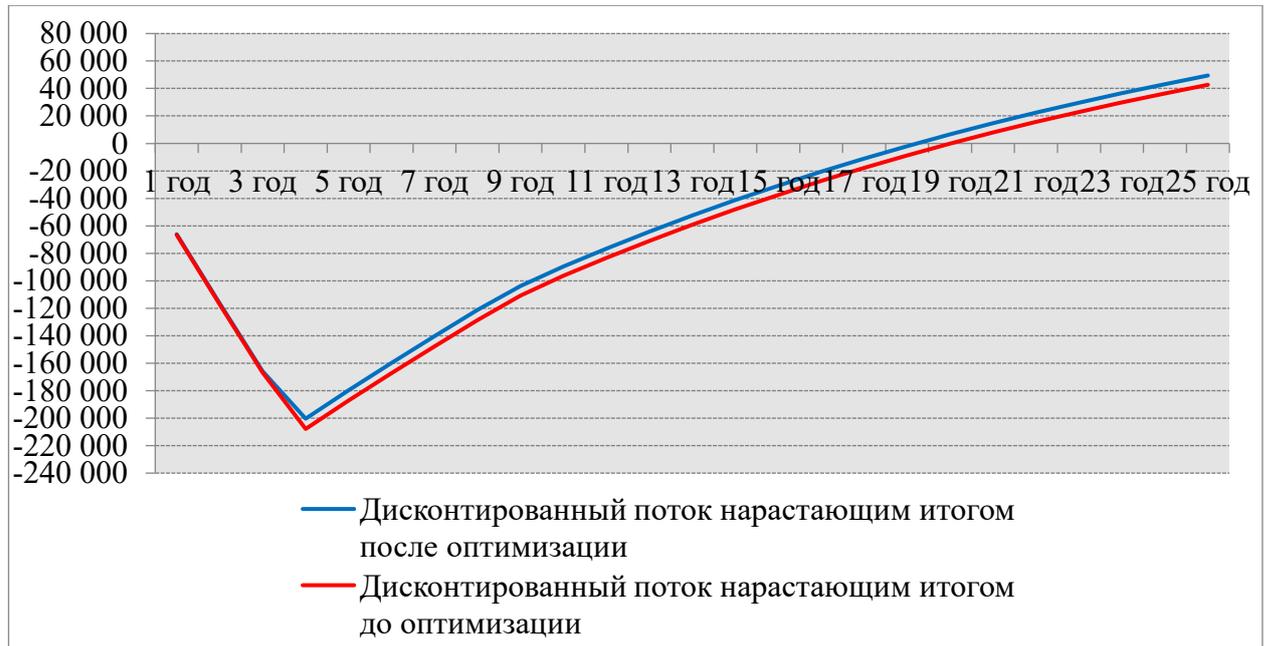


Рисунок 13 – Дисконтированный срок окупаемости проекта

Основные положения были внедрены с положительным эффектом на отдельных строящихся и реконструируемых объектах в г. Казань, г. Альметьевск. Также сформулированные автором положения по методике определения оптимальных трудозатрат при устройстве подземных этажей под существующими зданиями и сооружениями внедрены в учебный процесс в ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре «Технологий строительного производства» при изучении дисциплины Б1.В.ДВ.01.04 «Спецкурс по технологии и организации строительства» направления подготовки 08.03.01 Строительство. Профиль «Промышленное и гражданское строительство», при разработке рабочей программы соответствующей дисциплины и дипломном проектировании обучающихся соответствующего профиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих методов освоения подземного пространства существующих зданий показал, что разработка и совершенствование имеющихся организационно-технологических решений является актуальной задачей современного строительства. Решение данной проблемы возможно путем развития современных строительных технологий, организационных решений, цифровых технологий мониторинга и контроля качества выполненных работ.

По результатам выполненных исследований сформулированы следующие выводы:

1. В результате анализа нормативной, научно-технической литературы установлено, что существующие методы увеличения подземного пространства под

существующими зданиями не всегда могут быть применимы на практике. Необходимо совершенствовать вопросы оптимизации и поиск новых организационно-технологических решений при производстве работ. Необходим поиск и совершенствование методов контроля качества технологических процессов, используя более современные методы инструментального контроля.

2. Составлена классификация организационно-технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями и выявлены основные организационно-технологические аспекты, влияющие на эффективность производства строительно-монтажных работ.

3. На основе многокритериального анализа выявлены и обоснованы наиболее результативные организационно-технологические мероприятия на этапах разработки ПОС и мониторинга в процессе строительно-монтажных работ. Отобраны наиболее эффективные мероприятия, влияющие на организационно-технологические решения устройства подземного пространства под существующими зданиями.

