

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



ГАЛИЕВ ИЛЬЯС ХАЛИМОВИЧ

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

2.1.7 Технология и организация строительства

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Ибрагимов Руслан Абдирашитович

Казань – 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ПОД СУЩЕСТВУЮЩИМИ ЗДАНИЯМИ.....	13
1.1. Проблемы урбанизации и пути их решения в аспекте комплексного использования городского подземного пространства.....	13
1.2. Существующие способы возведения подземных сооружений и опыт технологии передвижки зданий.....	21
1.3. Отечественный и зарубежный опыт освоения подземного пространства под реконструируемым зданием	27
1.3.1. Исследование отечественного опыта пересадки зданий на новые фундаменты	27
1.3.2. Зарубежный опыт реконструкции зданий с устройством новых подземных этажей.....	33
1.3.3. Анализ известных отечественных и зарубежных изобретений	40
1.4. Оптимизация организационно-технологических решений при устройстве подземных пространств под существующими зданиями	44
1.5. Анализ методов активного мониторинга и контроля качества производства работ при реконструкции зданий	46
Выводы по первой главе.....	52
ГЛАВА 2. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ ПОС И МОНИТОРИНГА	54
2.1. Формирование основных критериев и мероприятий, влияющих на оптимизацию организационно-технологических процессов.....	54
2.2. Ранжирование и обработка факторов, влияющих на выбор организационно-технологических решений по пересадке зданий	65
2.3. Построение математической модели.....	69

2.4. Многокритериальный анализ эффективности мероприятий на стадии разработки проекта и мониторинга.....	72
2.5. Определение приоритетов для совокупности критериев и мероприятий	104
Выводы по второй главе.....	107
ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ УСТРОЙСТВЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ НА СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ ПОС И МОНИТОРИНГА	108
3.1. Оптимизация организационно-технологических решений на стадии разработки ПОС	108
3.1.1. Построение расчетной модели.....	109
3.1.2. Многофакторный анализ определения оптимальных параметров технологических процессов.....	113
3.1.3. Определение трудоемкости и продолжительности работ.....	120
3.2. Контроль качества и оптимизация организационно-технологических решений на стадии мониторинга (реконструкции)	128
3.2.1. Анализ нормативной базы и применяемые приборы для геодезического мониторинга и контроль качества производства работ	128
3.2.2. Мониторинг на объектах реконструкции при устройстве подземных этажей по предложенной технологии, на примере объекта «Дома купца Лисицына» по ул. Пушкина в г. Казани»	134
3.2.3. Научно-техническое сопровождение объектов реконструкции с использованием приборов НЛС	142
3.2.4. Предлагаемая методика проведения мониторинга с использованием приборов НЛС	151
3.2.5. Определение трудозатрат при работе с приборами НЛС при мониторинге реконструируемых зданий.....	157
Выводы по третьей главе	163

ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	164
4.1. Разработка основных технологических этапов увеличения подземного пространства существующего здания.....	164
4.2. Экономическая эффективность устройства новых площадей под существующими зданиями и сооружениями на примере здания «Купца Лисицына» в г. Казани.....	170
4.2.1. Выбор оптимального варианта приспособления	170
4.2.2. Распределение и назначение помещений в объеме здания.....	171
4.2.3. Расчет экономической эффективности проекта.....	173
4.3. Результаты внедрения основных положений диссертационной работы..	180
Выводы по четвертой главе	181
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	182
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ А Программа мониторинга.....	213
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акты внедрения результатов исследования.....	246

ВВЕДЕНИЕ

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, 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. Лapidуса, 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 исследований**:

- анализ современных технологических методов устройства подземных пространств существующих зданий;
- выявление организационных, технологических и конструкционных 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 (ВIMАС 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 строительного-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 страниц 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.

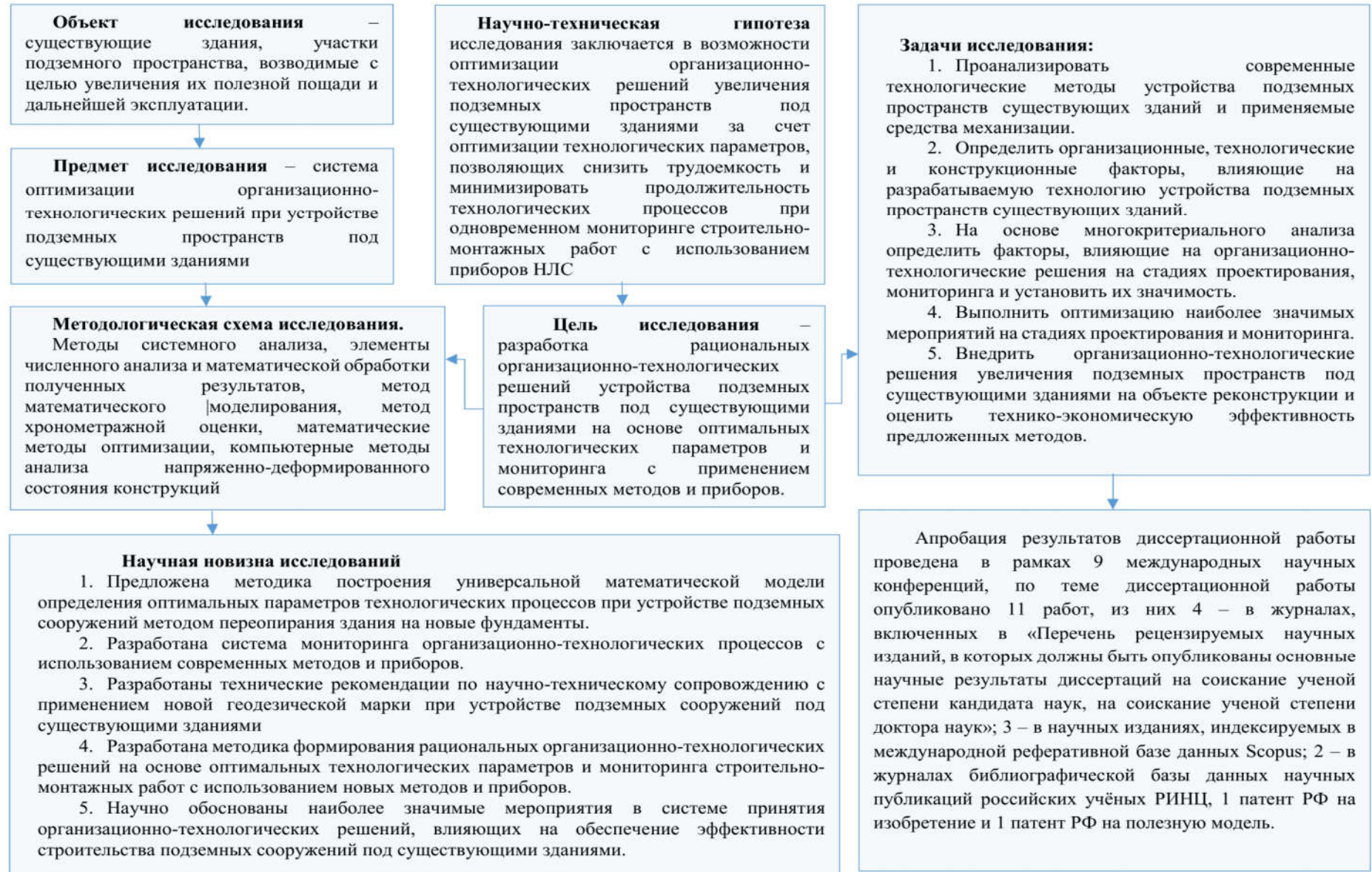


Рисунок 1 – Методологическая схема исследований

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ПОД СУЩЕСТВУЮЩИМИ ЗДАНИЯМИ

1.1. Проблемы урбанизации и пути их решения в аспекте комплексного использования городского подземного пространства

В условиях масштабного увеличения мирового населения, быстрого роста крупнейших городов мира, развития их инфраструктуры, стремительной активизации коммерческой деятельности – сохранение и приспособление объектов исторического и культурного наследия, расположенных в центральной части большинства городов в России и за рубежом, заслуживают особого внимания. Высокие темпы урбанизации, сокращение свободного пространства городской территории, и необходимость создания дополнительных площадей и ограничения по строительству новых высотных зданий в условиях сложившейся исторической застройки заставляют пересматривать подходы градостроительного планирования [26].

В настоящее время при планировании застройки городской территории отсутствует комплексный подход к освоению подземного пространства города для строительства в его объеме объектов с различным функциональным назначением. В связи с тем, что необходимо расширение территории транспортных развязок, улучшение экологической обстановки городов, озеленение, увеличение парковочных мест, сохранение исторического и эстетического вида зданий, к вопросам освоения подземного пространства в последние годы обращают все большее внимание. Освоение подземного пространства является важным направлением в строительстве новых объектов и в реконструкции уже существующих [202, 180].

Проблема усугубляется тем, что вместе с ростом мирового населения, наблюдается миграция сельского населения в городские агломерации. Согласно, статистическим данным международных организаций и институтов, урбанизация населения мира в ближайшие годы будет только увеличиваться от менее одного

миллиарда человек в середине XX века (38 % населения мира), до 4,6 миллиарда человек 2023 году (53 % населения мира). По прогнозам специалистов, к 2030 году городские жители составят 60% от общего населения планеты, а к 2050 году – 67 % (рисунок 1.1) [58, 192].

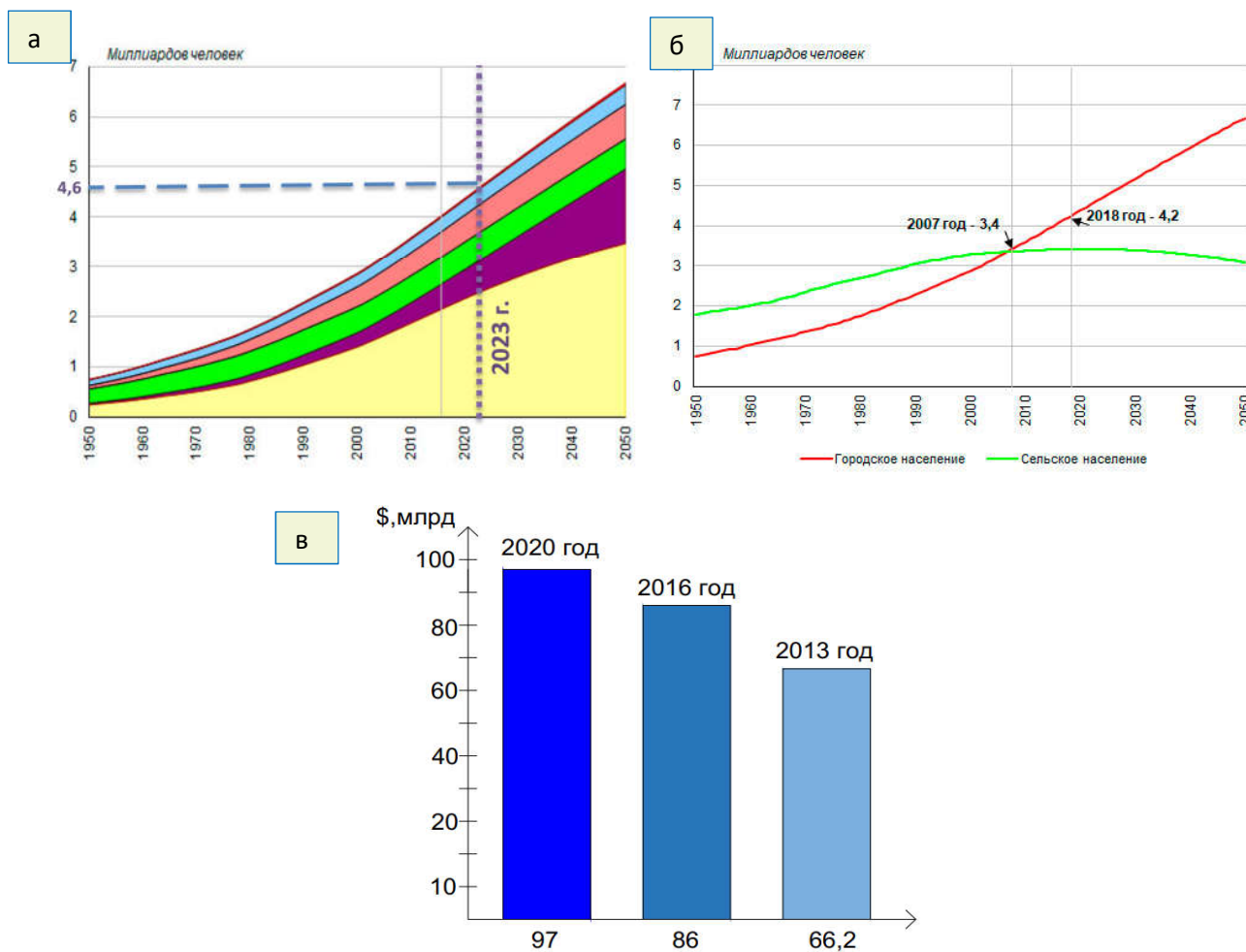


Рисунок 1.1 – Урбанизация. а) – численность городского населения по основным географическим регионам мира, 1950-2050 годы; б) – численность городского населения в процентах, те же годы, мир; в) - динамика увеличения объема мирового рынка подземного строительства в период с 2013 по 2020 гг.

Освоение подземного пространства является важным направлением в строительстве новых объектов и в реконструкции уже существующих. Одним из возможных решений данного вопроса является использование подземного пространства. В настоящее время при планировании застройки городской территории отсутствует комплексный подход к освоению подземного пространства города для строительства в его объеме объектов с различным функциональным

назначением. Освоение подземного пространства является важным направлением в строительстве новых объектов и в реконструкции уже существующих. В связи с тем, что необходимо расширение территории транспортных развязок, улучшение экологической обстановки городов, озеленение, увеличение парковочных мест, сохранение исторического и эстетического вида зданий, к вопросам освоения подземного пространства в последние годы обращают все большее внимание [202, 180].

Согласно, статистике данных международных организаций и институтов, урбанизация городов в ближайшие годы будет только увеличиваться от менее одного миллиарда человек в середине XX века (38 % населения мира), до 4,6 миллиарда человек 2023 году (53 % населения мира). По прогнозам специалистов, к 2030 году городские жители составят 60 % от общего населения планеты, а к 2050 году – 67 % [65, 190] (рисунок 1.1 а, б).

По данным Международной тоннельной ассоциации, объем мирового рынка подземного строительства в 2013 г. составил \$ 66,2 млрд, а в 2020 г. составляет \$ 97 млрд, что на 30 % больше [190] (рисунок 1.1 в).

Комплексное использование подземного пространства дает возможность совместно решать вопросы строительства новых зданий, инженерных коммуникаций, сокращать территории надземных строений, эффективно располагать вспомогательные объекты, сохранять исторические объекты, повышает экономическую эффективность зданий, обеспечивает «зеленую крышу» и освобождает пространство над землей [5, 6, 117, 22, 42].

Комплексное подземное строительство представляет собой сооружения различного назначения, условно их можно разделить на три группы:

1. Транспортная инфраструктура, включает транспортные развязки, пешеходные переходы между зданиями, тоннели, пересадочные узлы.
2. Инженерная инфраструктура – промышленные объекты, хранилища, системы водоснабжения и водоотведения.
3. Социальная инфраструктура – парковки, спортивные, административные, торговые сооружения, театры, объекты оборонного комплекса и т.д.

Возможность создания системы комфортных городских надземных и подземных условий представлены на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Блок-схема предпосылки комплексного освоения подземного пространства

Рост подземного пространства во всем мире с каждым годом становится более ощутимым, влияние государства на регулирование данных вопросов дает возможность широкому и всестороннему развитию для комплексного освоения подземного пространства [83, 177, 127, 143, 119]. Для регулирования строительства подземного пространства в Российской Федерации готовится к выходу новый свод правил «Градостроительство. Планировка и застройка подземного пространства».

В городе Казань развитие освоения подземного пространства города предусмотрено Решением Казанской городской Думы от 14.12.2016 № 2-12 «О стратегии социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года» и другими правоустанавливающими документами городского и республиканского значения [126, 120, 121]. Городские программы по развитию города Казань к 2030 предусматривают создание системы наземных и подземных автостоянок для временного хранения легковых автомобилей с обязательным выделением мест под бесплатную автостоянку в центральной части

города, систематизацию жилой и коммерческой застройки, корректировку и фиксацию береговой линии рек Волга и Казанка и создание в центральной части города бизнес центра, аналогичного «Москва-Сити» с привлечением к проекту малазийских специалистов по градостроительному планированию. Также важным принципом градостроительного планирования г. Казань является сохранение, реставрация и приспособление объектов культурного наследия и развитие инфраструктуры города в тенденциях расширения туристической привлекательности. В свое время часть исторических зданий была утрачена, после чего в Правительстве Республики Татарстан (далее – РТ) оптимизированы решения с акцентом на сохранение памятников культурного наследия. Проблема освоения подземного пространства исторического центра города Казани была описана в трудах [130, 26, 69].

Снос и уничтожение исторических зданий с целью застройки их территории новыми объектами, так называемая «руинизация», привлекает огромное количество заказчиков и инвесторов, и зачастую происходит невосполнимая утрата важных и ценных культурно-исторических памятников. Что касается города Казани, то под угрозой находятся в основном строения, связанные с деятелями многонациональной культуры: поэтом Габдуллой Тукаем, композитором Салихом Сайдашевым, Федором Шаляпиным, Карлом Фуксом, Фатихом Амирханом, Каримом Тинчуриным и др., а также ряд зданий историко-культурной заповедной территории Старо-татарской слободы, часть из которых уже утрачена:

- здание бывшей редакции газеты «Аль-Ислах» по ул. Тукаевская, 63, где Г. Тукай выпускал газету, снесено в 1991 году;

- здание бывшей гостиницы «Булгар», снесено в 2008 году, и др. (рисунок 1.3);

- здание по ул. Тукаевская, 79, где родился и жил революционер Хусаин Ямашев, где бывал Г. Тукай – исключено из списка памятников и утрачено в 2005 году;

- здание бывшего училища по ул. Петербургская, 58, где учился Ф. Шаляпин, утрачено в 2004 году.

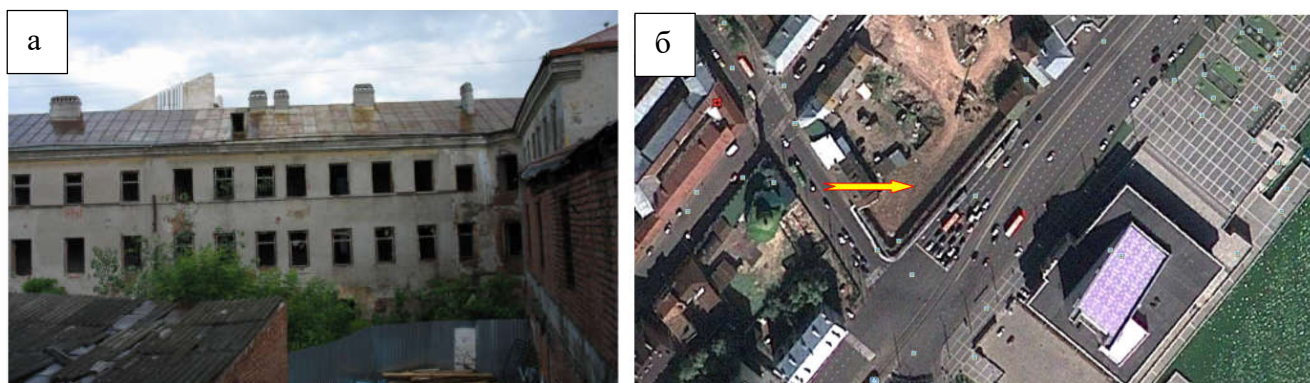


Рисунок 1.3 – Бывшее здание «Номеров «Булгар», г. Казань: а) вид тыльной стороны со двора здания лавок Юнусовского мусульманского детского приюта. Фотография сделана в июне 2008 года – за два месяца до сноса исторического архитектурного памятника XIX века; б) участок, на котором ранее располагалось здание «Номера «Булгар»

Реконструкция и реставрация зданий и сооружений представляют собой весьма сложный комплекс строительных работ, направленных на восстановление надземных и подземных конструкций памятников. Впервые методика сохранения и возрождения первоначального исторического вида зданий была утверждена на Всероссийской реставрационной конференции 12-18 апреля 1921 года в виде «Основных положений реставрации памятников архитектуры». Принципы, выдвинутые ее основоположником архитектором В. В. Суловым и творчески развитые П. П. Покрышкиным и К. К. Романовым, не утратили своего значения до настоящего времени. Главные из них – максимальное сохранение подлинности сооружения; обоснование дополнений, вносимых в процессе реставрации, на основе изучения исторических документов; осуществление всех видов реставрационных работ только с разрешения и под контролем государственных органов по охране памятников. Справедливость этих реставрационных постулатов была также подтверждена решениями Венецианской Хартии, принятой II Международным конгрессом архитекторов и технических специалистов в 1964 году [26].

Важным аспектом освоения подземных пространств является изучение гидрогеологических условий. К примеру, в работе [48] установлено, что инженерно-геологические районы в пределах города Казань весьма разнотипны,

обладают различной естественной и техногенной направленностью изменчивости инженерно-геологических условий. На территории города наблюдаются процессы подтопления: гидротехническим подтоплением охвачено 18 % территории, 26 % и 39 % территории обладают также опасностью строительного подтопления, которые частично совпадают с зонами просадочных и карстующихся грунтов.

Многие многонаселенные развитые страны работают над улучшением состояния подземного пространства. К ним относятся Канада, Китай, Япония, Финляндия, Сингапур, Великобритания, Швеция и др. [215, 211, 208, 41].

В городе Хельсинки (Финляндия) разработан генеральный план подземного пространства города. План включает в себя площади для гражданских зданий, спорта, транспорта, парковки, хранения, учреждений, объекты обороны и т.д. К примеру, в Хельсинки к 2014 году насчитывалось более 4400 подземных бомбоубежищ, обеспечивающих жителей финской столицы укрытиями на 125 % [214, 41].