4. На стадии разработки проектирования наибольшую значимость получили мероприятия по рациональным организационно-технологическим решениям процесса производства работ (28,6), на стадии производства работ – корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга (33,3). Для мероприятий на стадии проектирования и мониторинга наиболее важным является критерий «К4 – Обеспечение качества производства работ».

5. Разработана методика определения рациональных организационно-технологических решений при комплексном устройстве подземного пространства существующего здания на стадиях разработки элементов ПОС и мониторинга производства работ.

6. При мониторинге зданий и сооружений, в качестве геодезических средств измерений доказана возможность использования 3D сканера и высокоточного лазерного трекера. Для повышения точности геодезического мониторинга разработана универсальная конструкция геодезической марки.

7. Разработана технологическая последовательность работы приборов наземного лазерного сканирования (3D сканер, лазерный трекер), установлено среднее время работы и обработки информации с данными типами приборов и приведено сравнение с тахеометром, традиционно используемым во время геодезических измерений.

8. Выполнено внедрение результатов диссертационного исследования на объекте г. Казань, ул. Пушкина, 10. Даны рекомендации по организационно-технологическому содержанию каждого этапа. Доказана экономическая эффективность разработанных организационно-технологических решений на объекте внедрения (г. Казань, ул. Пушкина, 10): расчеты показали, что применение разработанных решений при устройстве подземного этажа позволит сократить сумму сметной стоимости на 1 403 тыс. руб. или на 0,67 %. Сокращение срока окупаемости составляет 0,38 года (4,4 %), что в денежном выражении соответствует разнице в NPV в 3 221 тыс. руб. Основные принципы организационно-технологических решений по увеличению подземных пространств

существующих зданий внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО КГАСУ при подготовке ВКР на кафедре ТСП, а также при изучении дисциплины и разработке рабочей программы «Спецкурс по технологии и организации строительства».

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

При дальнейшем развитии науки и техники, технологий строительства необходимо совершенствовать организационно-технологические подходы освоения подземных пространств существующих зданий с учетом стесненности строительной площадки и природно-климатических условий, объемно-планировочных, конструктивных решений и функционального назначения реконструируемых зданий.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий:

1. Галиев И. Х. Оптимизация подходов к производству строительных и реставрационных работ по сохранению исторических объектов // Известия КГАСУ. – 2010. – №2 (14). – С. 308-312.

2. Галиев И. Х. Научно-техническое сопровождение объекта культурного наследия дома купца Лисицына при проведении строительно-монтажных работ по его реставрации и реконструкции / И. Х. Галиев, А. Х. Ашрапов, Р. А. Ибрагимов // Известия КГАСУ. – 2018. – № 1(43). – С. 211-218.

3. Галиев И.Х. Мониторинг реконструируемых зданий с использованием 3D сканеров / И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов // Строительное производство. – 2021. – №3. – С. 19-26.

4. Зигангирова Л. И. Оптимизация технологических решений при устройстве подземного пространства существующих зданий / Л. И. Зигангирова, И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов, Ф. Р. Шакирзянов // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. Вып. 11. – С. 1528-1536. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1528-1536

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science:

5. Galiev I. Technology for reinforcing strip foundations of reconstructed brick buildings based on computer modeling / I. Galiev, R. Ibragimov, A. Ashrapov, O. Radaykin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 890 (2020). – 012140. – DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012140.

6. Galiev I., Ibragimov R., Zigangirova L., Akhmadulina N. Technological aspects in the development of underground space / I. Galiev, R. Ibragimov, L. Zigangirova, N. Akhmadulina // Paper presented at the AIP Conference Proceedings. – 2022. – 2559. – DOI: 10.1063/5.0099356.

7. Zigangirova L., Galiev I., Ibragimov R. Optimization of Technological Solutions for Underground Space Construction of Existing Buildings // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года.

Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 219-225. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_19.

Публикации в других научных журналах и изданиях

8. Галиев И. Х. Технологические особенности строительства подземных объектов под существующими зданиями / И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов // Строительное производство. – 2019. – № 1. – С. 82-85.

9. Галиев И.Х. Возможности 3D сканеров при мониторинге реконструируемых зданий / И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов, А. Х. Ашрапов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.А. Семенова. – Санкт-Петербург. – 2021. – С. 274-281

Свидетельства, патенты и др. результаты интеллектуальной деятельности, зарегистрированные в установленном порядке:

10. Патент № 210087 Российская Федерация, U1. Геодезическая марка / Галиев И. Х., Ибрагимов Р. А., Зигангирова Л. И. опубл. 28.03.2022. Бюл. № 10. – 5 с.

11. Патент № 2431718 C1 Российская Федерация, МПК E02D 27/48. фундамент реконструируемого здания: № 2010140599/03: заявл. 04.10.2010: опубл. 20.10.2011 / И. Х. Галиев; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный архитектурно-строительный университет".