В Канаде, в заброшенных тоннелях, создали подземную общественную зону Монреаля, названную «RESO» – по-французски «La Ville Souterraine» или «Подземный город». Проект позволил объединить значительные площади торгового пространства (около 2000 магазинов), пешеходные пространства, парковочные места (43 автостоянки), 200 ресторанов, 1200 офисов, 34 кинотеатра, станции метрополитена и многое другое. Подземный город имеет 190 входов, ежедневный поток людей составляет порядка 500 тысяч человек, площадь составляет порядка 12 км², при этом на прогулки по городу не влияет плохая погода. Выход в подземный город имеют около 20 музеев, множество гостиниц и бизнес-центров, школ и университетов [190, 64].

Высокая стоимость земли в мегаполисах способствует развитию освоения подземного пространства городской территории, достигая сверхглубоких уровней, в которых размещаются объекты различного назначения: сети инженерно-технического обеспечения, туннели; транспортные, социальные и оборонные объекты, хранилища топлива, углеводородов и др. Популярность использования собственниками земельных участков подземного пространства вынудило власти

Сингапура внести дополнения в законодательство, ограничив право собственников на разработку недр на глубину до 30 м, более глубокие уровни остаются в собственности муниципалитета (государства). На рисунке 1.4 представлена схема планирования и размещения подземных объектов различного назначения в Сингапуре на глубину свыше 150 м [194].



Рисунок 1.4 – Планирование освоения подземного пространства в Сингапуре (2020 год)

Развитие подземного пространства включается в программы градостроительного планирования, для чего создаются трехмерные модели недр.

Помимо уменьшения надземных городских территорий, объекты, расположенные ниже дневной отметки, имеют следующие преимущества:

- увеличение полезной площади объектов при сохранении существующей постройки;

- термическая стабильность грунта;

- не требуются затраты на внешнюю отделку, фасадные работы;

- большие сроки эксплуатации (200–500 лет);

- изолированность от поверхностных воздействий (шум, погодные условия, вибрации, радиоактивность и т. д.),

- особый микроклимат, низкое содержание пыли в воздухе;

- возможность устройства в подземных сооружениях оборонных объектов и др.

-- рациональное и экономичное расположение промышленных помещений, инженерных сетей.

При этом до настоящего времени возникают сложности при решении следующих технологических вопросов:

- сложные грунтовые условия;
- высокая стоимость и продолжительность подземного строительства;
- ограниченность по функциональному назначению;
- отсутствие естественного освещения;
- риск деформаций либо обрушения при строительстве подземных объектов под существующими зданиями и др.

Известны примеры отечественного опыта устройства подземных пространств под существующими зданиями в городах Москва, Санкт-Петербург, Саратов и др. [118, 54, 10, 65, 55, 165, 155, 156, 7, 129]. Однако несмотря на определенные предпосылки и продвижения, освоение подземного пространства российских городов отстает по масштабам и комплексности в совокупности требований и тенденций общемирового развития 20-х годов XXI века. К примеру, мировой опыт функционирования схожих с Москвой городов показывает, что оптимальные условия для устойчивого развития территорий достигаются при доле подземных сооружений от общего числа построенных объектов не менее 20-25 %. В «Старой Москве» этот показатель составляет около 8 % несмотря на то, что уже построены, например, торговый центр «Охотный ряд», многофункциональный наземно-подземный комплекс «Москва-Сити», разветвленная сеть метро и строятся крупные подземные объекты [58, 83, 177].

1.2. Существующие способы возведения подземных сооружений и опыт технологии передвижки зданий

Освоение подземного пространства в стесненных условиях и плотной городской застройке требует применения современных технологий строительства,

детальной проработки проектных решений, высокой квалификации рабочих и должного уровня безопасности труда. Основными технологиями для возведения подземных сооружений в классическом представлении являются методы «стена в грунте» и декартные методы, более известные как «top-down».

Применение метода «стена в грунте» при развитии подземного пространства дает возможность снижения финансовых затрат, за счет отсутствия методов по укреплению откосов, понижению уровня грунтовых вод, а в стесненных городских площадках, может быть, одним из единственно используемых способов. Технология применяется в случае высокого уровня подземных вод, при необходимости выполнения большого объема земляных работ, также в случае необходимости выполнения сложной формы здания в плане. Данный метод подходит для устройства подземных сооружений в стесненных городских условиях, противодиффузионных завес, туннели мелкого заложения для метро. Классификация технологии «Стена в грунте» на основе анализа литературы [14, 136, 32, 197, 122] представлена на рисунке 1.5. Основные технологические этапы метода «стена в грунте» достаточно подробно описаны в работах [136, 32, 197, 122, 95, 16, 103].

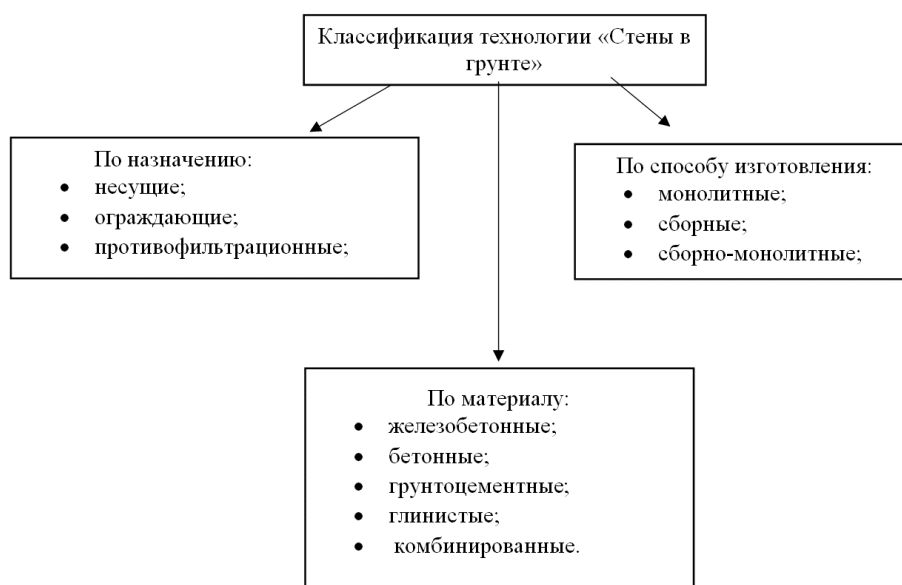


Рисунок 1.5 – Классификация технологии «стена в грунте»

Основные преимущества метода «стена в грунте» заключаются в: отсутствии необходимости разработки котлованов; уменьшении объемов земляных работ; высокой несущей способности. Недостатками данной технологии являются: слабое сцепление арматуры и бетоны; высокая стоимость технологии; сложность производства в зимних условиях [94, 78].

Освоение подземного пространства в стесненных условиях и плотной городской застройке требует применения современных технологий строительства, детальной проработки проектных решений, высокой квалификации рабочих и должного уровня безопасности труда, что приводит к развитию и внедрению новых технологий. В результате свое широкое применение получили декартные методы производства работ [4, 137, 13, 151]. В случае необходимости строительства зданий с развитой подземной частью, данный метод дает возможность ускорить процесс строительства за счет одновременного ведения работ в подземной и надземной части [153]. Технологии делят на два вида: закрытый способ; полузакрытый способ.

Наибольшее применение и развитие данная технология нашла в азиатских странах: Китай, Гонконг, Малайзия [196, 200, 216, 204, 175, 15, 212, 217]. Широкое применение обусловлено тем, что данная технология позволяет производить работы в стесненных городских условиях, сократив риск отрицательного воздействия на близлежащие здания и грунты основания [3, 18, 81, 170, 53].

Технологии «top-down» включает в себя следующие этапы: 1) устройство шпунтового ограждения с изготовлением свай по периметру или устройства «стены в грунте» [63, 105]; 2) устройство плиты перекрытия, являющейся нулевой отметкой для верхнего подземного этажа [87, 80]; 3) строительство одновременно надземной части здания с подземной частью с возведением необходимых конструкций [209, 93].

К основным преимуществам данной технологии относится:

- возможность ведения строительных работ в условиях плотной городской застройки;

- снижение отрицательного влияния строительства на близлежащие застройки [145].

К основным недостаткам относятся:

- принятие сложных технологических решений, что ведет к детальной проработке проектной документации, тщательной и ответственной работе со стороны подрядных организаций [43, 213, 201];

- удорожание процесса строительства [21, 71].

Как и в зарубежных странах, в России также активно развиваются технологии по развитию подземного пространства. В Санкт-Петербурге, Перми, Москве возводят здания с применением технологии «top-down» [159]. Например, строительство подземного паркинга апартаментов «Грани» методом «Top-down» [171].

Анализируя способы разработки подземного строительства достаточно сложно отметить универсальные варианты для строительства всех типов объектов [86, 176, 160, 27]. Развитие данных видов технологий позволит внедрить большее количество подземных объектов, что приведет к устойчивому развитию городского пространства.

На пути решения вопроса переопирания зданий на новые фундаменты заслуживает внимания опыт **подъема, поворота и переноса зданий**.

Впервые технологию перемещения здания применили в эпоху Возрождения. В 1455 году итальянский архитектор и инженер из Болоньи Ридольфо Аристотель Фьораванти (1415–1486) передвинул в своем родном городе Болонье колокольню церкви «Санта Мария Маджоре» [9].

Далее информация о подобном опыте в мире отсутствует. Начиная с 1870-го года встречаются примеры передвижки небольших зданий в США. Наиболее масштабным можно считать передвижку 552 домов на расстояние порядка 2,5 км в 1925 году в Осборне в связи с предстоящим наводнением [188].

В России передвижки активно начались в 30-е годы XX века в Москве. Тогда проходила масштабная реконструкция города в том числе с расширением улиц. Системную перестройку городов было поручено выполнять под руководством

инженера Эммануила Генделя (1903-1994). Он впервые передвинул мешавшую трамвайную подстанцию массой 320 тонн с Тверской на 2-ю Брестскую (не сохранилось). Это вдохновило новатора на то, что передвижка зданий станет хорошей альтернативой сносу зданий в Москве при масштабной реконструкции.

В 1936 году при Моссовете под руководством Генделя был создан «Трест по передвижке и разборке зданий» и были выполнены передвижка ряда зданий памятников с 1937 по 1975 годы и выпрямление исторических объектов с 1954 по 1988 гг, среди которых наиболее известны: передвижка пятиэтажного жилого дома N 77 по Садовнической улице в связи с перемещением трассы Садового кольца при строительстве Большого Краснохолмского моста – 88-метровый корпус, перемещённый без отселения людей – 1937 (1938) г.; выпрямление минарета мечети Биби-Ханым в Самарканде, 1972 г. и др.

Технологические операции, выполняемые при подготовке к передвижке здания во многом аналогичны технологии переопирания здания на новые фундаменты. Несмотря на то, что этот способ редко применяется, в настоящее время известен ряд организаций, специализирующихся в этом вопросе: «Expert House Movers», «Wolfe» и др. (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Передвижка здания церкви XIX в, г. Сейлем, штат Массачусетс, США

Технологические операции, выполняемые при подготовке к передвижке здания во многом аналогичны технологии переопирания здания на новые

фундаменты. В работе [31] рассмотрены методы подъема и переноса исторических зданий за рубежом. Для переноса зданий авторы [188, 9, 96, 31, 163, 173] рассматривают две основные технологии: 1) метод подтягивания, где используется система полиспастов и электролебедок; 2) использование гидравлических домкратов.

В технологии передвижки зданий в аспекте настоящего диссертационного исследования преимущественный интерес представляют начальные – подготовительные – технологические операции, производимые на конструктивных элементах зданий:

- обследование технического состояния здания;
- выполнение мероприятий по повышению жесткости зданий;
- отключение и переключение инженерных коммуникаций;
- устройство временных конструкций (остова), воспринимающих вес здания, и включение их в работу;
- прорезка старых фундаментов и переопирание здания на временные конструкции.

Далее в технологии передвижки зданий обычно выполняют подъем здания на высоту 50-100 мм при помощи домкратов для того, чтобы осуществить горизонтальное перемещение здания над оставшимися фундаментами. На данном этапе важно соблюдать синхронность подъема во избежание неравномерных деформаций здания.

На следующем этапе при помощи домкратов либо лебедок выполняется передвижка здания обычно на тележках (иногда самоходных) на колесном ходу, либо реже по рельсам, при этом траектория перемещения может быть прямолинейной, радиальной и с поворотом, а также с изменением высотной отметки.

1.3. Отечественный и зарубежный опыт освоения подземного пространства под реконструируемым зданием

1.3.1. Исследование отечественного опыта пересадки зданий на новые фундаменты

Развитие подземного пространства под существующими зданиями является актуальной темой для больших мегаполисов, особенно для центральных частей города с плотной исторической застройкой [6]. К примеру, в Республике Татарстан на 2017 год насчитывалось (включая памятники археологии) порядка 1500 объектов культурного наследия (далее – ОКН), в том числе 71 объекта федерального значения, 415 объектов регионального значения, 305 объектов муниципального значения и порядка 500 вновь выявленных объектов [148, 79]. По состоянию на 2020 год в г. Казань установлено 412 зданий, относящихся к ОКН различного значения, и при этом порядка 100 вновь выявленных объектов [148].

В большинстве случаев при реконструкции зданий выполняется лишь усиление фундаментов, без разработки подземного пространства. В настоящее время существует множество методов усиления, однако при реставрации зданий необходимо более тщательно подходить к этому вопросу, учитывая новейшие разработки в этой области. Для получения наилучшего результата, обеспечения дополнительного запаса прочности на перспективу изменения геотехнических условий оснований здания необходимо в комплексе применять указанные приемы, в особенности мероприятия, направленные на передачу нагрузок от зданий на более глубокие слои грунта. Для этого, в первую очередь, необходимо обеспечить жесткость и неизменяемость надземных конструкций зданий, после чего приступать к подземным работам.

Увеличение подземного пространства связано с целью создания дополнительных новых помещений [5]. Анализ основных направлений использования подземного пространства приведен на блок-схеме на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Основные причины использования подземного пространства существующих зданий

Выбор технологии усиления оснований и фундаментов зависит от категории состояния здания, а также категории риска предполагаемых работ по консервации, реставрации либо реконструкции. Реконструкция в общем понимании может быть связана с изменяющимися нагрузками на существующие фундаменты за счет дополнительных надстроек, замены деревянных перекрытий железобетонными, изменения технологии и др. Однако в современных условиях масштабной урбанизации, уплотнения городской застройки и сохранения исторически ценных объектов культурного наследия (зачастую имеющих значительный моральный и физический износ, не отвечающих современным требованиям градостроительного проектирования), в приоритетном порядке необходимо прорабатывать варианты пересадки реконструируемых объектов на заглубленные фундаменты и возможность использования дополнительного подземного пространства под существующими зданиями.

Основополагающими при выборе технологии увеличения подземного пространства являются ряд организационно-технологических факторов, такие как, оптимальный выбор средств механизации по разработке внутреннего грунта, оснащенность подрядной организации квалифицированными кадрами,

рациональная организация процесса производства работ, оптимизация времени (сезонности) проведения работы, обеспечение логистики строительных материалов и оборудования, выбор стабильных источников финансирования, организация мониторинга при производстве работ, а также ряд других факторов, связанных с конструктивными особенностями здания, состоянием грунта и условиями проведения строительно-монтажных [70, 19, 147, 183]. Разработанным на сегодня оборудованием можно выполнять работы по усилению оснований и фундаментов технологично, быстро, надежно, с минимальным использованием ручных операций [164, 188, 9, 96, 113, 146].

Одним из наиболее ярких примеров увеличения подземного пространства в России является Большой театр в г. Москва (рисунок 1.8) [198].

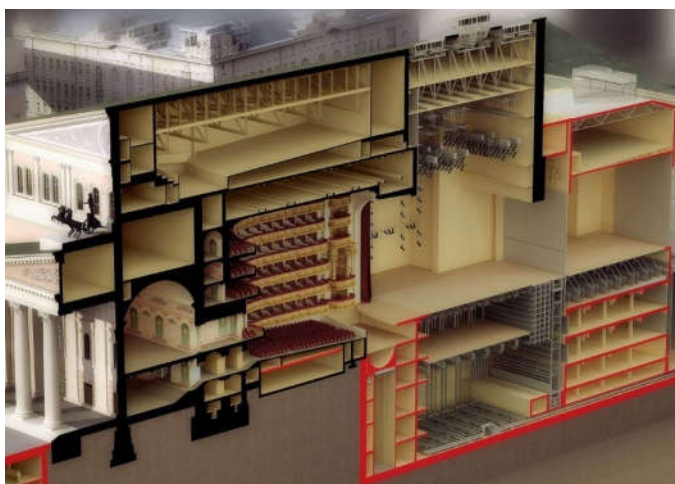


Рисунок 1.8 – Концепция устройства подземных этажей Большого театра в Москве

Необходимость реконструкции была вызвана множеством причин, в том числе то, что театр стоял на сваях из дуба. На протяжении многих лет уровень воды снижался, что привело к возникновению дефектов в здании и к разрушению свайного основания. Наиболее благоприятным способом расположения вспомогательных новых помещений было в подземном пространстве [198].

Новое подземное пространство расположилось под фонтаном, имеет сложную конфигурацию в несколько уровней. Общая площадь театра была увеличена в 2 раза и составила 80 000 м², возведение подземной части было выполнено на глубину более 20 метров. Сама реконструкция осуществлялась в несколько этапов.

Первый этап предполагал подготовку всех проектных, рабочих документов, утверждение новых подземных этажей и реконструкцию самого существующего здания.

Второй этап был направлен на возведение нового фундамента и разработку подземной части театра.

Третий этап предполагал реконструкцию надземной части здания, демонтаж и усиление конструкций крыши здания и помещений, не отвечавших необходимым требованиям.

При мониторинге отслеживались напряженно-деформационные состояния конструкций по результатам показаний измерительных систем: оптоволоконных датчиков деформаций, закладных и накладных тензометров, струнных датчиков деформаций и др. (рисунок 1.9). Закладные тензометры при помощи коммуникационных кабелей были присоединены к двум измерительным модулям. Передача данных от модулей к центральному измерительному пункту осуществлялась в беспроводном режиме. Большинство измерений осуществлялось в автоматическом режиме. На графике показано, как возрастали напряжения в бетоне в период срезки свай.

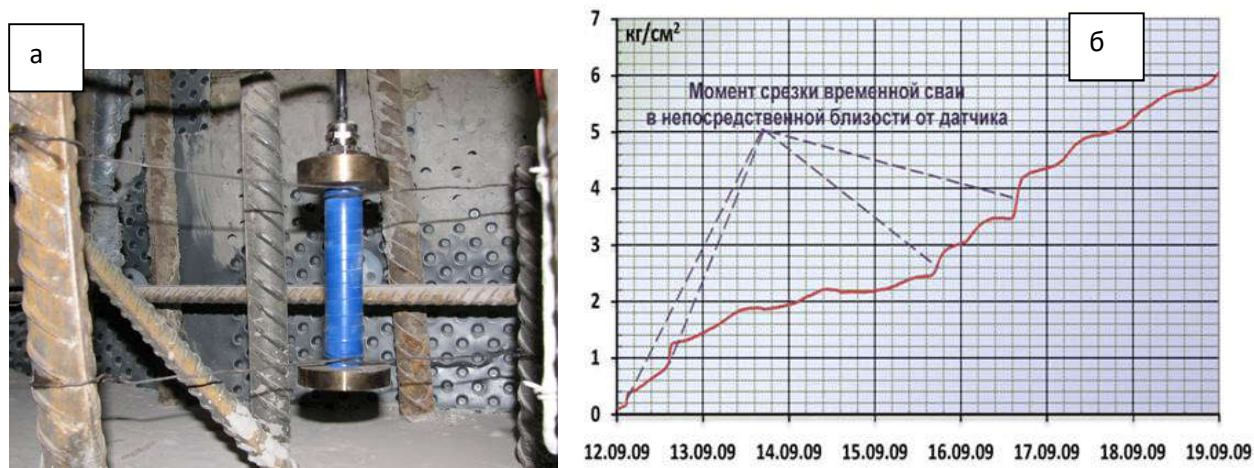


Рисунок 1.9 – Система пассивного мониторинга при реконструкции ГАБТ РФ: а) - закладной тензометр ТЗБ-100, закрепленный проволоками в заданной ориентации перед заливкой бетоном; б) – рост напряжений в бетоне. Зоны быстрого увеличения напряжения соответствуют времени срезания временных свай

Целью мониторинга является контроль напряженного состояния железобетонных стен подземного пространства в узлах сопряжения с перекрытиями третьего уровня, так как в данных местах ожидалось максимальные деформации в процессе срезки временных свай [168].

Другими примерами пересадки зданий на новые фундаменты являются здание Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке (рисунок 1.10) [129], устройство подземного объема второй сцены Мариинского театра [156], реконструкция Каменноостровского театра [165, 155, 156] (рисунок 1.11), «Дом купца С. Д. Лисицына – В. Д. Емелина, во флигеле которого 1 (13) февраля в 1873 г. родился певец Ф. И. Шаляпин» в г. Казани (рисунок 1.12) [27] и др.

Проектом реконструкции Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке 2014 года предусмотрено переопирание существующих бутовых фундаментов при помощи нового плитно-свайного фундамента. В качестве свай использовались стальные вдавливаемые сваи круглого сечения $\varnothing 219$ мм. В объеме, ограниченном свайным рядом, образован подземный этаж, а также выполнена надстройка дополнительного этажа. Дополнительно было выполнено усиление фундаментов торцевой стены при помощи бурозавинчиваемых свай $\varnothing 219$ мм (впервые в Саратове), что позволило выполнить новые пристройки к зданию [129].

Здание Каменноостровского деревянного театра в Санкт-Петербурге было пересажено на сваи «Titan» длиной 18 м. Для передачи нагрузки от существующих стен на сваи был разработан оригинальный узел опирания. По обеим сторонам каждой стены были выполнены железобетонные балки, соединенные между собой через предварительно пробуренные в цоколе отверстия. Под обвязочным поясом устраивался проем, в котором размещалась металлическая балка, опирающаяся на пару вертикальных свай. Балки поддомкрачивались, нагрузка от стен передавалась на сваи. После этого были разобраны выключенные из работы старые фундаменты [165, 155, 156].



Рисунок 1.10 – Реконструкция саратовской областной филармонии им. А. Шнитке, г. Саратов, 2014 г.



Рисунок 1.11 – Каменноостровский деревянный театр, Санкт-Петербург, 2008-2010 гг.



Рисунок 1.12 – Реконструкция «Дома купца С. Д. Лисицына – В. Д. Емелина, во флигеле которого 1 (13) февраля в 1873 г. родился певец Ф. И. Шаляпин» в г. Казани, 2017 г.

1.3.2. Зарубежный опыт реконструкции зданий с устройством новых подземных этажей

Зарубежными примерами использования подземных пространств под существующими зданиями могут быть «Реконструкция в Оксфордском университете», Великобритания, 2019 г., «Часовня Санта-Лузия», Сан-Паулу, Бразилия, 2018 г., сохранение существующего здания John Lewis Partnership (JLP), Эдинбург, Шотландия [186, 191, 193, 189, 187]; «Национальный театр Греции» – реновация с углублением подземного пространства в 2006 – 2009 гг.; выполнены подземные залы в «Мадридском королевском театре» [64], комплекс из 19 исторических зданий по адресу 655 Нью-Йорк Авеню, Вашингтон, округ Колумбия, 20 001, США, 2019 г. и др. объекты.

В Куинс-колледже в Оксфорде под историческим садом была интегрирована новая библиотека, примыкающая к существующей библиотеке, являющейся памятником архитектуры [186] (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Центральная часть Ascland House, расположенная на плите распределения нагрузки, Оксфорд, 2019 г.

Компания «Praeter Engineering» участвовала в одном из крупнейших строительных проектов в Шотландии. В проекте «St. James Quarter» работы включали сохранение существующего здания «John Lewis Partnership», в то же время позволяя продолжить строительство под эксплуатируемым зданием. Было

выполнено 9 колонн, поддерживающих южную сторону здания «JLP», которые были успешно «подняты домкратом» на временные эстакады, существующие бетонные колонны были прорезаны под опорной пластиной захвата и удалены [187] (рисунок 1.14).

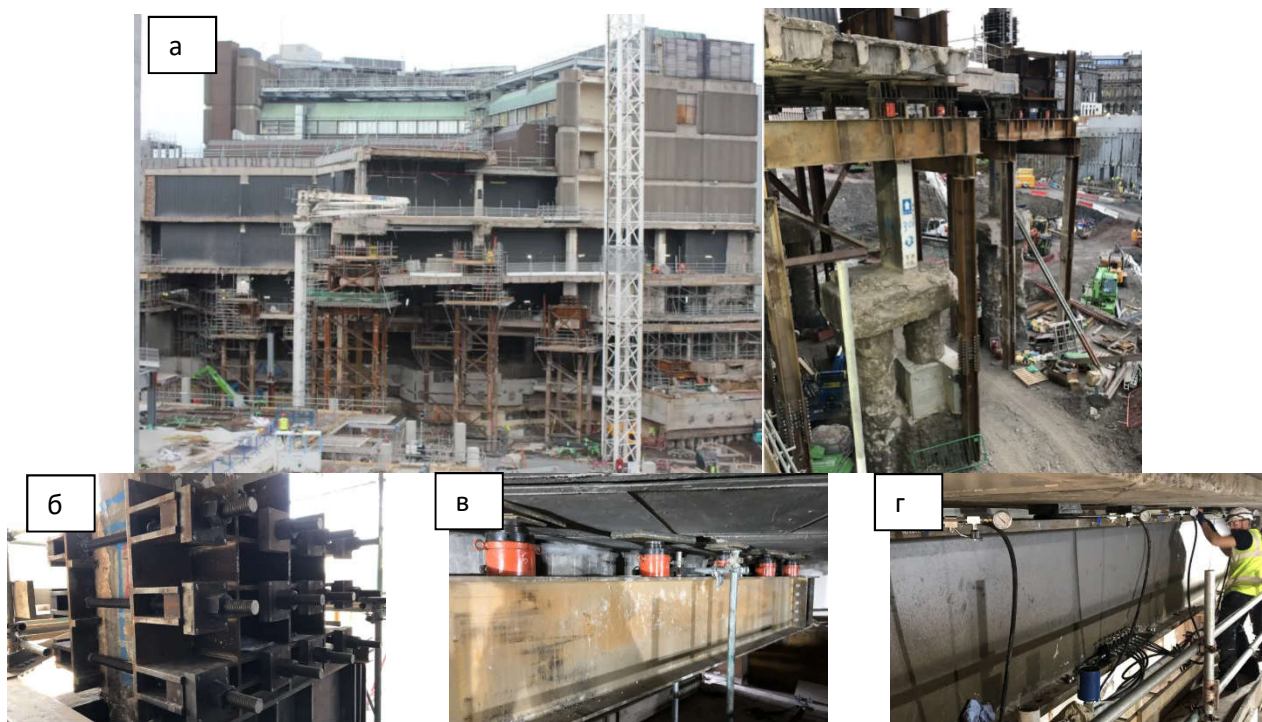


Рисунок 1.14 – Подъемные механизмы при реконструкции здания «Эдинбург Сент-Джеймс», Эдинбург, Шотландия, 2021 год. а – общий вид, б – стержни Macalloy; в – плоские домкраты Praeter FJ12–FJ48; г – тензодатчики

Существующие колонны поддерживались захватами для стальных конструкций путем натяжения нескольких стержней через колонну и вокруг нее. Нагрузки на эстакады варьировались от 100 т до 450 т, дополнительные балки, проходящие между эстакадами, поддерживали новый конструктивный стык существующих плит. Подрядчик применил комбинацию гидравлических цилиндров и плоских домкратов для поддержки существующей надстройки в сочетании с тензодатчиками и системой круглосуточного мониторинга в режиме реального времени. После того, как земляные работы были завершены, нагрузка от существующих колонн была перенесена на новые колонны.

В проекте были применены: гидравлические цилиндры: 32 x 200Т, плоские домкраты Praeter FJ12–FJ48, 16 тензодатчиков по 200 тонн. Выполнялся постоянный мониторинг, натяжение стержней Masalloy составляло до 100 000 кН.

Завершенный в 2019 году многофункциональный комплекс в Нью Йорке включает 19 исторических зданий в новый конгломерат застройки [193]. При реконструкции территории выполнялась передвижка отдельных зданий, а также пересадка отдельных зданий на новые фундаменты (рисунок 1.15).

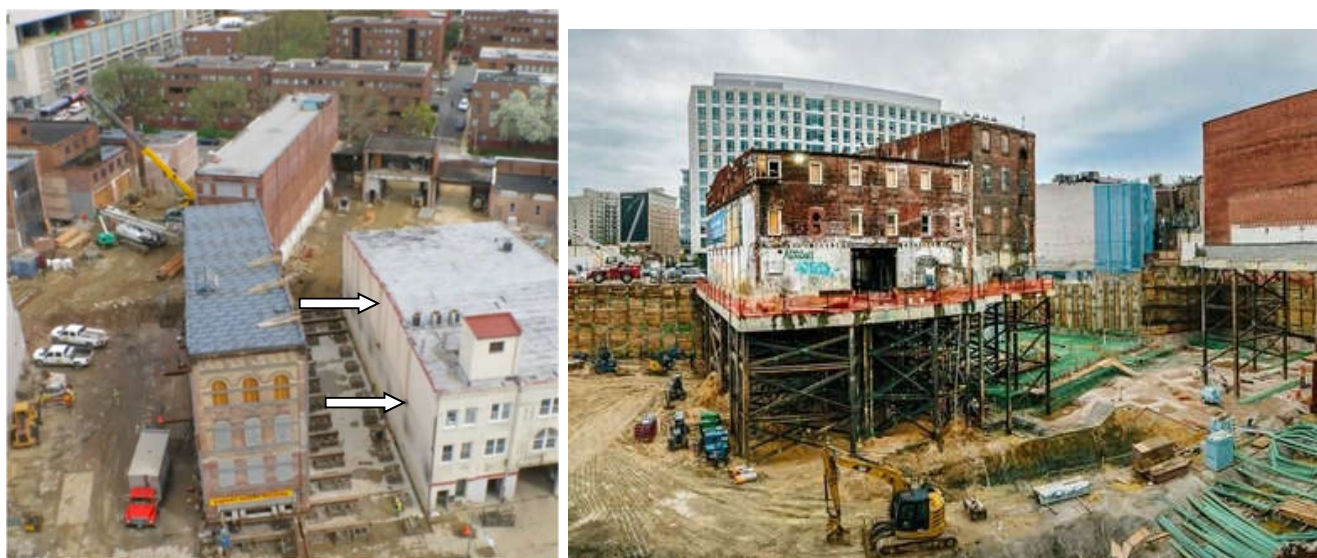


Рисунок 1.15 – Реконструкция комплекса зданий с передвижкой и разработкой подземного пространства. Нью-Йорк-авеню, 655, Вашингтон, округ Колумбия, США, 2019 г.

Технология пересадки часовни «Капелла де Санта-Луиза» в Бразилии имеет некоторые отличия от общепринятой технологии, но идентичные с запатентованной нами технологией [113]: ввиду относительно небольших размеров здания, свайный ряд выполнен только по наружному контуру здания, под здание проведены металлические балки, в их плоскости выполнена сплошная железобетонная плита, которая стала новым полом церкви, имеет длину 19 метров, ширину 17 метров и толщину 1,15 метра, опирающаяся на сваи по периметру, служащая для восприятия нагрузок от наружных и внутренних стен здания, а затем также выполнена разработка грунта. Вес часовни составляет 1075 тонн. Глубина свай составляет 54 метра, диаметр 1 метр. Каждая из свай поддерживает 500 тонн. Проектная глубина подземного сооружения 31 м [191] (рисунок 1.16).

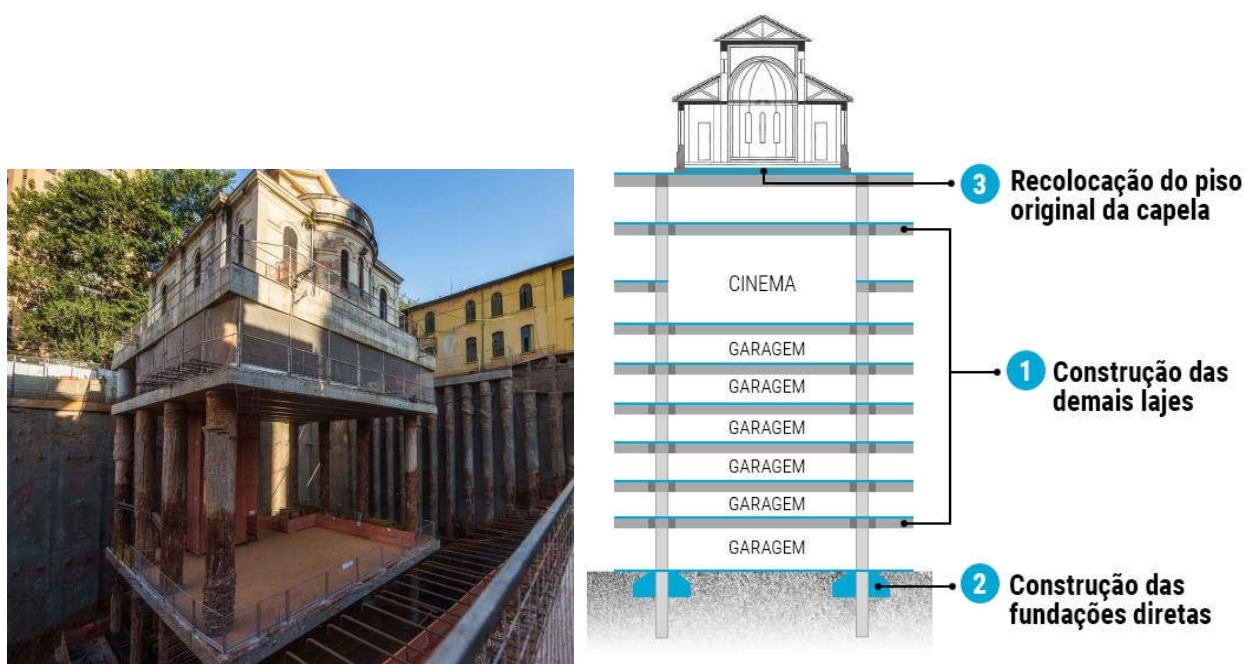


Рисунок 1.16 – Разработка подземного пространства часовни Санта-Лузия в Сан-Паулу, Бразилия, 2018 г.

Дом Джона Ирвина 1873 г. — это историческое строение, расположенное в, одно из старейших сохранившихся жилых зданий в его окрестностях, расположен по адресу 21 Grenville Street. В 2012, 2013 и 2014 годах квартал вокруг дома был перестроен в 50-этажное высотное здание, и были проведены мероприятия сохранения дома Джона Ирвина (рисунок 1.17).

Дом был временно перенесен на бетонную платформу, поддерживаемую глубокими сваями, которые проходили через несколько подземных этажей к скале. По окончании реконструкции, проектом предусмотрено приспособление исторического здания под объект коммерческого назначения.

На основе анализа реализованных объектов установлено, что технология пересадки зданий, применяемая в зарубежных проектах, в целом, идентична общепринятой схеме:

1. Выполняется усиление остова реконструируемого здания;
2. При необходимости, либо в случаях, когда площадь пятна застройки подземного объекта превосходит площадь реконструируемого здания, отсекается периметр котлована подвала временными секущимися сваями, либо шпунтом, связанными ростверком;



Рисунок 1.17 – Дом Джона Ирвина 1873 г., Торонто, Канада. Реконструкция 2014 г. Эдинбург Сент-Джеймс

3. Устройство буронабивных свай снаружи и изнутри стен здания с учетом обеспечения несущей способности в период и после окончания разработки подземной части;

4. В уровне обреза фундамента выполняется ростверк либо рандбалки, либо сплошная железобетонная плита;

5. Устройство дополнительных временных конструкций, обеспечивающих пространственную устойчивость системы реконструируемое здание – новый фундамент в период выполнения СМР (связи, распорки и т.п.).

6. Собственно разработка вмещающего грунта под зданием в пятне застройки подземного объекта.

7. Устройство новых фундаментов реконструируемого здания.




8. Временные сваи срезаются на цокольной плите и под переходной плитой, оставляя здание опирающимся на постоянную конструкцию.

Полученные материалы обобщены в таблице 1.1, выделены критерии эффективности мероприятий при устройстве дополнительных полезных площадей.

Таблица 1.1 – Оценка эффективности мероприятий на объектах реконструкции

Объект	Фото	Мероприятие / Критерий				
		Усиление надземных конструкций / ограничение горизонтальных перемещений	Применение приборов НЛС при мониторинге	Соблюдение плановых сроков / плановых трудозатрат	Стоимость реконструкции / Полезная площадь новых помещений	Принцип выбора средств механизации
1	2	3	4	5	6	7
«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 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

Продолжение таблицы 1.1.

1	2	3	4	5	6	7
Комплекс New York Avenue, Вашингтон, 2019 (США)		Выполнено/ Не выполнено	Нет данных	Нет данных	54 млн. долларов / 7000 м ²	Нет данных
Дом Джона Ирвина, Торонто, 2014 г.(Канада)		Не выполнено / Выполнено	Не применялись	Нет данных	– / 360 м ²	Исходя из стеснённых условий
St. James Centre, Эдинбург, 2021 г. (Шотландия)		Выполнено/ Не выполнено	Не применялись	Нет данных	850 млн. евро / 26 тыс. м ²	Нет данных

1.3.3. Анализ известных отечественных и зарубежных изобретений

В области совершенствования технологических решений устройства подземных этажей под существующими зданиями с пересадкой зданий на новые фундаменты глубокого заложения встречаются изобретения отечественных и зарубежных авторов.

В большинстве изобретений при устройстве подземного многоярусного пространства под существующим зданием предлагаются различные варианты метода «top-down», позволяющие вести работы в закрытом пространстве под защитой ранее выполненных конструкций [70].

Известен патент, опубликованный в 2003 году [111]. В качестве фундаментов глубокого заложения выполняются трубобетонные сваи, объединенные монолитным ростверком (рисунок 1.18), расположенные в проекции стен здания. Разработка подземного пространства и устройство перекрытий нижележащих этажей выполняется методом «top-down».

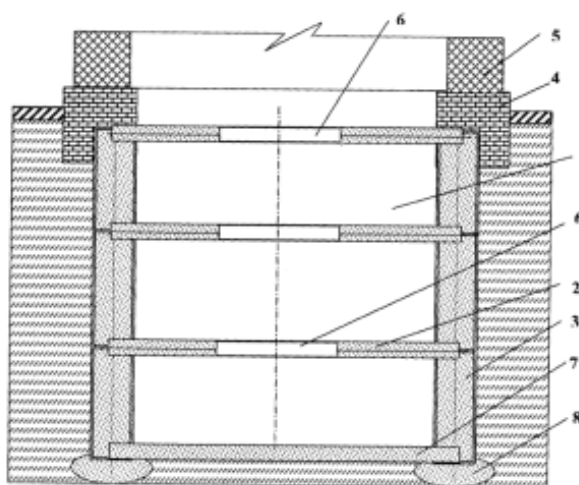


Рисунок 1.18 – Схема устройства подземного этажа по патенту 34946: 1 – подземное помещение; 2 – перекрытия; 3 – сваи (стена в грунте); 4 – фундамент; 5 – реконструируемое здание; 6 – проем; 7 – плита силового пола подземного этажа; 8 – опорная подушка

Другой патент для устройства подземных этажей под реконструируемым зданием был опубликован в 2004 г. [110]. В данном изобретении предлагается устройство наружного ряда буронабивных свай, объединенных железобетонной

плитой под контуром стен в отметке около 0.000. Разработка подземных этажей также выполняется методом «top-down» (рисунок 1.19).

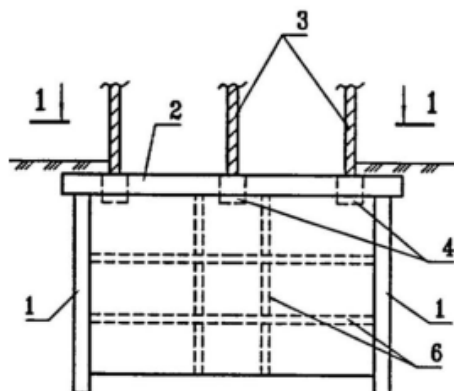


Рисунок 1.19 – Схема устройства подземного этажа по патенту 2225916: 1 – стены подземного сооружения; 2 – железобетонная несущая плита; 3 – несущие стены здания; 4 – фундаменты; 6 – конструкции подземных этажей

Продолжением развития направления являются технологические решения, описанные в полученных автором патентах № 2431718 от 2011 года [113] и [112] (рисунок 1.20).

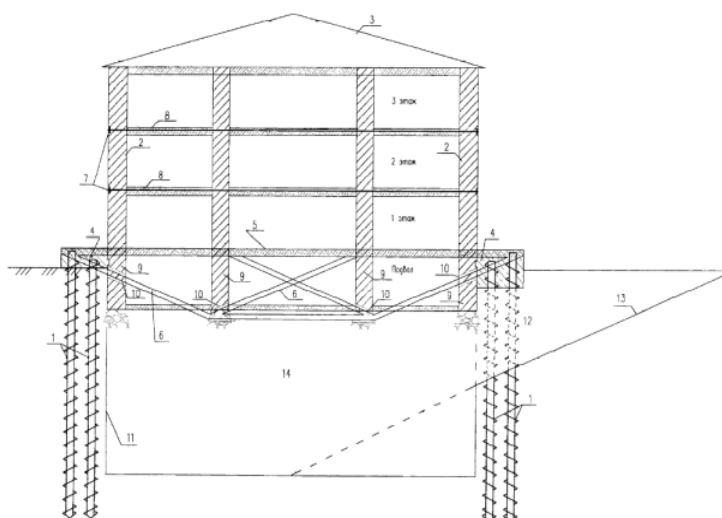


Рисунок 1.20 – Схема устройства подземного этажа по патенту 2431718: 1 – одинарный либо двойной ряд свай; 2, 3 – здание; 4 – сложный ростверк; 5 – ж/б плита; 6 – стержни ферм; 7 – пояса усиления; 8 – перекрытия; 9 – стена подвала или цокольного этажа; 10 – отверстия для стержней ферм; 11 – объем подземного объекта; 12 – порталый проем; 13 – пандус; 14 – грунт

В изобретении усовершенствованы технологические решения по устройству подземной части реконструируемых зданий: предлагается устройство одинарного

либо двойного ряда винтовых свай (за счет чего снижается вероятность вертикальных и горизонтальных деформаций); опорная плита, передающая нагрузку от веса здания на фундаменты, усилена пространственной фермой; разработку грунта вмещающего пространства подземного объекта предлагается вести через внешний пандус; сделан акцент на необходимость повышения жесткости собственно здания за счет усиления поясами.

В качестве примера зарубежных разработок можно привести патент CN110886507A от 2020 года, разработанный китайскими новаторами [206]. В изобретении предлагается устройство ограждающих стен в грунте по периметру здания, новых фундаментов глубокого заложения из ряда винтовых свай непосредственно под контуром стен реконструируемого здания, предлагается авторская конструкция ростверков, а сваи в объеме подземного сооружения усилены связями. Дополнительно предлагаются варианты устройства подземного объекта с пятном застройки превышающим и меньше реконструируемого здания (рисунок 1.21).

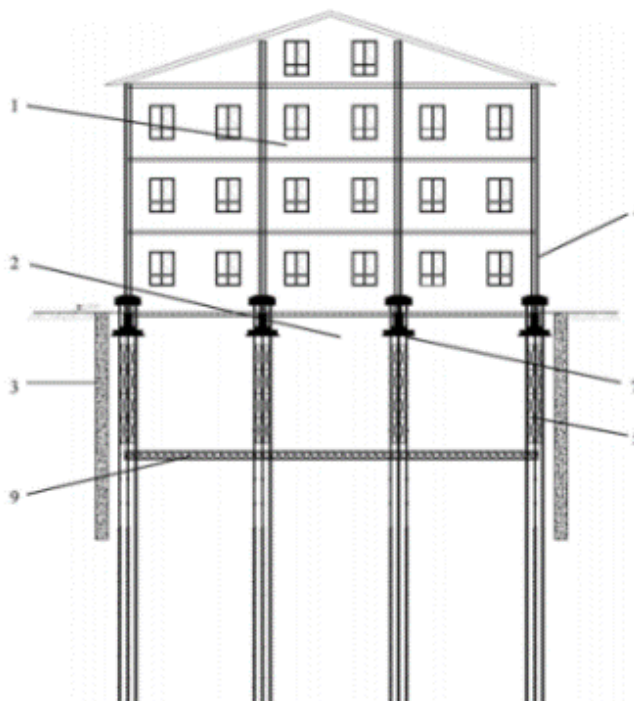


Рисунок 1.21 – Схема устройства подземного этажа по патенту CN110886507A: 1 – здание; 2 - подземное сооружение; 3 - контур ограждения подземной части; 4 - существующие стены и/или колонны строительных конструкций; 5 – связи по сваям; 7 - оригинальный фундамент; 9 - нижняя плита подземного сооружения

В другом китайском патенте, посвященной каркасным зданиям (патент CN102182325B от 2012 года) [205], предлагается устройство временных фундаментов, поддерживающих столбчатые фундаменты, устройство буроинъекционных свай под подошвой фундаментов в проекции колонн, демонтаж временных фундаментов и устройство подземного объекта по новой фундаментной плите (рисунок 1.22).

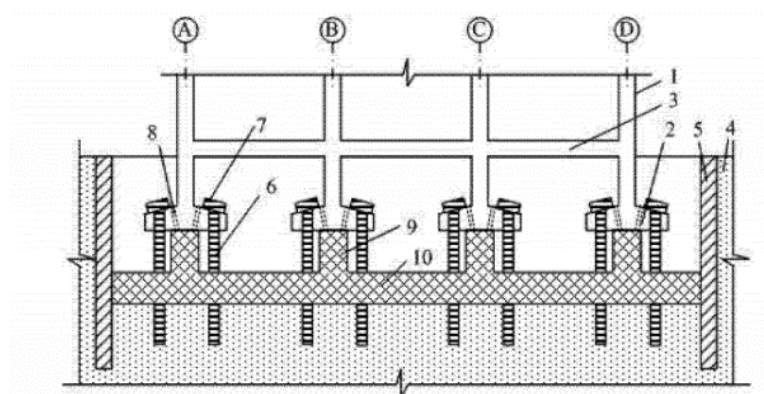


图 8

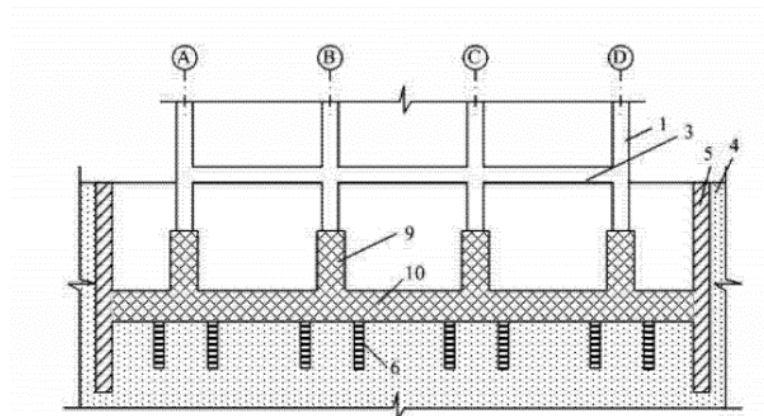


Рисунок 1.22 – Схема устройства подземного этажа по патенту CN102182325B: 1 – колонна здания; 2 – столбчатый фундамент; 3 – перекрытие; 4 – грунт; 5 – подпорная стена; 6 – свая; 7 – амортизирующий колпачок; 8 – буросекущие сваи; 9 – новое основание колонны; 10 – новая фундаментная плита

Анализ тенденции патентных разработок в России и за рубежом, показывает, что в последние годы наблюдается увеличение количества изобретений в области устройства подземных пространств под существующими зданиями, что подчёркивает актуальность данного направления.

1.4. Оптимизация организационно-технологических решений при устройстве подземных пространств под существующими зданиями

Возведение и реконструкция объектов может осуществляться по различным организационно-технологическим схемам, обусловленным множеством факторов, взаимосвязанных между собой, по-разному влияющих на процесс возведения, итоговую продолжительность и стоимость проекта. Каждый из факторов, в свою очередь, также может характеризоваться несколькими признаками.

Формирование организационно-технологического решения - это сложный процесс, с большим количеством вовлеченных участников и заинтересованных сторон [144]. Во многих случаях при оценке строительных проектов используют экспертные методы оценок [218, 102, 24].

Основными критериям оценки эффективности строительного производства при осуществлении строительства и реконструкции объектов являются: сокращение продолжительности реализации проекта, обеспечение качества, соответствие стоимости строительства либо реконструкции, обеспечение производственной, экологической безопасности проекта и др. Данные показатели прорабатываются на стадии разработки проекта и предполагается их реализация на этапе проведения работ. Однако, как показывает практический опыт, на стадии осуществления проекта зачастую происходят нарушения графика, что отражается на продолжительности проведения работ, сметной стоимости строительства (реконструкции), качестве строительной продукции и т. д.

На основании исходной информации выполняется подготовка организационно-технологических решений, в которой должны быть учтены конструктивные особенности объекта, внешние ограничивающие факторы (стесненность условий, временные рамки, транспортное обеспечение, логистика и др.), наличие трудовых ресурсов в районе строительства и др.

Для оценки организационно-технологических решений применяются методы и способы их измерения. Перспективными представляются методы оптимизации, в частности методы оптимизации крупномасштабных задач, которые успешно применяются при наличии всей необходимой информации. Основной проблемой

использования методов многокритериальной оптимизации, в частности методов построения множеств Парето и др. при решении задач, позволяющих формализовать ограниченное число параметров, является также проблема взаимной корреляции различных критериев.

Ранжирование критериев по значимости может быть достигнуто экспертными методами, например, методом Дельфи, методом экспертных оценок и др. Результаты, полученные в процессе опроса экспертов, подлежат математическому анализу, в ходе которого будет установлена согласованность рангов путем определения степени совпадения мнений экспертов [203, 179, 181].

Оптимизации организационно-технологических решений при возведении подземных частей объектов высотного строительства, уникальных зданий, отраслевых комплексов и коммуникаций посвящены труды ученых П. П. Олейника, А. А. Лapidуса, А. Н. Гайдо, З. Р. Мухаметзянова, Е. А. Разумновой, И. М. Юдиной, Р. А. Ибрагимова, Л. А. Сулеймановой и др. [203, 123, 167, 174, 99, 98, 97, 44, 45, 109, 100, 51, 46, 23, 158, 135, 219, 72, 134], обоснованию принятия технических решений по освоению подземного пространства мегаполисов посвящены работы Б. А. Картозии, Д. С. Конюхова, О. А. Маковецкого и др. [68, 69, 115, 82, 60, 184, 85], заслуживает внимания исследования А. Н. Гайдо по оценке эффективности производства свайных работ по критерию технологичности [24].

Для решения задач оптимизации принятия организационно-технологических решений в последнее время наблюдается тенденция оценки параметров проектных решений на основе нейросетевых моделей [218].

По результатам анализа трудов вышеупомянутых ученых установлено, что, что имеющийся массив исследований в основном посвящён вопросам нового строительства: высотного, подземного, промышленного и др. – и не решает задачу совершенствования и обоснования оптимальных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями. Как следствие, проработка данного вопроса является актуальной задачей.

1.5. Анализ методов активного мониторинга и контроля качества производства работ при реконструкции зданий

Вопросы контроля качества строительных конструкций рассмотрены в работах Г. Г. Азгальдова, И. А. Акимовой, А. А. Афанасьева, Г. М. Бадьина, А. Х. Байбурина, В. В. Верстова, А. Н. Кузнецова, А. А. Лapidуса, Ю. Б. Монфреда, П. П. Олейника, А. Г. Тамразяна, В. И. Теличенко, А. Ф. Юдиной и других ученых.

Важным этапом при контроле качества является мониторинг за состоянием здания [210, 90]. Одним из видов мониторинга является геотехнический мониторинг – это комплекс инженерно-геодезических измерений, которые проводятся с целью выявления деформаций существующего здания до начала производства работ, либо во время проведения строительных работ, для того чтобы обеспечить безопасность строительства и избежать возможных необратимых процессов в конструкциях.

В задачи мониторинга входит обеспечение надежности системы «основание-сооружение» строящегося или реконструируемого объекта, близ расположенных зданий и сооружений, недопущение негативных изменений окружающей среды, разработка технических решений предупреждения и устранения отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля за выполнением принятых решений [68]. Систему мониторинга реконструируемого здания можно представить в следующем виде (рисунок 1.23):

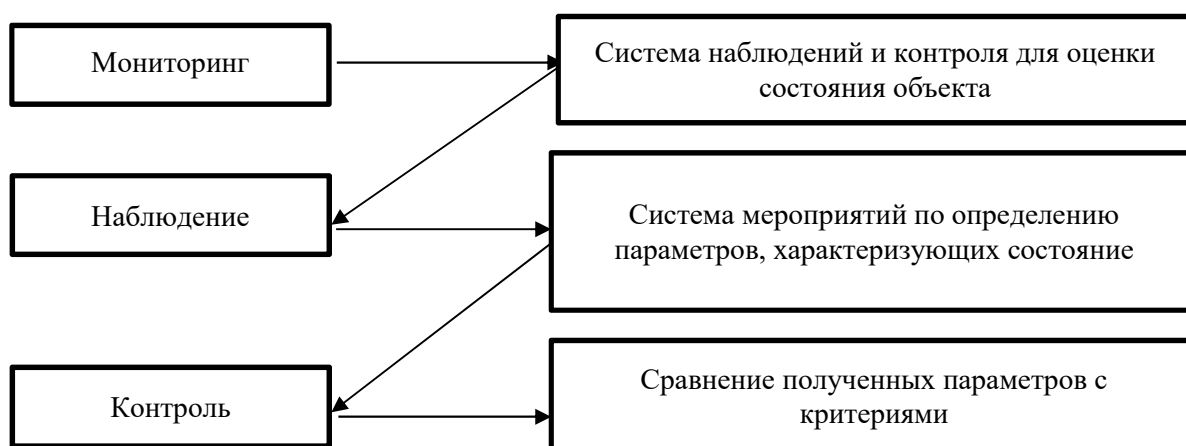


Рисунок 1.23 – Система мониторинга

До начала проведения мониторинга собирается и анализируется архивный материал, содержащий информацию о техническом состоянии здания, сооружения или жилого комплекса, выполненных ремонтных работах, акты и предписания специализированных эксплуатационных организаций о состоянии инженерного оборудования [116, 139, 141, 34]. На основании этих данных выдается задание на обследование технического состояния здания с учетом особенностей зданий, имеющихся дефектов и повреждений, действующих эксплуатационных и внешних нагрузок, агрессивных воздействий, планируемых работ по реконструкции и предстоящих условий эксплуатации. Составляется программа проведения мониторинга, где должны быть указаны, методика выполнения работ, сроки их продолжительность и вид получаемых результатов.

На сегодняшний день в части нормативной документации по проведению научно-технического сопровождения (далее – НТС) существуют: пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных «МРДС 02-08»; технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий, и сооружений «ТР 182-08» [140, 167].

Однако данные документы распространяются на уникальные здания и сооружения, либо применимы только к объектам в г. Москве, следовательно, существует необходимость по разработке единого руководящего документа, содержащего в себе концепцию программы проведения видов работ по НТС на различных стадиях реализации проекта (объекта): от проектирования до эксплуатации. В целях систематизации работ по НТС, по состоянию на август 2022 года в РФ по инициативе коллег из «НОПРИЗ» и «НИУ МГСУ» разработан проект свода правил по проведению НТС на стадии изысканий и проектирования. На очереди СП по проведению НТС на стадии строительства, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений.

Известны примеры проведения научно-технического сопровождения на таких объектах как: храм Христа Спасителя, монумент Победы на Поклонной горе, высотные здания ММДЦ «Москва-Сити», высотные здания на проспекте Маршала Жукова и на ул. Наметкина, стадионы «Лужники», «Локомотив», «ЦСКА», «Зенит», «Сатурн», «Новатор», Ледовый дворец спорта, здание библиотеки МГУ им. М.В. Ломоносова, жилой комплекс на Карамышевской набережной, восстановительные работы Останкинской телебашни после пожара, реконструкция Большого Устьинского, Астаховского и Новоспасского мостов, третье транспортное кольцо, в том числе крупнейшее сооружение этого кольца – Лефортовский транспортный тоннель, Курьяновская, Солнечногорская, Люберецкая, Щелковская станции водоочистки в Московской области, Большой театр, Центральный выставочный зал «Манеж», деловые и жилые высотные комплексы «Воробьевы горы», «Алые паруса», Гостиницы «Москва» и «Ритц Карлтон», крытый конькобежный центр в Крылатском, Ледовый дворец на Ходынском поле, аэровокзалы «Внуково 2» и «Шереметьево 3», объекты Олимпиады Сочи-2014, Гагаринский тоннель Третьего транспортного кольца, Подземный комплекс на площади Павелецкого вокзала и др. [167, 8, 104, 55, 101, 129].

В процессе геодезического мониторинга широкое использование получили электронные тахеометры, имеющие погрешность измерений до 3-5 мм в зависимости от модели и условий съемки. В электронно-оптических тахеометрах используется фазовый метод. Также среди последних тенденций, появляются модели, оснащенные сервоприводом (роботизированные тахеометры), самостоятельно направляющем ось луча на отражатель, что делает их схожими с лазерными трекерами [152, 59].

В последнее время для работ по мониторингу широкое распространение получили 3D сканеры различных типов [61, 76, 132]. По принципу действия данные типы приборов разделяют на контактные и бесконтактные. Наиболее широко

распространены бесконтактные типы сканеров. Такие сканеры получили название наземные лазерные сканеры (далее – НЛС), либо 3D сканерами.

Известны исследования применения приборов наземного лазерного сканирования при мониторинге в процессе строительства зданий и сооружений учеными университетов Сибирская государственная геодезическая академия, Кубанский государственный технологический университет и авторами Д. А. Гура, В. А. Середович, А. В. Середович, Р. А. Ибрагимов, Peng Feng, Yichong Zou, Lili Hu, Tian Qiao Liu и др. [210, 61, 76, 132, 207, 28, 57, 56, 37, 77, 39, 131, 133, 92, 30]. Полученные по результатам сканирования облака точек упрощают проведение обмерных работ и повышают их точность, позволяют решать задачи реверс-проектирования с получением 3D-модели объекта (что также позволит воссоздать объекты культурного наследия в случае их полной либо частичной утраты), проведения контроллинга строительно-монтажных работ (далее – СМР) в том числе с технологией дополненной реальности, а также создавать масштабные модели зданий на 3D-принтерах. Авторами сделаны выводы о достаточности точности измерений для проведения геодезического мониторинга, полученных при помощи приборов НЛС.

В статьях [77, 39, 67] описывается использование приборов НЛС для мониторинга, однако при анализе данных установлено, что авторы использовали для привязки GPS-позиционирование и выполняли сравнение результатов сканирования по координатам марок, которые оказались идентичны в обоих измерениях. На практике, как показывает опыт, точность GPS-позиционирования является довольно грубой и привязать прибор при повторных наблюдениях с повышенной точностью является довольно сложной задачей.

Для периодического мониторинга наземных объектов с использованием НЛС в настоящее время ведутся разработки программного обеспечения, например, специалистами ПАО «Транснефть», ООО «НИИ Транснефть» и ООО «Транснефть-Восток» разработана программа для выявления перемещений и изменений геометрических форм зданий и сооружений площадочных объектов при обработке

данных периодически проводимых обследований с применением наземного лазерного сканирования (НЛС) [131]. Авторы патента разработали программное обеспечение, позволяющее выполнять мониторинг площадочных объектов с использованием приборов НЛС, однако алгоритма работы программы в открытых источниках не обнаружено.

В соответствие техническими характеристиками, точность сканирования 3D-сканеров составляет порядка 2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м и до 5 мм на 50 м. На практике, при сложной конфигурации объекта, неблагоприятных условиях сканирования, большого количества дальних объектов и некачественном уравнивании данных, погрешность зачастую превышает указанные значения. В связи с этим требуется проверка данной гипотезы и поиск более точных методов мониторинга для своевременной и оперативной корректировки организационно-технологических решений.

Таким образом, осуществление контроля технологических процессов увеличения подземного пространства реконструируемых зданий при устройстве подземных объектов под существующими зданиями, является актуальным, и необходимо разрабатывать более совершенные методы инструментального контроля технологических процессов.

Проанализировав опыт реализации известных объектов в РФ и за рубежом, установлено, что, несмотря на имеющиеся наработки в области пересадки зданий, отсутствует систематизация организационно-технологических решений, на основе которых выполняется устройство подземных объектов по предложенной технологии. В связи с этим, автором предложена классификация организационно-технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями (рисунок 1.24).

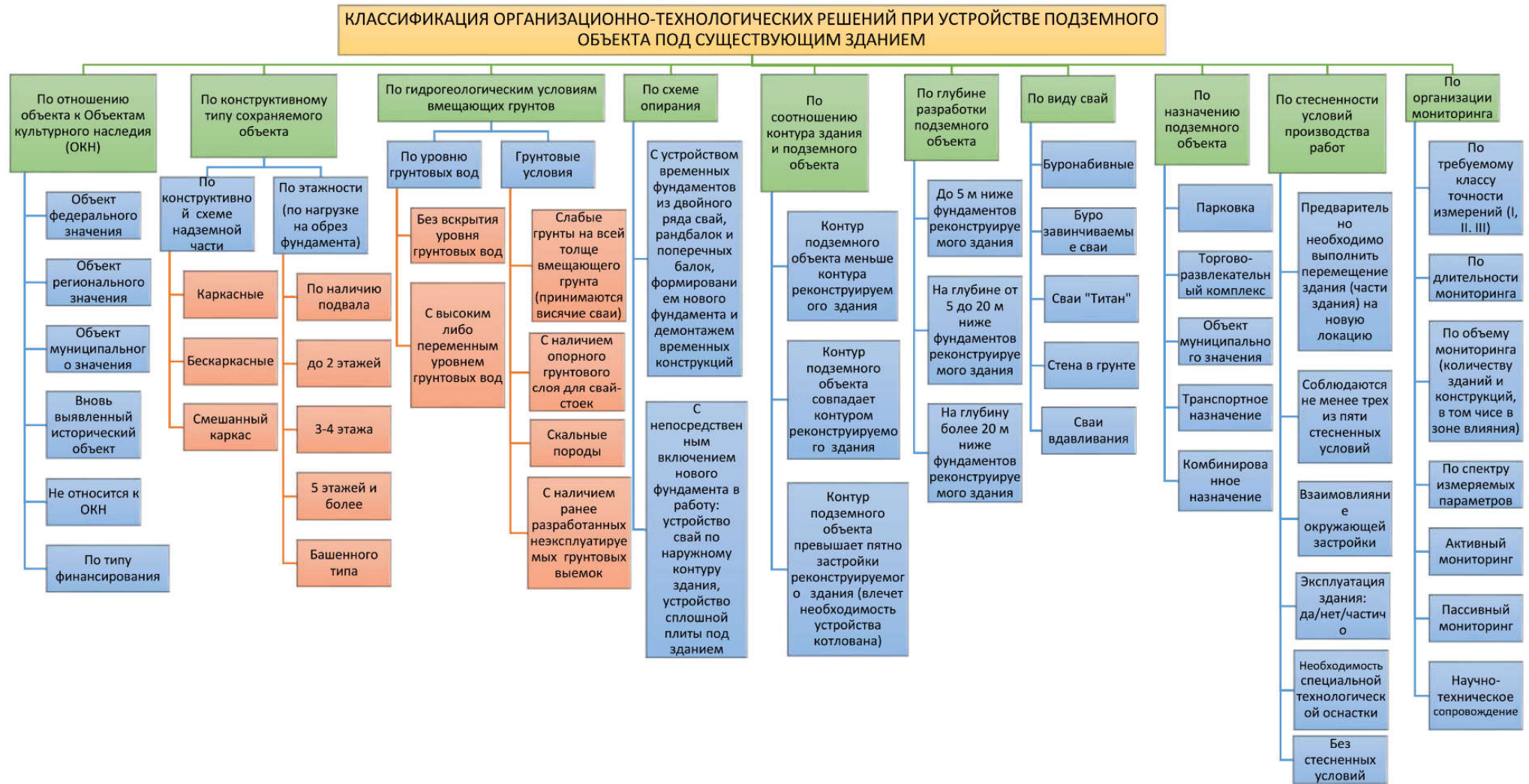


Рисунок 1.24 – Классификация организационно-технологических решений при устройстве подземного объекта под существующим зданием

Выводы по первой главе

1. Высокие темпы глобальной урбанизации требуют решения вопросов широкого и всестороннего развития комплексного освоения подземного пространства в аспекте сохранения объектов культурного наследия в исторических центрах и сдерживания непрерывного роста городских территорий. При этом подземные объекты обладают широким спектром эксплуатационных преимуществ и нереализованный потенциал развития доли подземных объектов на величину как минимум 12-17 % доказывают актуальность темы диссертационного исследования.

2. 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.

3. Анализ рассмотренных технологий позволяет сделать вывод, что технологические процессы расширения подземного пространства существующих зданий должны включать в себя следующие этапы: 1) усиление основания, фундаментов, стен существующего здания, повышение жесткости основного здания; 2) выбор способа устройства временного и нового фундаментов (подбор буронабивных свай: длины, диаметра, также оборудования и специальной техники); 3) выбор способа устройства подземного пространства; 4) подготовка специальных мер по защите территории от подземных вод и неравномерных осадок; 5) постоянный мониторинг в процессе проведения СМР, взаимодействие и, при необходимости, корректировка организационно-технологических решений. Совокупность выделенных этапов требует совершенствования организационно-технологических решений, которые дают возможность расширить подземное пространство существующих зданий, при этом сохраняя экономическую эффективность здания, снижая трудоемкость

работ, сокращая продолжительность проведения работ и сохраняя целостность и надежность существующего зданий.

4. В России и за рубежом в последние годы наблюдается тенденция увеличения количества изобретений в области устройства подземных пространств под существующими зданиями, что подчёркивает актуальность направления исследования.

5. На основе анализа опыта реализации объектов в РФ и за рубежом, автором 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.

6. Необходимо совершенствовать методы контроля качества технологических процессов при увеличении подземных пространств существующих зданий, применяя более совершенные методы инструментального контроля.

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.

ГЛАВА 2. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ ПОС И МОНИТОРИНГА

2.1. Формирование основных критериев и мероприятий, влияющих на оптимизацию организационно-технологических процессов

В числе ответственных за реализацию проектов по реконструкции объектов с устройством под ними дополнительных подземных этажей, помимо общепринятых участников строительства в лице застройщика, технического заказчика, инвестора, проектировщика и лица, осуществляющего строительство, государственного строительного надзора, зачастую также привлекаются реставраторы, археологи, муниципальные и государственные органы и комитеты, ответственные за архитектурное и градостроительное планирование и др.

В связи с расширенным кругом ответственных лиц задача дополнительно усложняется, начиная со стадии эскизного проекта и проработки экономической целесообразности, так как необходимо учесть множество факторов, таких как архитектурный облик здания, расположение здания в условиях сложившейся застройки, грунто-геологические условия, обеспечение сохранности ОКН, включая зоны охраны объекта (охранная зона, зона регулирования застройки и хозяйственной деятельности и зона охраняемого природного ландшафта) [157, 89], реставрационные, археологические и градостроительные требования, и при этом проект должен быть экономически жизнеспособным.

В процессе анализа технологических факторов и обоснования выбора наиболее эффективной технологии устройства подземных объектов под существующими зданиями нами выполнен анализ известных способов переопирания здания на новые фундаменты, способы разработки грунта в стесненных условиях, потребность в машинах и механизмах и т.д.

На стадии разработки проекта на основании календарного плана или сетевого графика производства работ, графика работы машин и механизмов, а также объектного стройгенплана определяются временные рамки для

производства тех или иных типов работ, и итоговые сроки строительства и реконструкции объекта.

Научно-методические основы построения моделей при разработке проекта в классическом представлении базируются на оптимизации работ с учетом групп факторов, таких как технология производства СМР, контроль качества работ, ресурсы лица, осуществляющего строительство, внешние факторы, продолжительность работ, привязка к климатическим условиям, необходимостью перемещения строительного городка, стесненность условий и др., при этом выделяются также и ряд экономических факторов, связанных с финансированием и реализацией объекта [128, 149, 52, 106, 107]. Немаловажным фактором является подбор комплектов машин и механизмов для комплексной механизации строительных работ, основанный на технических характеристиках, продолжительности взаимодействия, скорости потока и т.д. [62, 47].

Однако при анализе достоверных источников [149, 107, 47, 202, 180] установлено, что вопрос организационно-технологического проектирования с учетом адаптации процессов в отношении реконструируемых объектов с увеличением подземного пространства остается малоизученным.

Отбор основных мероприятий и критериев для построения модели выполнен на основании аналитического обзора работ [52, 106, 62, 166, 1, 165], 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.

Критерии, обеспечивающие единый подход к выбору оптимальных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями, представлены в таблице 2.1.

К₁ – Соответствие объекта реконструкции требованиям проектно-сметной документации является одним из важнейших критериев. В соответствии с требованиями Градостроительного кодекса Российской

Федерации [36] объекты, законченные строительством либо реконструкцией, должны соответствовать проектной документации. Как показывает практика, в процессе проведения строительно-монтажных работ возникает необходимость оптимизации отдельных проектных решений, в отдельных случаях, включая конструкции, влияющие на несущую способность. Безусловно, необходимо стремиться к минимизации отклонений от проектной документации, прошедшей экспертизу. Альтернативными способами является экспертное сопровождение процесса выполнения работ со стороны экспертной организации, повторное прохождение экспертизы либо утверждение изменений, внесенных в проектную документацию по форме подтверждения главного инженера проекта (далее – ГИП) (письмо Минстроя России от 26.10.2022 N 55956-СМ/08).

Таблица 2.1 – Критерии оценки эффективности технологии устройства подземных объектов под существующими зданиями

Обозначение	Наименование критерия
К1	Соответствие объекта реконструкции требованиям ПСД
К2	Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки
К3	Сокращение продолжительности реконструкции
К4	Обеспечение качества производства работ
К5	Эффективность применения материально-технических ресурсов (сокращение стоимости проекта)

К₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки или внешние ограничивающие факторы.

При производстве строительно-монтажных работ должны предусматриваться мероприятия по предупреждению и устранению загрязнения окружающей среды, применяться ресурсосберегающие, малоотходные, безотходные и иные технологии, способствующие предупреждению и устранению загрязнения окружающей среды, охране окружающей среды [36].

Организация строительного производства и участки производства работ должны обеспечивать безопасность выполнения функциональных обязанностей и нахождения людей на строительной площадке на всех этапах реконструкции.

Под стесненными условиями строительства понимаются условия, ограничивающие рабочую зону используемых машин и механизмов или обуславливающие непроизводительные действия и маневры, создающие неудобства транспортирования, хранения и подачи строительных материалов и конструкций, приводящее к снижению производительности труда и работ и др.

В соответствие с указаниями МДС 81 36.2004 [88] наличие стесненных условий застроенной части городов обуславливаются присутствием трех из следующих факторов:

- интенсивного городского движения транспорта и пешеходов вблизи здания;
- разветвленной сети подземных коммуникаций;
- жилых и производственных зданий в непосредственной близости от места производства работ;
- стесненность условий складирования;
- при строительстве объектов, когда плотность застройки превышает нормативную на 20 % и более;
- когда ПОСом предписано ограничение поворота стрелы башенного крана.

К₃ – Сокращение продолжительности реконструкции – позволит сократить сроки на стадиях проектирования и реконструкции, позволит сократить расходы на оплату труда; сократит сроки окупаемости, повысит экономическую привлекательность и целесообразность проекта.

К₄ – Обеспечение качества производства работ позволит повысить надежность, механическую безопасность и долговечность здания в целом, снизит риск возникновения гарантийных и постгарантийных работ, и непредусмотренных расходов на этапе эксплуатации здания, обезопасит нахождение людей и оборудования внутри и вблизи законченного

реконструкцией объекта. Нарушение качества также может быть вызвано несоблюдением технологической последовательности производства работ.

К₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов – оптимальное соотношение затрат на материально-техническое обеспечение строительного производства к экономической эффективности проекта.

Для проработки способов повышения экономической эффективности воспроизводства и использования материально-технических ресурсов необходимо учитывать мероприятия, влияющие на принятие решений, на разных стадиях проектирования, разработки организационного технологической документации и непосредственно проведения строительно-монтажных работ. В исследовании выделены основные мероприятия на этапах разработки проекта и мониторинга за проведением СМР.

Отбор основных мероприятий для построения модели выполнен на основании опытного и экспертного анализа технологического процесса устройства подземных этажей под существующими зданиями.

Основные мероприятия, на стадии разработки проекта при реконструкции сгруппированы и представлены в таблице 2.2.

Для обработки значимости выделенных мероприятий применялись методы математического анализа, учитывающие комбинации факторов и критериев.

Таблица 2.2 – Мероприятия, направленные на эффективность реконструкции объекта на стадии проектирования

Обозначение	Мероприятие на стадии разработки проекта
М _{п1}	Оптимальный выбор средств механизации, в том числе малогабаритная техника
М _{п2}	Подбор квалифицированных кадров
М _{п3}	Рациональные организационно-технологические решения процесса производства работ
М _{п4}	Оптимизация времени (сезонности) проведения работы
М _{п5}	Организация логистики строительных материалов и технологического оборудования
М _{п6}	Выбор стабильных источников финансирования

М_{п1} – Оптимальный выбор средств механизации, в том числе малогабаритная техника. При реконструкции зданий и сооружений: устройстве временных поддерживающих конструкций, демонтаже элементов зданий применяются строительные машины и механизмы.

При разработке грунтов, демонтаже конструкций в стесненных условиях используется малогабаритная строительная техника, способная маневрировать в достаточно узких пространствах, и предназначенная для облегчения ручного труда и увеличения производительности работ. Подобные строительные машины называют иначе «средствами малой механизации». В нормативных документах термин включает в себя машины и вспомогательное оборудование, предназначенные для сокращения затрат ручного труда и механизации трудоемких операций и отдельных процессов [33, 17, 154].

По данным зарубежной статистики сейчас вручную выполняется около трети работ в строительстве, в России даже больше – около 50 %, поэтому стремление к использованию малогабаритной строительной техники, вполне обосновано, благодаря снижению срока выполнения работ и стоимости в сравнении с ручным трудом [35, 9]. Малые размеры и вес такой техники позволяют при необходимости располагать ее непосредственно на перекрытиях как, например, при демонтаже в 2006-2010 годах гостиницы «Россия», которая ранее в 1970 году была занесена в Книгу рекордов Гиннеса как самая большая гостиница в мире [162, 150]. Используют малогабаритную технику и при работе в стесненных условиях, где использование крупногабаритной техники практически невозможно – при разработке подземных пространств существующих зданий, например, при реконструкции Большого театра в Москве, когда из-под земли было извлечено более 200 тыс. м³ грунта и возведено 6 дополнительных подземных этажей [11, 66, 12]. Еще одним примером разработки грунта под землей с помощью мини-экскаваторов является возведение двух этажей паркинга апартаментов "Грани" в Санкт Петербурге методом Top-down, описанное Шинкевичем В. А [29, 25, 169].

Потребность в использовании малогабаритной техники на дистанционном управлении существует также при работах на опасных, с точки зрения радиационно-химического и взрывного поражения объектах. Такие авторы как Цариченко С. Г. [161], Кошар А. [74], Кравцова О. А. [75] в своих работах указывают об использовании на подобных объектах беспилотных технологий с использованием робототехнических систем [185, 199].

Для качественного подбора комплекта машин необходимо сформировать план рационального комплекта машин и механизмов, на основании которого рассчитываются основные характеристики, тип и количество машин, а также целесообразность использования механизмов. При эксплуатации строительных машин важным фактором является организация технического обслуживания и ремонта [106, 107, 62].

М_{п2} - Подбор квалифицированных кадров – работы по реконструкции зданий, в частности при применении технологии пересадки зданий на новые фундаменты, зачастую выполняются на объектах культурного наследия и являются по сути уникальными. Поэтому при проведении работ необходимо привлекать лицо, осуществляющее строительство, имеющее все необходимые допуски к работам, включая высококвалифицированный персонал на всех уровнях управления.

М_{п3} – Рациональные организационно-технологические решения процесса производства работ – при реконструкции зданий, в частности при увеличении полезного объема здания за счет разработки подземного пространства, необходимо реализовать огромное количество сложных инженерных решений, при этом учитывая этапность работ, организацию последовательности и взаимодействие субподрядных организаций, включая специалистов по прокладке сетей инженерно-технического обеспечения. Кроме того, возможно возникновение непредвиденных ситуаций, либо незапланированных работ. В связи с этим рациональная организация процесса производства работ является одним из важнейших факторов.

М_{п4} – Оптимизация времени (сезонности) проведения работы. При возможности проведения работ в теплый период года трудоемкость и сроки

проведения реконструкции снижаются. При этом большее влияние сезонность оказывает на работы, производимые на дневной поверхности.

М_{п5} – Организация логистики строительных материалов и технологического оборудования – своевременная поставка оборудования и строительных материалов обеспечит бесперебойную работу строительного процесса, что влияет на соблюдение сроков реконструкции. Необходимо также учесть возможность размещения достаточного количества материалов на приобъектном складе, либо рассмотреть вариант использования внеобъектного склада на оптимальном расстоянии от объекта. Учитываются также сроки производства и доставки сложных конструкций, импортозамещение, а также риски задержек производства.

М_{п6} – Выбор стабильных источников финансирования – рациональная система приемки работ на основании подтверждения качества выполненных этапов СМР позволит повысить эффективность освоения средств. При этом не менее важным является платежеспособность Застройщика и инвесторов проекта.

Основные мероприятия, на стадии мониторинга при реконструкции сгруппированы и представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Мероприятия, направленные на эффективность реконструкции объекта на стадии мониторинга при реконструкции

Обозначение	Мероприятия на стадии производства работ/мониторинга
М _{р1}	Соответствие организации работ и МТО участников строительства/реконструкции параметрам, заложенным в ПСД
М _{р2}	Корректировка графика производства работ с учетом необходимости устранения нарушений, выявленных со стороны контролирующих органов
М _{р3}	Корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга
М _{р4}	Соответствие фактических гидрогеологических условий вмещающих грунтов данным инженерно-геологических изысканий
М _{р5}	Своевременное финансирование этапов

М_{р1} – Соответствие организации работ и материально-технического обеспечения (далее – МТО) участников строительства/реконструкции параметрам, заложенным в ПСД – является одним из важнейших факторов на этапе реализации проекта. В соответствии с п. 6.1 СП 48.13330.2019 лицо, осуществляющее строительство, должно выполнять строительные работы в соответствии с действующим законодательством, проектной, рабочей и организационно-технологической документацией. В случае наличия отклонений от ПСД в процессе строительства либо реконструкции, необходимо вносить изменения в документацию в соответствии с указаниями ст. 49 ГрК РФ [36], что может привести к дополнительным финансовым затратам и увеличению продолжительности реконструкции.

М_{р2} – Корректировка графика производства работ с учетом необходимости устранения нарушений, выявленных со стороны контролирующих органов – происходит в основном из-за непредвиденных работ на исправление допущенных отклонений от требований нормативной и проектной документации, которые сложно предусмотреть на этапе разработки календарного плана. Кроме увеличения продолжительности работ, наступают дополнительные финансовые издержки на выполнение дополнительных СМР, а также оплату штрафов государственных контролирующих органов, либо иных штрафов, предусмотренных договором подряда.

М_{р3} – Корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга – также один из труднопредсказуемых факторов. Технологическая последовательность действий в зависимости от параметров деформаций несущих строительных конструкций объекта (объектов) в период ведения строительного-монтажных работ (далее – СМР) должны быть предусмотрены в программе мониторинга. Сопровождение объекта может выполняться в рамках

НТС, геодезического и геотехнического мониторингов [34, 91]. По НТС разработан проект и готовится к изданию новый свод правил.

М_{р4} – Соответствие фактических гидрогеологических условий вмещающих грунтов данным инженерно-геологических изысканий – работы по увеличению подземных пространств зданий могут производиться на объектах, расположенных в различных климатических зонах и в условиях различных грунто-геологических условий. В случае вскрытия не предусмотренных проектом инженерно-геологических элементов и уровня грунтовых вод возникает необходимость корректировки организационно-технологических решений.

М_{р5} – Своевременное финансирование этапов – также немаловажный фактор, позволяющий покрывать расходы участников строительства для соблюдения календарного графика производства работ.

Графическое представление взаимоувязанных комбинаций критериев и мероприятий по выбору эффективных решений по проведению работ при реконструкции приведено на рисунке 2.1.

Представленная схема представляет собой трехуровневую иерархическую структуру экспертно-квалиметрического метода [128, 149]. 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 ($M_{р1}, M_{р2}, M_{р3} \dots M_{р5}$).



Рисунок 2.1 – Формирование выбора оптимальных организационно-технологических решений при устройстве подземных объектов под существующими зданиями

2.2. Ранжирование и обработка факторов, влияющих на выбор организационно-технологических решений по пересадке зданий

При решении задач организационно-технологического моделирования устройства подземных этажей под существующими зданиями, необходимо оценить степень влияния различных факторов на процесс производства работ.

Ранжирование выделенных критериев и мероприятий выполнялось методом экспертных оценок [40, 108].

Метод экспертных оценок – это метод организации работы со специалистами-экспертами и обработки мнений экспертов. В основе метода заложены статистические методы обработки результатов опроса экспертов, основанные на их профессиональном, научном и практическом опыте.

Алгоритм математической обработки данных и проверки его достоверности представлен на рисунке 2.2 [49].

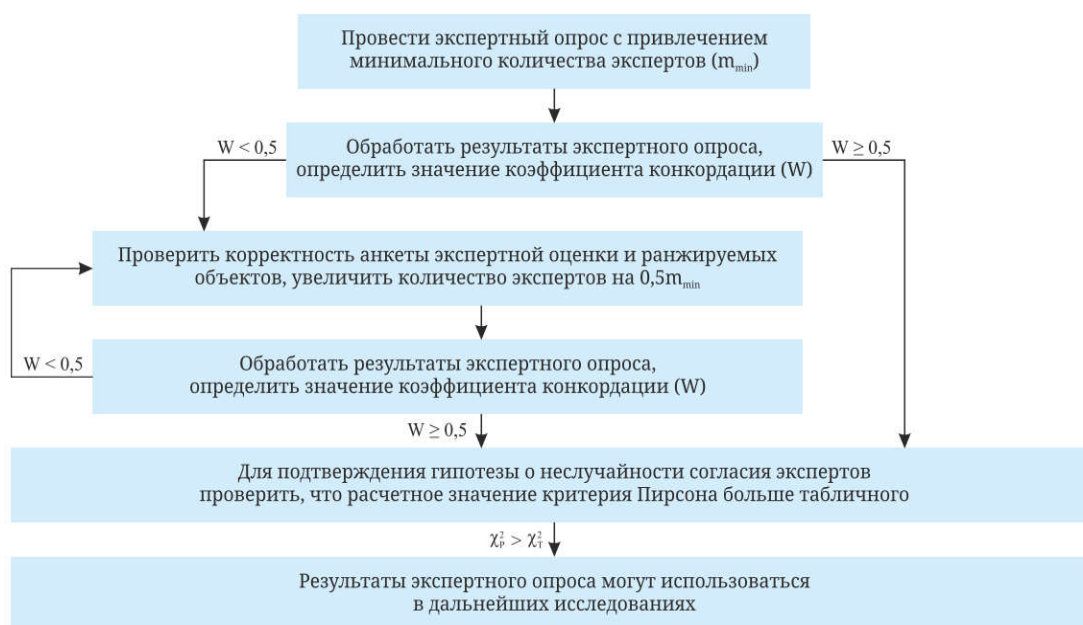


Рисунок 2.2 – Алгоритм проведения экспертного анализа и проверки его достоверности

Установлено, что в качестве экспертов могут выступать специалисты с высшим образованием, имеющие стаж работы не менее пяти лет и входящие в национальные реестры специалистов НОПРИЗ и НОСТРОЙ.

В рамках проведения диссертационного исследования, в соответствие с требованиями была составлена форма опросного листа (рисунок 2.3) и проведен экспертный опрос. Ранжирование критериев и мероприятий произведено в соответствие с количеством оцениваемых параметров внутри группы.

Опросный лист Эксперта №_3_

Эксперт: __Гиздатуллин Антон Ринатович__.

Стаж: _17_ лет

Номер в реестре специалистов __НОПРИЗ__ № __П-019505__

Таблица 1 – Ранжирование мероприятий, влияющих на сроки реконструкции, на стадии проектирования

Обоз.	Мероприятий, влияющих на сроки реконструкции	Ранг значимости
М _{п1}	Оптимальный выбор средств механизации, в том числе малогабаритной техники	6
М _{п2}	Подбор квалифицированных кадров	5
М _{п3}	Рациональные организационно-технологические решения процесса производства работ	3
М _{п4}	Оптимизация времени (сезонности) проведения работы	2
М _{п5}	Организация логистики строительных материалов и технологического оборудования	4
М _{п6}	Выбор стабильных источников финансирования	1

Таблица 2 – Ранжирование мероприятий, влияющих на сроки реконструкции, на стадии мониторинга

Обоз.	Мероприятий, влияющих на сроки реконструкции	Ранг значимости
М _{р1}	Соответствие организации работ и МТО участников строительства/реконструкции параметрам, заложенным в ПСД	4
М _{р2}	Корректировка графика производства работ с учетом необходимости устранения нарушений, выявленных со стороны контролирующих органов	3
М _{р3}	Корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга	2
М _{р4}	Соответствие фактических гидрогеологических условий вмещающих грунтов данным инженерно-геологических изысканий	1
М _{р5}	Своевременное финансирование этапов	5

Эксперт, ктн



А.Р. Гиздатуллин

Рисунок 2.3 – Форма опросного листа (анкеты) эксперта

В соответствие с методикой [49] минимальное количество экспертов для оцениваемых параметров должно быть не менее семи. Эксперт на основании своего опыта видит проблему с разных сторон, подходит с точки зрения решения профессиональных задач, принимает решения, имеет перспективное видение, не

зависящее от мнения общего количества людей. В связи с этим, экспертный опрос был проведен среди семи экспертов. В соответствии с требованиями, эксперты являются членами НОПРИЗ и НОСТРОЙ, имеют опыт работы до 40 лет в отраслях проектирования, обследования технического состояния организации, изысканий, строительства и реконструкции, в том числе в качестве аккредитованных специалистов на объектах культурного наследия.

По результатам опроса экспертов составлены сводные матрицы для оценки согласованности мнений экспертов для стадий разработки проекта и мониторинга (таблицы 2.1, 2.2).

Таблица 2.1 – Матрица для оценки согласованности мнений экспертов для стадии разработки проекта

Мероприятие, n	Эксперты, K						
	1	2	3	4	5	6	7
M _{п1}	5	5	6	4	6	6	6
M _{п2}	6	6	5	6	4	4	5
M _{п3}	1	1	3	1	1	1	2
M _{п4}	4	3	2	5	3	5	4
M _{п5}	2	4	4	3	2	3	3
M _{п6}	3	2	1	2	5	2	1
Сумма	21	21	21	21	21	21	21

Таблица 2.2 – Матрица для оценки согласованности мнений экспертов для стадии мониторинга

Мероприятие, m	Эксперты, K						
	1	2	3	4	5	6	7
M _{р1}	5	4	4	3	5	4	5
M _{р2}	3	1	3	4	1	5	4
M _{р3}	2	2	2	1	2	2	1
M _{р4}	1	3	1	2	3	1	2
M _{р5}	4	5	5	5	4	3	3
Сумма	15	15	15	15	15	15	15

Обобщенным показателем мнения экспертов может служить вычисленное среднестатистическое значение важности определенного фактора на стадиях проектирования и мониторинга в баллах, вычисленное по формуле (2.1):

$$\bar{P} = \sum_{K=1}^K \frac{P_{kn}}{K} \quad (2.1)$$

где P_{kn} - оценка K-го эксперта для n-го фактора;

K – количество экспертов, в данном исследовании равное 7.

Для стадии разработки проекта (таблица 2.1), параметры обозначим индексом «П».

$$\bar{P}_{п1} = (P_{1,1} + P_{2,1} + P_{3,1} + P_{4,1} + P_{5,1} + P_{6,1} + P_{7,1}) / K = (5 + 5 + 6 + 4 + 6 + 6 + 6) / 7 = 5,43;$$

$$\bar{P}_{п2} = (P_{1,2} + P_{2,2} + P_{3,2} + P_{4,2} + P_{5,2} + P_{6,2} + P_{7,2}) / K = (6 + 6 + 5 + 6 + 4 + 4 + 5) / 7 = 5,14;$$

$$\bar{P}_{п3} = 1,43; \bar{P}_{п4} = 3,71; \bar{P}_{п5} = 3,00; \bar{P}_{п6} = 2,29.$$

Для стадии мониторинга (таблица 2.2), параметры обозначим индексом «Р».

$$\bar{P}_{р1} = (P_{1,1} + P_{2,1} + P_{3,1} + P_{4,1} + P_{5,1} + P_{6,1} + P_{7,1}) / K = (5 + 4 + 4 + 3 + 5 + 4 + 5) / 7 = 4,29;$$

$$\bar{P}_{р2} = (3 + 1 + 3 + 4 + 1 + 5 + 4) / 7 = 3,00;$$

$$\bar{P}_{р3} = 1,71; \bar{P}_{р4} = 1,86; \bar{P}_{р5} = 4,14.$$

Для перехода от таблицы оценок к ранжированию, фактору, имеющему наибольшую оценку в баллах, присваивается высший ранг, фактору с наименьшей оценкой – низший ранг. Тогда ранжирование данных для стадий разработки проекта и мониторинга можно представить в следующем виде (таблицы 2.3, 2.4):

Таблица 2.3 – Ранжирование значимости мероприятий для стадии разработки проекта

Мероприятие, п	Ранг
$M_{п1}$	6
$M_{п2}$	5
$M_{п3}$	1
$M_{п4}$	4
$M_{п5}$	3
$M_{п6}$	2

Таблица 2.4 – Ранжирование значимости мероприятий для стадии мониторинга

Мероприятие, п	Ранг
$M_{р1}$	5
$M_{р2}$	3
$M_{р3}$	1
$M_{р4}$	2
$M_{р5}$	4

2.3. Построение математической модели

Уровень согласованности мнений экспертов по всем критериям и факторам классифицируется коэффициентом конкордации Кэнделла (W) по формуле (2.2)

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (2.2)$$

Где: S_n – сумма рангов, назначенных экспертами n -му фактору;

\bar{S} – среднее значение соответствующей суммы рангов;

n – количество исследуемых параметров;

K – количество экспертов.

Коэффициент конкордации может принимать значения в пределах от нуля до единицы, причем при $W = 1$ наблюдается максимальная согласованность мнений экспертов. Считается, что для принятия мнений экспертов в исследованиях, необходимо, чтобы коэффициент конкордации был не менее $W \geq 0,5$. Вычисление суммы рангов для каждого фактора выполняется по формуле (2.3):

$$S_n = \sum_{K=1}^K P_{K,n} \quad (2.3)$$

Для стадии разработки ПОС, сумма рангов будет равна.

$$S_{п1} = 5 + 5 + 6 + 4 + 6 + 6 + 6 = 38;$$

$$S_{п2} = 6 + 6 + 5 + 6 + 4 + 4 + 5 = 36;$$

$$S_{п3} = 10; S_{п4} = 26; S_{п5} = 21; S_{п6} = 16.$$

Для стадии мониторинга, сумма рангов будет равна.

$$S_{р1} = 5 + 4 + 4 + 3 + 5 + 4 + 5 = 30;$$

$$S_{р2} = 3 + 1 + 3 + 4 + 1 + 5 + 4 = 21;$$

$$S_{р3} = 12; S_{р4} = 13; S_{р5} = 29.$$

Вычисление среднего значения сумм рангов факторов выполняется по формуле (2.4):

$$\bar{S} = \frac{\sum_{n=1}^N S_n}{N} \quad (2.4)$$

$$\bar{S}_п = (S_{п1} + S_{п2} + S_{п3} + S_{п4} + S_{п5} + S_{п6}) / 6 = (38 + 36 + 10 + 26 + 21 + 16) / 6 = 147 / 6 = 24,50;$$

$$\bar{S}_p = (S_{p1} + S_{p2} + S_{p3} + S_{p4} + S_{p5}) / 5 = (30 + 21 + 12 + 13 + 29) / 5 = 105 / 5 = 21.$$

Определение квадратичных отклонений сумм рангов от их среднего значения по числителю формулы (2.2):

$$(S_{п1} - \bar{S}_п)^2 = (38 - 24,50)^2 = 13,50^2 = 182,25;$$

$$(S_{п2} - \bar{S}_п)^2 = (36 - 24,50)^2 = 11,50^2 = 132,25;$$

$$(S_{п3} - \bar{S}_п)^2 = (10 - 24,50)^2 = -14,50^2 = 210,25;$$

$$(S_{п4} - \bar{S}_п)^2 = (26 - 24,50)^2 = 1,50^2 = 2,25;$$

$$(S_{п5} - \bar{S}_п)^2 = (21 - 24,50)^2 = -3,50^2 = 12,25;$$

$$(S_{п6} - \bar{S}_п)^2 = (16 - 24,50)^2 = -8,50^2 = 72,25.$$

$$(S_{p1} - \bar{S}_p)^2 = (30 - 21)^2 = 9^2 = 81;$$

$$(S_{p2} - \bar{S}_p)^2 = (21 - 21)^2 = 0^2 = 0;$$

$$(S_{p3} - \bar{S}_p)^2 = (12 - 21)^2 = 9^2 = 81;$$

$$(S_{p4} - \bar{S}_p)^2 = (13 - 21)^2 = -8^2 = 64;$$

$$(S_{p5} - \bar{S}_p)^2 = (29 - 21)^2 = 8^2 = 64.$$

Общая сумма баллов для стадии разработки проекта будет равна:

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 182,25 + 132,25 + 210,25 + 2,25 + 12,25 + 72,25 = 611,5.$$

Общая сумма для стадии мониторинга будет равна:

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 81 + 0 + 81 + 64 + 64 = 290.$$

Заносим полученные значения в комбинированные таблицы 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – Комбинированная таблица данных для оценки согласованности мнений экспертов для стадии разработки проекта

Мероприятие п	Эксперты, К							Среднее значение	Сумма ранго в	Отклонение от среднего (d)	Квадрат отклонения (d ²)
	1	2	3	4	5	6	7				
М_{п1}	5	5	6	4	6	6	6	5,43	38	13,50	182,25
М_{п2}	6	6	5	6	4	4	5	5,14	36	11,50	132,25
М_{п3}	1	1	3	1	1	1	2	1,43	10	-14,50	210,25
М_{п4}	4	3	2	5	3	5	4	3,71	26	1,50	2,25
М_{п5}	2	4	4	3	2	3	3	3,00	21	-3,50	12,25
М_{п6}	3	2	1	2	5	2	1	2,29	16	-8,50	72,25
Сумма	21	21	21	21	21	21	21	21,00	147	0,00	611,5

Таблица 2.6 – Комбинированная таблица данных для оценки согласованности мнений экспертов для стадии мониторинга

Мероприятие, m	Эксперты, K							Среднее значение	Сумма рангов	Отклонение от среднего (d)	Квадрат отклонения (d ²)
	1	2	3	4	5	6	7				
М_{p1}	5	4	4	3	5	4	5	4,29	30	9,00	81
М_{p2}	3	1	3	4	1	5	4	3,00	21	0,00	0
М_{p3}	2	2	2	1	2	2	1	1,71	12	-9,00	81
М_{p4}	1	3	1	2	3	1	2	1,86	13	-8,00	64
М_{p5}	4	5	5	5	4	3	3	4,14	29	8,00	64
Сумма	15	15	15	15	15	15	15	15,00	105	0,00	290

Уровни согласованности мнений экспертов для стадии разработки ПОС и мониторинга (коэффициент конкордации Кэнделла) находим по формуле (2.2)

$$W_{\Pi} = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 611,5}{7^2 \cdot (6^3 - 6)} = 0,7131$$

$$W_p = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 290}{7^2 \cdot (5^3 - 5)} = 0,5918$$

В соответствие с [49] (рисунок 2.3) проверяем необходимое требование согласованности мнений экспертов по формуле (2.5):

$$W \geq 0,5 \quad (2.5)$$

Так как

$$W_{\Pi} = 0,7131 \geq 0,5$$

$$W_p = 0,5918 \geq 0,5,$$

то согласованность мнений экспертов доказана.

В виде количественной оценки степени этой случайности используется уровень значимости коэффициента конкордации. Этот уровень находится по таблицам на основании сопоставления числа степеней свободы ($N - 1$) с величиной χ^2 (критерия Пирсона), вычисляемой по формуле (2.6).

$$\chi^2 = K \cdot (n - 1) \cdot W \quad (2.6)$$

На следующем этапе проверяется случайность согласованности мнений экспертов в соответствие с критерием согласованности Пирсона по формуле (2.6).

$$\chi_{\Pi}^2 = 7 \cdot (6 - 1) \cdot 0,7131 = 24,96$$

$$\chi_p^2 = 7 \cdot (5 - 1) \cdot 0,5918 = 16,57$$

Полученные результаты сравниваются с таблицами на основании сопоставления числа степеней свободы ($N - 1$) с величиной табличного значения критерия Пирсона (2.7).

$$\chi^2 > \chi_T^2 \quad (2.7)$$

Где χ^2 – расчетное значение критерия Пирсона;

χ_T^2 – табличное значение критерия Пирсона.

$$\chi_{\text{п}}^2 = 24,96 \geq 11,07 = \chi_T^2$$

$$\chi_p^2 = 16,57 \geq 9,49 = \chi_T^2$$

Установлено, что расчетные коэффициенты Пирсона более табличных величин, соответственно расчетные коэффициенты Кэнделла для стадий разработки проекта и мониторинга – неслучайные величины и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

2.4. Многокритериальный анализ эффективности мероприятий на стадии разработки проекта и мониторинга

В соответствии с методикой выполняется математический анализ полученных данных. В целях определения важности критериев и оценок результатов использованы матрицы парных сравнений [128]. В данном методе результаты сопоставляются между собой по уровню их важности и представляются в виде вектора приоритетов, определяющий совокупность коэффициентов «важности» («значимости») результатов.

По шкале приоритетов значимости мероприятий, созданной на первом этапе, формируется вероятная комбинация мероприятий, ранг которых задан в соответствии с мнением экспертов. При заполнении матрицы парных сравнений определяющими являются элементы выше диагонали матрицы. Элементы ниже диагонали вычисляются из условия $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

По результатам исследований по различным мероприятиям в строительном производстве на стадии организационно-технологического проектирования и разработки проекта выполнено ранжирование мероприятий по степени их важности (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Ранжирование мероприятий на стадии разработки проекта

Обозначение	Мероприятия на стадии проектирования	Ранг значимости
$M_{п1}$	Оптимальный выбор средств механизации, в том числе малогабаритной техники	6
$M_{п2}$	Подбор квалифицированных кадров	5
$M_{п3}$	Рациональные организационно-технологические решения процесса производства работ	1
$M_{п4}$	Оптимизация времени (сезонности) проведения работы	4
$M_{п5}$	Организация логистики строительных материалов и технологического оборудования	3
$M_{п6}$	Выбор стабильных источников финансирования	2

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.8):

$$M_{пm} = \frac{2(n - i + 1)}{n(n + 1)} 100 \quad (2.8)$$

где n – количество мероприятий;

i – заданный ранг мероприятия;

Индекс $пm$ – этап проектирования и тип мероприятия.

$$M_{п1} = \frac{2(6 - 6 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 4,76$$

$$M_{п2} = \frac{2(6 - 5 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 9,52$$

$$M_{п3} = \frac{2(6 - 1 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = \mathbf{28,6}$$

$$M_{п4} = \frac{2(6 - 4 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 14,29$$

$$M_{п5} = \frac{2(6 - 3 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = 19,05$$

$$M_{п6} = \frac{2(6 - 2 + 1)}{6(6 + 1)} 100 = \mathbf{23,81}$$

Построим матрицу парных сравнений в соответствии с формулой (2.9):

$$a_{ij} = M_i / M_j, \quad (2.9)$$

Матрица парных сравнений критериев по мероприятиям на стадии организационно-технологического проектирования представлена ниже (2.10).

$$\begin{array}{c|c} \begin{array}{l} a_{1,1} \ a_{1,2} \ a_{1,3} \ a_{1,4} \ a_{1,5} \ a_{1,6} \\ a_{2,1} \ a_{2,2} \ a_{2,3} \ a_{2,4} \ a_{2,5} \ a_{2,6} \\ a_{3,1} \ a_{3,2} \ a_{3,3} \ a_{3,4} \ a_{3,5} \ a_{3,6} \\ a_{4,1} \ a_{4,2} \ a_{4,3} \ a_{4,4} \ a_{4,5} \ a_{4,6} \\ a_{5,1} \ a_{5,2} \ a_{5,3} \ a_{5,4} \ a_{5,5} \ a_{5,6} \\ a_{6,1} \ a_{6,2} \ a_{6,3} \ a_{6,4} \ a_{6,5} \ a_{6,6} \end{array} & = & \begin{array}{l} 1 \ 0,5 \ 0,167 \ 0,333 \ 0,25 \ 0,2 \\ 2 \ 1 \ 0,333 \ 0,667 \ 0,5 \ 0,4 \\ 6 \ 3 \ 1 \ 2 \ 1,5 \ 1,2 \\ 3 \ 1,5 \ 0,5 \ 1 \ 0,75 \ 0,6 \\ 4 \ 2 \ 0,667 \ 1,333 \ 1 \ 0,8 \\ 5 \ 2,5 \ 0,833 \ 1,667 \ 1,25 \ 1 \end{array} \end{array} \quad (2.10)$$

На следующем этапе вычислены векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов. Рассчитывается геометрическое среднее каждой из строк матрицы по формуле (2.11).

$$N_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad (2.11)$$

$$N_{п1} = (1 \cdot 0,5 \cdot 0,166 \cdot 0,333 \cdot 0,25 \cdot 0,2)^{1/6} = 0,334024188$$

$$N_{п2} = (2 \cdot 1,0 \cdot 0,333 \cdot 1,67 \cdot 1,5 \cdot 0,4)^{1/6} = 0,668048377$$

$$N_{п3} = (6 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 1,2)^{1/6} = 2,00414513$$

$$N_{п4} = (3 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,6)^{1/6} = 1,002072565$$

$$N_{п5} = (4 \cdot 0 \cdot 2 \cdot 0,667 \cdot 1,333 \cdot 1,0 \cdot 0,8)^{1/6} = 1,336096753$$

$$N_{п6} = (5 \cdot 2,5 \cdot 0,833 \cdot 1,667 \cdot 1,25 \cdot 1,0)^{1/6} = 5,344387012$$

Далее определяется сумма полученных результатов и по каждой строке вычисляется отношение геометрического среднего каждой из строк матрицы к данной сумме (2.12).

$$\begin{aligned} \sum N_i &= 0,334024188 + 0,668048377 + 2,00414513 + 1,002072565 + \\ &1,336096753 + 5,344387012 = 10,68877402 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Далее вычисляется отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.11) к их сумме (2.13). В результате получаем локальные приоритеты соответствующих сравниваемых элементов:

$$\alpha_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (2.13)$$

$$\alpha_{п1} = \frac{0,334024188}{10,68877402} = 0,03125$$

$$\alpha_{п2} = \frac{0,668048377}{10,68877402} = 0,0625$$

$$\alpha_{п3} = \frac{2,00414513}{10,68877402} = 0,1875$$

$$\alpha_{п4} = \frac{1,002072565}{10,68877402} = 0,09375$$

$$\alpha_{п5} = \frac{1,336096753}{10,68877402} = 0,125$$

$$\alpha_{п6} = \frac{5,344387012}{10,688774027} = 0,5$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.8.

Таблица 2.8 – 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	0,334024188	0,03125
$M_{п2}$	2	1	0,333	0,667	0,5	0,4	0,668048377	0,0625
$M_{п3}$	6	3	1	2	1,5	1,2	2,00414513	0,1875
$M_{п4}$	3	1,5	0,5	1	0,75	0,6	1,002072565	0,09375
$M_{п5}$	4	2	0,667	1,333	1	0,8	1,336096753	0,125
$M_{п6}$	5	2,5	0,833	1,667	1,25	1	5,344387012	0,5
Сумма	21	10,5	3,5	7	5,25	4,2	10,68877402	1

Индекс согласованности матрицы определяется по формуле (2.14):

$$I_c = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.14)$$

где n – размерность матрицы;

λ_{max} – сумма произведений сумм каждого столбца матрицы и соответствующих векторов локальных приоритетов. Тогда

$$\lambda_{max} = 21 * 0,03125 + 10,500 * 0,0625 + 3,5 * 0,1875 + 7 * 0,09375 +$$

$$+ 5,25 * 0,125 + 4,200 * 0,5 = 5,38125$$

$$I_c = \frac{5,38125 - 6}{6 - 1} = -0,12375$$

Сравниваем I_c со случайной согласованностью (СС), приведенной в таблице 2.9 (таблица 4 [128]). Значение СС зависит от размерности матрицы парных сравнений.

Таблица 2.9 – порядок случайной согласованности матриц

Размерность матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

При $n=6$, случайная согласованность составляет 1,24. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|I_c|}{СС} \quad (2.15)$$

$$ДС = \frac{|-0,123757|}{1,24} = 0,099798387 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена вышеприведенная матрица, согласовано.

Выделяем основные критерии для оценки эффективности реконструкции. Выполняем их ранжирование для каждого мероприятия из таблицы 2.7.

Ранги критериев для мероприятия « $M_{п1}$ – Оптимальный выбор средств механизации по разработке грунта / оснащенность подрядной организации средствами механизации» приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Ранжирование критериев для мероприятия $M_{п1}$

Критерий	Ранг
K_1 – Соответствие требованиям ПСД	5
K_2 – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	2
K_3 – Сокращение продолжительности реконструкции	4
K_4 – Обеспечение качества производства работ	3
K_5 – Эффективность применения материально-технических ресурсов	1

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16):

$$K_{n-M} = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)} 100 \quad (2.16)$$

где n – количество критериев;

M – различные мероприятия;

i – заданный ранг.

$$K_{1-M_{п1}} = \frac{2(5-5+1)}{5(5+1)} 100 = 6,67$$

$$K_{2-M_{п1}} = \frac{2(5-2+1)}{5(5+1)} 100 = 26,67$$

$$K_{3-M_{п1}} = \frac{2(5-4+1)}{5(5+1)} 100 = 13,33$$

$$K_{4-M_{\Pi 1}} = \frac{2(5-3+1)}{5(5+1)} 100 = 20$$

$$K_{5-M_{\Pi 1}} = \frac{2(5-1+1)}{5(5+1)} 100 = 33,3$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) для критериев по мероприятию $M_{\Pi 1}$ (2.17):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,25 & 0,5 & 0,333 & 0,2 \\ 4 & 1 & 2 & 1,333 & 0,8 \\ 2 & 0,5 & 1 & 0,667 & 0,4 \\ 3 & 0,75 & 1,5 & 1 & 0,6 \\ 5 & 1,25 & 2,5 & 1,667 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.17)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$N_{1-M_{\Pi 1}} = (1 * 0,25 * 0,5 * 0,333 * 0,2)^{1/5} = 0,38385195$$

$$N_{2-M_{\Pi 1}} = (4 * 1 * 2 * 1,67 * 1,33 * 0,8)^{1/5} = 1,535407799$$

$$N_{3-M_{\Pi 1}} = (2 * 0,5 * 1 * 0,667 * 0,4)^{1/5} = 0,767703899$$

$$N_{4-M_{\Pi 1}} = (3 * 0,75 * 1,5 * 1 * 0,6)^{1/5} = 1,151555849$$

$$N_{5-M_{\Pi 1}} = (5 * 1,25 * 2,5 * 1,667 * 1)^{1/5} = 1,919259748$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 0,38385195 + 1,535407799 + 0,767703899 + 1,151555849 + 1,919259748 = 5,757779245$$

Находим локальные векторы приоритетов – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-M_{\Pi 1}} = \frac{0,384}{5,757463} = 0,0667$$

$$\alpha_{2-M_{\Pi 1}} = \frac{1,535515}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{3-M_{\Pi 1}} = \frac{0,76747}{5,7574632} = 0,1333$$

$$\alpha_{4-M_{\Pi 1}} = \frac{1,151493}{5,757463} = 0,2$$

$$\alpha_{5-M_{\Pi 1}} = \frac{1,918962}{5,7574632} = 0,3333$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.11.

Таблица 2.11 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию М_{п1}

Критерий	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
К ₁	1	0,25	0,5	0,333	0,2	0,383852	0,06667
К ₂	4	1	2	1,333	0,8	1,535408	0,26667
К ₃	2	0,5	1	0,667	0,4	0,767704	0,13333
К ₄	3	0,75	1,5	1	0,6	1,151556	0,2
К ₅	5	1,25	2,5	1,667	1	1,91926	0,33333
Сумма	15	3,75	7,5	5	3	5,757779	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 15 \cdot 0,067 + 3,750 \cdot 0,267 + \\ + 7,5 \cdot 0,133 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,333 = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При n=5, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по второму мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{п2} – Подбор квалифицированных кадров» приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{п2}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	2
К ₂ – Стесненность условий строительной площадки	5
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	4
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	1
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	3

Показатели важности мероприятий вычисляются по формуле (2.16):

$$K_{1-Мп2} = \frac{2(5-2+1)}{5(5+1)} 100 = 26,67$$

$$K_{2-Мп2} = \frac{2(5-5+1)}{5(5+1)} 100 = 6,67$$

$$K_{3-Мп2} = \frac{2(5-4+1)}{5(5+1)} 100 = 13,33$$

$$K_{4-Мп2} = \frac{2(5-1+1)}{5(5+1)} 100 = 33,333$$

$$K_{5-Мп2} = \frac{2(5-3+1)}{5(5+1)} 100 = 20$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию $M_{п2}$ (2.18):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 2 & 0,8 & 1,333 \\ 0,25 & 1 & 0,500 & 0,2 & 0,333 \\ 0,5 & 2 & 1 & 0,4 & 0,667 \\ 1,25 & 5 & 2,5 & 1 & 1,667 \\ 0,75 & 3 & 1,5 & 0,6 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.18)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$N_{1-Мп2} = (1*4*2*0,8*1,33)^{1/5} = 1,535407799$$

$$N_{2-Мп2} = (0,25*1*2*0,5*0,2*0,33)^{1/5} = 0,38385195$$

$$N_{3-Мп2} = (0,5*2*1*0,4*0,667)^{1/5} = 0,767703899$$

$$N_{4-Мп2} = (1,25*5*2,5*1*1,667)^{1/5} = 1,919259748$$

$$N_{5-Мп2} = (0,75*3*1,5*0,6*1)^{1/5} = 1,151555849$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Находим локальные векторы приоритетов – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Мп2} = \frac{1,535515}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{2-Мп2} = \frac{0,383852}{5,757463} = 0,0667$$

80

$$\alpha_{3-Мп2} = \frac{0,76747}{5,7574632} = 0,1333$$

$$\alpha_{4-Мп2} = \frac{1,918962}{5,757463} = 0,3333$$

$$\alpha_{5-Мп2} = \frac{1,151556}{5,7574632} = 0,2$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.13.

Таблица 2.13 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию М_{п2}

Критерий	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
К₁	1	4	2	0,8	1,333	1,535407799	0,2667
К₂	0,25	1	0,500	0,2	0,333	0,38385195	0,0667
К₃	0,5	2	1	0,4	0,667	0,767703899	0,1333
К₄	1,25	5	2,5	1	1,667	1,919259748	0,3333
К₅	0,75	3	1,5	0,6	1	1,151555849	0,2
Сумма	1	4	2	0,8	1,333	5,757779	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 3,75*0,2667 + 15*0,0667 + 7,5*0,1333 + 3*0,3333 + 5*0,2 = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При n=5, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по третьему мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{п3} – Мероприятия по рациональной организации процесса производства работ» приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Ранжирование критериев для мероприятия $M_{пз}$

Критерий	Ранг
K_1 – Соответствие требованиям ПСД	3
K_2 – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	1
K_3 – Сокращение продолжительности реконструкции	4
K_4 – Обеспечение качества производства работ	2
K_5 – Эффективность применения материально-технических ресурсов	5

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мпз} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20$$

$$K_{2-Мпз} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,3333$$

$$K_{3-Мпз} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,3333$$

$$K_{4-Мпз} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,6667$$

$$K_{5-Мпз} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,6667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.8) по мероприятию $M_{пз}$ (2.19):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,6 & 1,5 & 0,75 & 3 \\ 1,667 & 1 & 2,5 & 1,25 & 5 \\ 0,667 & 0,4 & 1 & 0,5 & 2 \\ 1,333 & 0,8 & 2 & 1 & 4 \\ 0,333 & 0,2 & 0,5 & 0,25 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.19)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$N_{1-Мпз} = (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (2,025)^{1/5} = 1,151556$$

$$N_{2-Мпз} = (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,91926$$

$$N_{3-Мпз} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,767704$$

$$N_{4-Мпз} = (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,535408$$

$$N_{5-Мпз} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,383852$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Находим **локальные векторы приоритетов** – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Мпз} = \frac{1,151556}{5,757463} = 0,2000$$

$$\alpha_{2-Мпз} = \frac{1,91926}{5,757463} = 0,3333$$

$$\alpha_{3-Мпз} = \frac{0,76747}{5,7574632} = 0,1333$$

$$\alpha_{4-Мпз} = \frac{1,535408}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{5-Мпз} = \frac{0,383852}{5,7574632} = 0,0667$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.15.

Таблица 2.15 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию М_{пз}

Критерий	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
К ₁	1	0,6	1,5	0,75	3	1,151555849	1,151556
К ₂	1,667	1	2,5	1,25	5	1,919259748	1,91926
К ₃	0,667	0,4	1	0,5	2	0,767703899	0,767704
К ₄	1,333	0,8	2	1	4	1,535407799	1,535408
К ₅	0,333	0,2	0,5	0,25	1	0,38385195	0,383852
Сумма	1	0,6	1,5	0,75	3	5,757779	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При n=5, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по четвертому мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{п4} – Оптимизация времени (сезонности) проведения работы» приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{п4}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	1
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	5
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	3
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	2
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	4

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мп4} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,3333$$

$$K_{2-Мп4} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,6667$$

$$K_{3-Мп4} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20,0000$$

$$K_{4-Мп4} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,6667$$

$$K_{5-Мп4} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,3333$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.8) по мероприятию М_{п4} (2.20):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 5 & 1,667 & 1,25 & 2,5 \\ 0,2 & 1 & 0,333 & 0,25 & 0,5 \\ 0,6 & 3 & 1 & 0,750 & 1,5 \\ 0,8 & 4 & 1,333 & 1 & 2 \\ 0,4 & 2 & 0,667 & 0,5 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.20)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – n=5.

$$N_{1-Мп4} = (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,919259748$$

$$N_{2-Мп4} = (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,38385195$$

$$N_{3-Мп4} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (2,0250)^{1/5} = 1,151555849$$

$$N_{4-Мп4} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,535407799$$

$$N_{5-Мп4} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,767703899$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Находим **локальные векторы приоритетов** – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Мп4} = \frac{1,91926}{5,757463} = 0,3333$$

$$\alpha_{2-Мп4} = \frac{0,383852}{5,757463} = 0,0667$$

$$\alpha_{3-Мп4} = \frac{1,151556}{5,7574632} = 0,2000$$

$$\alpha_{4-Мп4} = \frac{1,535408}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{5-Мп4} = \frac{0,76747}{5,7574632} = 0,1333$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.17.

Таблица 2.17 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию М_{п4}

Критерий	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
К ₁	1	5	1,667	1,25	2,5	1,919259748	0,3333
К ₂	0,2	1	0,333	0,25	0,5	0,38385195	0,0667
К ₃	0,6	3	1	0,750	1,5	1,151555849	0,2000
К ₄	0,8	4	1,333	1	2	1,535407799	0,2667
К ₅	0,4	2	0,667	0,5	1	0,767703899	0,1333
Сумма	3	15	5	3,75	7,5	5,757779	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по пятому мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия « $M_{п5}$ – Организация логистики строительных материалов и технологического оборудования» приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Ранжирование критериев для мероприятия $M_{п5}$

Критерий	Ранг
K_1 – Соответствие требованиям ПСД	5
K_2 – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	4
K_3 – Сокращение продолжительности реконструкции	2
K_4 – Обеспечение качества производства работ	3
K_5 – Эффективность применения материально-технических ресурсов	1

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-M_{п5}} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,6667$$

$$K_{2-M_{п5}} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,3333$$

$$K_{3-M_{п5}} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,6667$$

$$K_{4-M_{п5}} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20,0000$$

$$K_{5-M_{п5}} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,3333$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию $M_{п5}$ (2.21):

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0,25 & 0,333 & 0,2 \\ 2 & 1 & 0,5 & 0,667 & 0,4 \\ 4 & 2 & 1 & 1,333 & 0,8 \\ 3 & 1,5 & 0,75 & 1 & 0,6 \\ 5 & 2,5 & 1,25 & 1,667 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$\begin{aligned} N_{1-Мп5} &= (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,38385195 \\ N_{2-Мп5} &= (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,767703899 \\ N_{3-Мп5} &= (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,535407799 \\ N_{4-Мп5} &= (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (2,0250)^{1/5} = 1,151555849 \\ N_{5-Мп5} &= (\prod_{j=1}^5 a_{5,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,919259748 \end{aligned}$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Находим **локальные векторы приоритетов** – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13)

$$\begin{aligned} \alpha_{1-Мп5} &= \frac{0,38385195}{5,757463} = 0,0667 \\ \alpha_{2-Мп5} &= \frac{0,767703899}{5,757463} = 0,1333 \\ \alpha_{3-Мп5} &= \frac{1,535407799}{5,7574632} = 0,2667 \\ \alpha_{4-Мп5} &= \frac{1,151555849}{5,757463} = 0,2000 \\ \alpha_{5-Мп5} &= \frac{1,919259748}{5,7574632} = 0,3333 \end{aligned}$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.19.

Таблица 2.19 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию $M_{п5}$

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	0,5	0,25	0,333	0,2	0,3839	0,0667
K_2	2	1	0,5	0,667	0,4	0,7677	0,1333
K_3	4	2	1	1,333	0,8	1,5354	0,2667
K_4	3	1,5	0,75	1	0,6	1,1516	0,2
K_5	5	2,5	1,25	1,667	1	1,9193	0,3333
Сумма	15	7,5	3,75	5	3	5,7578	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по шестому мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{п6} – Выбор стабильных источников финансирования» приведены в таблице 2.20.

Таблица 2.20 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{п6}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	4
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	5
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	3
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	1
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	2

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мп6} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,3333$$

$$K_{2-Мп6} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,6667$$

$$K_{3-Мп6} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20,0000$$

$$K_{4-Мп6} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,3333$$

$$K_{5-Мп6} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,6667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию $M_{п6}$ (2.22):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 0,667 & 0,4 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,333 & 0,2 & 0,25 \\ 1,5 & 3 & 1 & 0,6 & 0,75 \\ 2,5 & 5 & 1,667 & 1 & 1,25 \\ 2 & 4 & 1,333 & 0,8 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.22)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$N_{1-Мп6} = (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,7677$$

$$N_{2-Мп6} = (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,3839$$

$$N_{3-Мп6} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (2,0250)^{1/5} = 1,1516$$

$$N_{4-Мп6} = (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,9193$$

$$N_{5-Мп6} = (\prod_{j=1}^5 a_{5,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,5354$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Находим **локальные векторы приоритетов** – отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.17) к их сумме (2.18) – по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Мп6} = \frac{0,38385195}{5,757463} = 0,1333$$

$$\alpha_{2-Мп6} = \frac{0,767703899}{5,757463} = 0,0667$$

$$\alpha_{3-Мп6} = \frac{1,535407799}{5,7574632} = 0,2000$$

$$\alpha_{4-Мп6} = \frac{1,919259748}{5,757463} = 0,3333$$

$$\alpha_{5-Мп6} = \frac{1,919259748}{5,7574632} = 0,2667$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.21.

Таблица 2.21 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию М_{п6}

Критерий	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
К ₁	1	2	0,667	0,4	0,5	0,7677	0,1333
К ₂	0,5	1	0,333	0,2	0,25	0,3839	0,0667
К ₃	1,5	3	1	0,6	0,75	1,1516	0,2000
К ₄	2,5	5	1,667	1	1,25	1,9193	0,3333
К ₅	2	4	1,333	0,8	1	1,5354	0,2667
Сумма	7,5	15	5	3	3,75	5,7578	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда $I_c = \frac{5-5}{5-1} = 0$

При n=5, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.16):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Результаты статистического анализа значимости критериев для мероприятий на стадии проектирования представлена на рисунке 2.4.

Наиболее важным критерием для мероприятия М_{п1} является К₅-М_{п1}, для мероприятия М_{п2} является К₄-М_{п2}, для мероприятия М_{п3} является К₂-М_{п3}, для мероприятия М_{п4} является К₁-М_{п4}, для мероприятия М_{п5} является К₅-М_{п5}, для мероприятия М_{п6} является К₄-М_{п6}.

С учетом результатов исследований по влиянию различных типов мероприятий на эффективность строительного производства на стадии мониторинга выполнено ранжирование мероприятий по степени их значимости (таблица 2.22).



Рисунок 2.4 – Графическая оценка значимости критериев для мероприятий на стадии проектирования

Таблица 2.22 – Ранжирование мероприятий на стадии мониторинга

Обозначение	Мероприятия на стадии выполнения СМР	Ранг значимости
М _{р1}	Соответствие организации работ и МТО участников строительства/реконструкции параметрам, заложенным в ПСД	5
М _{р2}	Корректировка графика производства работ с учетом необходимости устранения нарушений, выявленных со стороны контролирующих органов	3
М _{р3}	Корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга	1
М _{р4}	Соответствие фактических гидрогеологических условий вмещающих грунтов данным инженерно-геологических изысканий	2
М _{р5}	Своевременное финансирование этапов	4

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.8):

$$M_{p1} = \frac{2(6-5+1)}{6(6+1)} 100 = 6,6667$$

$$M_{p2} = \frac{2(6-3+1)}{6(6+1)} 100 = 20$$

$$M_{p3} = \frac{2(6-1+1)}{6(6+1)} 100 = 33,33$$

$$M_{p4} = \frac{2(6-2+1)}{6(6+1)} 100 = 26,6667$$

$$M_{p5} = \frac{2(6-4+1)}{6(6+1)} 100 = 13,3333$$

Построим матрицу парных сравнений в соответствие с формулой (2.9):

Матрица парных сравнений критериев по мероприятиям на стадии мониторинга представлена ниже (2.23):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,333 & 0,2 & 0,25 & 0,5 \\ 3 & 1 & 0,6 & 0,75 & 1,5 \\ 5 & 1,667 & 1 & 1,25 & 2,5 \\ 4 & 1,333 & 0,8 & 1 & 2 \\ 2 & 0,667 & 0,4 & 0,5 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.23)$$

На следующем этапе определяем векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов. Вычисляем геометрическое среднее каждой из строк матрицы по формуле (2.11):

$$N_{p1} = (1 * 0,333 * 0,2 * 0,25 * 0,5)^{1/5} = 0,38385195$$

$$N_{p2} = (3 * 1 * 0,6 * 0,75 * 1,5)^{1/5} = 1,151555849$$

$$N_{p3} = (5 * 1,667 * 1 * 1,25 * 2,5)^{1/5} = 1,919259748$$

$$N_{p4} = (4 * 1,333 * 0,8 * 1 * 2)^{1/5} = 1,535407799$$

$$N_{p5} = (2 * 0,667 * 0,4 * 0,5 * 1)^{1/5} = 0,767703899$$

Далее определяется сумма полученных результатов и по каждой строке вычисляется отношение геометрического среднего каждой из строк матрицы к данной сумме по формуле (2.24).

$$\sum N_i = 0,38385195 + 1,151555849 + 1,919259748 + 1,535407799 + 0,767703899 = 5,757779245 \quad (2.24)$$

Находим отношение геометрических средних каждой из строк матрицы (2.23) к их сумме (2.24). В результате получаем локальные приоритеты соответствующих сравниваемых элементов по формуле (2.13):

$$\alpha_{p1} = \frac{0,38385195}{5,757779245} = 0,0667$$

$$\alpha_{p2} = \frac{1,151555849}{5,757779245} = 0,2$$

$$\alpha_{p3} = \frac{1,919259748}{5,757779245} = 0,3333$$

$$\alpha_{p4} = \frac{1,535407799}{5,757779245} = 0,26667$$

$$\alpha_{p5} = \frac{0,767703899}{5,757779245} = 0,13333$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.23.

Таблица 2.23 – Оценка важности мероприятий на стадии 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	0,383852	0,06667
M_{p2}	3	1	0,6	0,75	1,5	1,151556	0,2
M_{p3}	5	1,667	1	1,25	2,5	1,91926	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

Определяем индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 15 * 0,06667 + 5 * 0,2 + 3 * 0,3333 + 3,75 * 0,26667 + 7,5 * 0,13333 = 5,38125$$

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

Сравниваем I_c со случайной согласованностью (СС), приведенной в таблице 4 [128]. Значение СС зависит только от размерности матрицы парных сравнений.

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|I_c|}{СС}$$

$$ДС = \frac{|0|}{1,24} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена вышеприведенная матрица, согласовано.

Выделяем основные критерии для оценки эффективности реконструкции. Выполняем их ранжирование для каждого мероприятия по таблице 2.22.

Ранги критериев для мероприятия «М_{р1} – Соответствие организации работ и МТО участников строительства/реконструкции параметрам, заложенным в ПСД / Наличие приборного оснащения, 3D-сканеров» приведены в таблице 2.24.

Таблица 2.24 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{р1}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	4
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	2
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	5
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	3
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	1

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16):

$$K_{1-Мр1} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,333$$

$$K_{2-Мр1} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,667$$

$$K_{3-Мр1} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,667$$

$$K_{4-Мр1} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20$$

$$K_{5-Мр1} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,333$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию М_{р1} (формула 2.25):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,5 & 2 & 0,667 & 0,4 \\ 2 & 1 & 4 & 1,333 & 0,8 \\ 0,5 & 0,25 & 1 & 0,333 & 0,2 \\ 1,5 & 0,75 & 3 & 1 & 0,6 \\ 2,5 & 1,25 & 5 & 1,667 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.25)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяются по формуле (2.11). Порядок матрицы – n=5.

$$N_{1-Мр1} = (1 * 0,5 * 2 * 0,667 * 0,4)^{1/5} = 0,767703899$$

$$N_{2-Mp1} = (2 * 1 * 4 * 1,33 * 0,8)^{1/5} = 1,535407799$$

$$N_{3-Mp1} = (0,5 * 0,25 * 1 * 0,333 * 0,2)^{1/5} = 0,38385195$$

$$N_{4-Mp1} = (1,5 * 0,7 * 3 * 1 * 0,6)^{1/5} = 1,151555849$$

$$N_{5-Mp1} = (2,5 * 1,25 * 5 * 1,667 * 1)^{1/5} = 1,919259748$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779245$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Mp1} = \frac{0,767703899}{5,757463} = 0,1333$$

$$\alpha_{2-Mp1} = \frac{1,535407799}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{3-Mp1} = \frac{1,151555849}{5,7574632} = 0,067$$

$$\alpha_{4-Mp1} = \frac{1,151493}{5,757463} = 0,2$$

$$\alpha_{5-Mp1} = \frac{1,918962}{5,7574632} = 0,3333$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.25.

Таблица 2.25 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию M_{p1}

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	0,5	2	0,667	0,4	0,7677	0,133
K_2	2	1	4	1,333	0,8	1,53541	0,267
K_3	0,5	0,25	1	0,333	0,2	0,38385	0,067
K_4	1,5	0,75	3	1	0,6	1,15156	0,200
K_5	2,5	1,25	5	1,667	1	1,91926	0,333
Сумма	7,5	3,75	15	5	3	5,75778	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по второму мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{р2} – Корректировка графика производства работ с учетом необходимости устранения нарушений, выявленных со стороны контролирующих органов» приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{р2}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	5
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	4
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	1
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	3
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	2

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мр2} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,67$$

$$K_{2-Мр2} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,33$$

$$K_{3-Мр2} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,333$$

$$K_{4-Мр2} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20$$

$$K_{5-Мр2} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию М_{р2} (формула 2.26):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,5 & 0,2 & 0,333 & 0,25 \\ 2 & 1 & 0,4 & 0,667 & 0,5 \\ 5 & 2,5 & 1 & 1,667 & 1,25 \\ 3 & 1,5 & 0,6 & 1 & 0,75 \\ 4 & 2 & 0,8 & 1,333 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.26)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяются по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$\begin{aligned} N_{1-Mp2} &= (0,008333333)^{1/5} = 0,38385195 \\ N_{2-Mp2} &= (0,266666667)^{1/5} = 0,767703899 \\ N_{3-Mp2} &= (26,041666667)^{1/5} = 1,919259748 \\ N_{4-Mp2} &= (2,025)^{1/5} = 1,151555849 \\ N_{5-Mp2} &= (8,533333333)^{1/5} = 1,535407799 \end{aligned}$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\begin{aligned} \alpha_{1-Mp2} &= \frac{0,38385195}{5,757463} = 0,067 \\ \alpha_{2-Mp2} &= \frac{0,767703899}{5,757463} = 0,133 \\ \alpha_{3-Mp2} &= \frac{1,919259748}{5,7574632} = 0,333 \\ \alpha_{4-Mp2} &= \frac{1,151555849}{5,757463} = 0,2 \\ \alpha_{5-Mp2} &= \frac{1,535407799}{5,7574632} = 0,267 \end{aligned}$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.27.

Таблица 2.27 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию M_{p2}

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	0,5	0,2	0,333	0,25	0,38385	0,067
K_2	2	1	0,4	0,667	0,5	0,7677	0,133
K_3	5	2,5	1	1,667	1,25	1,91926	0,333
K_4	3	1,5	0,6	1	0,75	1,15156	0,200
K_5	4	2	0,8	1,333	1	1,53541	0,267
Сумма	15	7,5	3	5	3,75	5,75778	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по третьему мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{р3} – Корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга» приведены в таблице 2.28.

Таблица 2.28 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{р3}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	3
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	5
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	1
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	4
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	2

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мр3} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20$$

$$K_{2-Мр3} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,6667$$

$$K_{3-Мр3} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,3333$$

$$K_{4-Мр3} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,333$$

$$K_{5-Мр3} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,6667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию М_{р3} (формула 2.27)

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 0,6 & 1,5 & 0,75 \\ 0,333 & 1 & 0,2 & 0,5 & 0,25 \\ 1,667 & 5 & 1 & 2,5 & 1,25 \\ 0,667 & 2 & 0,4 & 1 & 0,5 \end{vmatrix} \quad (2.27)$$

$$\left| \begin{array}{ccccc} a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccccc} 1,333 & 4 & 0,8 & 2 & 1 \end{array} \right|$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$\begin{aligned} N_{1-Мр3} &= (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (2,025)^{1/5} = 1,1516 \\ N_{2-Мр3} &= (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (0,00833)^{1/5} = 0,3839 \\ N_{3-Мр3} &= (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,9193 \\ N_{4-Мр3} &= (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,7677 \\ N_{5-Мр3} &= (\prod_{j=1}^5 a_{5,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,5354 \end{aligned}$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\begin{aligned} \alpha_{1-Мр3} &= \frac{1,151556}{5,757463} = 0,2000 \\ \alpha_{2-Мр3} &= \frac{0,3839}{5,757463} = 0,0667 \\ \alpha_{3-Мр3} &= \frac{1,9193}{5,7574632} = 0,3333 \\ \alpha_{4-Мр3} &= \frac{0,7677}{5,757463} = 0,1333 \\ \alpha_{5-Мр3} &= \frac{1,5354}{5,7574632} = 0,2667 \end{aligned}$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.29.

Таблица 2.29 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию $M_{р3}$

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	3	0,6	1,5	0,75	1,1516	0,2
K_2	0,333	1	0,2	0,5	0,25	0,3839	0,0667
K_3	1,667	5	1	2,5	1,25	1,9193	0,3333
K_4	0,667	2	0,4	1	0,5	0,7677	0,1333
K_5	1,333	4	0,8	2	1	1,5354	0,2667
Сумма	5	15	3	7,5	3,75	5,7578	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по четвертому мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия «М_{р4} – Соответствие фактических условий гидрогеологических условий вмещающих грунтов данным инженерно-геологических изысканий» приведены в таблице 2.30.

Таблица 2.30 - Ранжирование критериев для мероприятия М_{р4}

Критерий	Ранг
К ₁ – Соответствие требованиям ПСД	4
К ₂ – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	3
К ₃ – Сокращение продолжительности реконструкции	1
К ₄ – Обеспечение качества производства работ	2
К ₅ – Эффективность применения материально-технических ресурсов	5

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Мр4} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,333$$

$$K_{2-Мр4} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20,000$$

$$K_{3-Мр4} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,333$$

$$K_{4-Мр4} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,667$$

$$K_{5-Мр4} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию М_{р4} (формула 2.28):

$$\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,667 & 0,4 & 0,5 & 2 \\ 1,5 & 1 & 0,6 & 0,75 & 3 \\ 2,5 & 1,667 & 1 & 1,25 & 5 \\ 2 & 1,333 & 0,8 & 1 & 4 \end{vmatrix} \quad (2.28)$$

$a_{5,1}$	$a_{5,2}$	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	0,5	0,333	0,2	0,25	1
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----	-------	-----	------	---

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – $n=5$.

$$N_{1-Мр4} = (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,7677$$

$$N_{2-Мр4} = (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (2,0250)^{1/5} = 1,1516$$

$$N_{3-Мр4} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,9193$$

$$N_{4-Мр4} = (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,5354$$

$$N_{5-Мр4} = (\prod_{j=1}^5 a_{5,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,3839$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Мр4} = \frac{0,7677}{5,757463} = 0,1333$$

$$\alpha_{2-Мр4} = \frac{1,1516}{5,757463} = 0,2000$$

$$\alpha_{3-Мр4} = \frac{1,9193}{5,7574632} = 0,3333$$

$$\alpha_{4-Мр4} = \frac{1,5354}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{5-Мр4} = \frac{0,3839}{5,7574632} = 0,0667$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.31.

Таблица 2.31 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию $M_{р4}$

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	0,667	0,4	0,5	2	0,7677	0,1333
K_2	1,5	1	0,6	0,75	3	1,1516	0,2000
K_3	2,5	1,667	1	1,25	5	1,9193	0,3333
K_4	2	1,333	0,8	1	4	1,5354	0,2667
K_5	0,5	0,333	0,2	0,25	1	0,3839	0,0667
Сумма	7,5	5	3	3,75	15	5,757779	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Выполним ранжирование критериев по пятому мероприятию.

Ранги критериев для мероприятия « M_{p5} – Своевременное финансирование этапов» приведены в таблице 2.32.

Таблица 2.32 - Ранжирование критериев для мероприятия M_{p5}

Критерий	Ранг
K_1 – Соответствие требованиям ПСД	1
K_2 – Обеспечение производственной и экологической безопасности, учет условий стесненности строительной площадки	4
K_3 – Сокращение продолжительности реконструкции	3
K_4 – Обеспечение качества производства работ	2
K_5 – Эффективность применения материально-технических ресурсов	5

Показатели важности мероприятий определяем по формуле (2.16).

$$K_{1-Mp5} = \frac{2(5 - 1 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 33,333$$

$$K_{2-Mp5} = \frac{2(5 - 4 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 13,333$$

$$K_{3-Mp5} = \frac{2(5 - 3 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 20,000$$

$$K_{4-Mp5} = \frac{2(5 - 2 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 26,667$$

$$K_{5-Mп5} = \frac{2(5 - 5 + 1)}{5(5 + 1)} 100 = 6,667$$

Матрицу парных сравнений запишем согласно выражению (2.9) по мероприятию M_{p5} (формула 2.29):

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} \\ \hline a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} \\ \hline a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} \\ \hline a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} \\ \hline a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2,5 & 1,667 & 1,25 & 5 \\ \hline 0,4 & 1 & 0,667 & 0,5 & 2 \\ \hline 0,6 & 1,5 & 1 & 0,75 & 3 \\ \hline 0,8 & 2 & 1,333 & 1 & 4 \\ \hline 0,2 & 0,5 & 0,333 & 0,25 & 1 \\ \hline \end{array} \quad (2.29)$$

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11), $n=5$.

$$N_{1-Mp5} = (\prod_{j=1}^5 a_{1,j})^{1/5} = (26,0417)^{1/5} = 1,9193$$

$$N_{2-Mp5} = (\prod_{j=1}^5 a_{2,j})^{1/5} = (0,2667)^{1/5} = 0,7677$$

$$N_{3-Mp5} = (\prod_{j=1}^5 a_{3,j})^{1/5} = (2,0250)^{1/5} = 1,1516$$

$$N_{4-Mp5} = (\prod_{j=1}^5 a_{4,j})^{1/5} = (8,5333)^{1/5} = 1,5354$$

$$N_{5-Mp5} = (\prod_{j=1}^5 a_{5,j})^{1/5} = (0,0083)^{1/5} = 0,3839$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 5,757779$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\alpha_{1-Mp5} = \frac{1,919259748}{5,757463} = 0,3333$$

$$\alpha_{2-Mp5} = \frac{0,767703899}{5,757463} = 0,1333$$

$$\alpha_{3-Mp5} = \frac{1,151555849}{5,7574632} = 0,2000$$

$$\alpha_{4-Mp5} = \frac{1,5354}{5,757463} = 0,2667$$

$$\alpha_{5-Mp5} = \frac{0,3839}{5,7574632} = 0,0667$$

Запишем матрицу в виде таблицы 2.33.

Таблица 2.33 – Оценка важности критериев по отношению к мероприятию M_{p5}

Критерий	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$N_i = (\prod_{j=1}^n a_{i,j})^{1/n}$	Локальный вектор приоритетов
K_1	1	2,5	1,667	1,25	5	1,9193	0,3333
K_2	0,4	1	0,667	0,5	2	0,7677	0,1333
K_3	0,6	1,5	1	0,75	3	1,1516	0,2000
K_4	0,8	2	1,333	1	4	1,5354	0,2667
K_5	0,2	0,5	0,333	0,25	1	0,3839	0,0667
Сумма	3	7,5	5	3,75	15	5,7578	1

Определим индекс согласованности матрицы по формуле (2.14):

$$\lambda_{\max} = 5$$

Тогда

$$I_c = \frac{5 - 5}{5 - 1} = 0$$

При $n=5$, случайная согласованность составляет 1,12. Тогда, находим отношение согласованности по формуле (2.15):

$$ДС = \frac{|0|}{1,12} = 0 < 0,1$$

Значение отношения согласованности не превосходит 0,1, тогда можно сделать вывод, что мнение эксперта, по которому составлена матрица, согласовано.

Результаты статистического анализа значимости критериев для мероприятий на стадии мониторинга представлены на рисунке 2.5.

Наиболее важным критерием для мероприятия M_{p1} является K_5-M_{p1} , для мероприятия M_{p2} является K_3-M_{p2} , для мероприятия M_{p3} является K_3-M_{p3} , для мероприятия M_{p4} является K_3-M_{p4} , для мероприятия M_{p5} является K_1-M_{p5} .



Рисунок 2.5 – Графическая оценка значимости критериев для мероприятий на стадии мониторинга

2.5. Определение приоритетов для совокупности критериев и мероприятий

Вычисление глобального приоритета выполняется по формуле (2.30):

$$\alpha(A_i) = \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_2} \dots \sum_{i_k=1}^{m_k} \alpha_i(i_1, i_2, \dots, i_k) \alpha_j(i_1, i_2, \dots, i_k) \quad (2.30)$$

где α_i – важность мероприятия;

α_j – важность критерия по отдельным мероприятиям.

Оценка важности критериев на стадии проектирования выполняется на основе полученных значений локальные векторы приоритетов (таблица 2.34).

Таблица 2.34 – База данных для оценки важности критериев на стадии проектирования

Значимость мероприятия		Локальные векторы приоритетов				
		$\alpha_{1-Мпi}$ по K_1	$\alpha_{2-Мпi}$ по K_2	$\alpha_{3-Мпi}$ по K_3	$\alpha_{4-Мпi}$ по K_4	$\alpha_{5-Мпi}$ по K_5
$M_{п1}$	0,03125	0,0667	0,2667	0,1333	0,2	0,3333
$M_{п2}$	0,0625	0,2667	0,0667	0,1333	0,3333	0,2
$M_{п3}$	0,1875	1,151556	1,91926	0,767704	1,535408	0,383852
$M_{п4}$	0,09375	0,3333	0,0667	0,2	0,2667	0,1333
$M_{п5}$	0,125	0,0667	0,1333	0,2667	0,2	0,3333
$M_{п6}$	0,5	0,1333	0,0667	0,2	0,3333	0,2667

По Критерию K_1 :

$$\begin{aligned} \Gamma_{п1} = & 0,03125*0,0667+0,0625*0,2667+0,1875*1,151556+0,09375*0,3333+ \\ & +0,125*0,0667+0,5*0,1333 = 0,34090425 \end{aligned}$$

По Критерию K_2 :

$$\begin{aligned} \Gamma_{п2} = & 0,03125*0,2667 + 0,0625*0,0667 + 0,1875*1,91926 + 0,09375*0,0667+ \\ & + 0,125*0,1333 + 0,5*0,0667 = 0,42863; \end{aligned}$$

По Критерию K_3 :

$$\begin{aligned} \Gamma_{п3} = & 0,03125*0,1333 + 0,0625*0,1333 + 0,1875*0,767704 + 0,09375*0,2 + \\ & 0,125*0,2667 + 0,5*0,2 = 0,308528875; \end{aligned}$$

По Критерию K_4 :

$$\Gamma_{\Pi 4} = 0,03125*0,2 + 0,0625*0,3333 + 0,1875*1,535408 + 0,09375*0,2667 + 0,125*0,2 + 0,5*0,3333 = 0,531623375;$$

По Критерию K_5 :

$$\Gamma_{\Pi 5} = 0,03125*0,3333 + 0,0625*0,2 + 0,1875*0,383852 + 0,09375*0,1333 + 0,125*0,3333 + 0,5*0,2667 = 0,28239725.$$

Полученные результаты используются при вычислении значимости критериев и мероприятий на протяжении всего исследуемого цикла объекта реконструкции.

Далее выполняется оценка важности критериев на стадии мониторинга на основе полученных значений локальных векторов приоритетов (таблица 2.35).

Таблица 2.35 – База данных для оценки важности критериев на стадии мониторинга

Значимость мероприятия		Локальные векторы приоритетов				
		α_{1-Mpi} по K_1	α_{2-Mpi} по K_2	α_{3-Mpi} по K_3	α_{4-Mpi} по K_4	α_{5-Mpi} по K_5
M_{p1}	0,06667	0,133	0,067	0,2	0,1333	0,3333
M_{p2}	0,2	0,267	0,133	0,0667	0,2	0,1333
M_{p3}	0,33333	0,067	0,333	0,3333	0,3333	0,2
M_{p4}	0,26667	0,2	0,2	0,1333	0,2667	0,2667
M_{p5}	0,13333	0,333	0,267	0,2667	0,0667	0,0667

Вычисление глобального приоритета выполняется по формуле (2.30):

$$\text{По Критерию } K_1: \Gamma_{P1} = 0,06667*0,133 + 0,2*0,267 + 0,33333*0,067 + 0,26667*0,2 + 0,13333*0,333 = 0,18233311;$$

По Критерию K_2 :

$$\Gamma_{P2} = 0,06667*0,067 + 0,2*0,133 + 0,33333*0,333 + 0,26667*0,2 + 0,13333*0,267 = 0,23099889;$$

По Критерию K_3 :

$$\Gamma_{P3} = 0,06667*0,2 + 0,2*0,0667 + 0,33333*0,3333 + 0,26667*0,1333 + 0,13333*0,2667 = 0,208879111;$$

По Критерию K_4 :

$$\Gamma_{P4} = 0,06667*0,1333 + 0,2*0,2 + 0,33333*0,3333 + 0,26667*0,2667 + 0,13333*0,0667 = 0,24;$$

По Критерию K_5 :

$$\Gamma_{P_5} = 0,06667*0,3333 + 0,2*0,1333 + 0,33333*0,2 + 0,26667*0,2667 + 0,13333*0,0667 = 0,195561111.$$

Полученные результаты используются при вычислении значимости критериев и мероприятий на протяжении всего исследуемого цикла объекта реконструкции.

Выполним ранжирование мероприятий по уровню важности на этапах реконструкции (таблица 2.36).

Таблица 2.36 – Ранжирование мероприятий по уровню важности на этапах реконструкции

	Этап	Ранг
S ₁	Проектирование	5
S ₂	Мониторинг	4

Построим матрицу парных сравнений по формуле (2.9) (таблица 2.37).

Таблица 2.37 – Матрица парных сравнений на этапах жизненного цикла объекта

	Проект	Мониторинг
Проект	1	5/4
Мониторинг	4/5	1

Векторы приоритетов, которые показывают локальные приоритеты сравниваемых элементов, определяем по формуле (2.11). Порядок матрицы – n=2.

$$N_1 = (\prod_{j=1}^2 a_{1,j})^{1/2} = (1,25)^{1/2} = 1,1180$$

$$N_2 = (\prod_{j=1}^2 a_{2,j})^{1/2} = (0,8)^{1/2} = 0,8944$$

Сумма векторов:

$$\sum N_i = 2,0125$$

Вычисляем локальные векторы приоритетов по формуле (2.13):

$$\alpha_{п} = \frac{1,1180}{2,0125} = 0,5556$$

$$\alpha_{р} = \frac{0,8944}{2,0125} = 0,4444$$

Выполним нормализацию значений:

$$\alpha_{K1} = \alpha_{п} * \Gamma_{П1} + \alpha_{р} * \Gamma_{P1} = 0,5556*0,34090425 + 0,4444*0,18233311 = 0,27$$

$$\alpha_{K2} = \alpha_{п} * \Gamma_{П2} + \alpha_{р} * \Gamma_{P2} = 0,5556*0,42863 + 0,4444*0,23099889 = 0,34079$$

$$\alpha_{K3} = \alpha_{п} * \Gamma_{П3} + \alpha_{р} * \Gamma_{P3} = 0,5556*0,308528875 + 0,4444*0,208879111 = 0,26424$$

$$\alpha_{K4} = \alpha_{п} * ГП_{п4} + \alpha_{р} * ГП_{р4} = 0,5556 * 0,531623375 + 0,4444 * 0,24 = 0,40201$$

$$\alpha_{K5} = \alpha_{п} * ГП_{п5} + \alpha_{р} * ГП_{р5} = 0,5556 * 0,28239725 + 0,4444 * 0,195561111 = 0,2438$$

На основании выполненного анализа предложены наиболее эффективные мероприятия на этапах проектирования и мониторинга реконструируемого объекта.

По результатам многокритериального анализа установлено, для мероприятий на стадии проектирования и мониторинга наиболее важным является критерий «К4 – Обеспечение качества производства работ».

Выводы по второй главе

1. Разработана анкета и проведен экспертный опрос из семи экспертов с целью оценки важности основных мероприятий при проведении реконструкции с устройством новых подземных этажей под существующим зданием на этапе разработки проекта и мониторинга производства работ, доказана согласованность мнений экспертов.

2. На стадии проектирования наибольшую значимость получили мероприятия по «рациональной организации процесса производства работ» и «выбору стабильных источников финансирования» с показателями важности соответственно **28,6** и **23,81** и значениями локальных векторов приоритетов соответственно **0,1875** и **0,5**.

3. На стадии мониторинга/производства работ наибольшую значимость получило мероприятие «корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга» с показателем важности **33,33** и значением локального вектора приоритетов **0,333**.

4. По результатам многокритериального анализа установлено, что для мероприятий на стадии проектирования и мониторинга наиболее важным является критерий «К4 – Обеспечение качества производства работ».

5. Учет выделенных мероприятий способствует оптимизации организационно-технологических решений на стадиях проектирования и непосредственного проведения строительных работ при сопровождении в виде мониторинга, что приведет к повышению качества строительных работ по реконструкции объектов с устройством дополнительных подземных пространств.

ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ УСТРОЙСТВЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ НА СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ ПОС И МОНИТОРИНГА

3.1. Оптимизация организационно-технологических решений на стадии разработки ПОС

По итогам ранжирования критериев для мероприятий на стадиях разработки ПОС и мониторинга получены показатели важности критериев для каждой стадии. На стадии проектирования наибольшую значимость получили мероприятия «Рациональные организационно-технологические решения процесса производства работ» (значение 28,6).

В связи с этим необходимо решить задачу поиска оптимальных организационно-технологических решений при разработке подземного пространства существующего здания, обеспечивающих эффективное производство строительно-монтажных работ.

Проанализировав существующие способы устройства подземных пространств под существующими зданиями [70, 19, 164, 188, 9 и др.], установлено, что 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.

Анализ эффективности мероприятий при устройстве дополнительных полезных площадей представлен в таблице 1.1, классификация технологических решений при устройстве подземного пространства под существующими зданиями приведена на рисунке 1.24.

Проведя исследования известных способов переопирания зданий на новые фундаменты, установлено, что в данной технологии существуют направления по оптимизации технологических решений, такие как устройство двойного ряда

свай по наружному контуру здания, устройство комбинированной с фермами несущей плиты, устройство резервного дополнительного портала для доступа к подземному пространству объекта и др. На данную технологию нами также разработан и получен авторский патент РФ на изобретение [113].

3.1.1. Построение расчетной модели

Объектом, для выполнения численных расчетов, выступает 3-х этажное здание с размерами в плане 18,0 х 6,0 м. Конструктивная схема принятого реконструируемого здания – бескаркасная. Имеются диафрагмы жесткости в виде лестничных маршей. Фундаменты мелкого заложения ленточные, выполнены из керамического кирпича. Стены выполнены из полнотелого керамического кирпича различных размеров 250×120×65 мм на сложном известковом растворе.

Конструктивная схема новой подземной части здания – каркасная. Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой колонн с дисками перекрытий (жесткое опирание). Фундамент – сплошная монолитная железобетонная плита толщиной 600 мм. Основанием фундаментной плиты служит ИГЭ 1 – грунт прочный. Междуэтажные перекрытия – монолитные толщиной 200 мм.

В качестве нагрузок был принят собственный вес сооружения и полезная нагрузка в размере 100 кН/м², приходящая на покрытие и перекрытие сооружения. Важным этапом при применении данной технологии является усиление существующего здания и обеспечение безопасного ведения строительных работ, в связи с этим была построена модель здания с использованием программ САПФИР и ЛИРА-САПР для моделирования усиления здания (рисунок 3.1).

При усилении существующего здания используются следующие виды балок:

- швеллеры (рандбалки) по нижнему поясу здания, которые стягиваются болтами;

- поперечные двутавровые балки, которые воспринимают нагрузки от рандбалки;

- ростверки – двутавры в сечении, передающие нагрузки на буронабивные сваи.

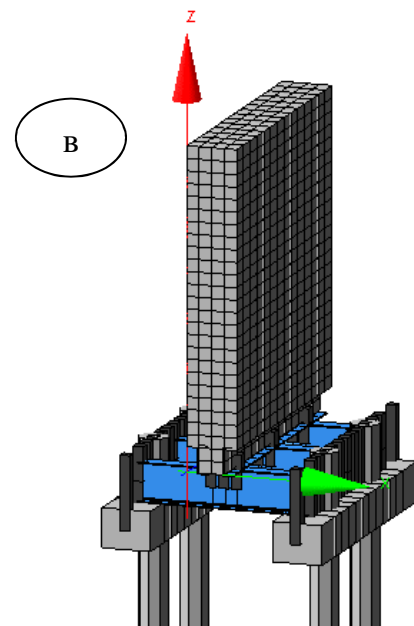
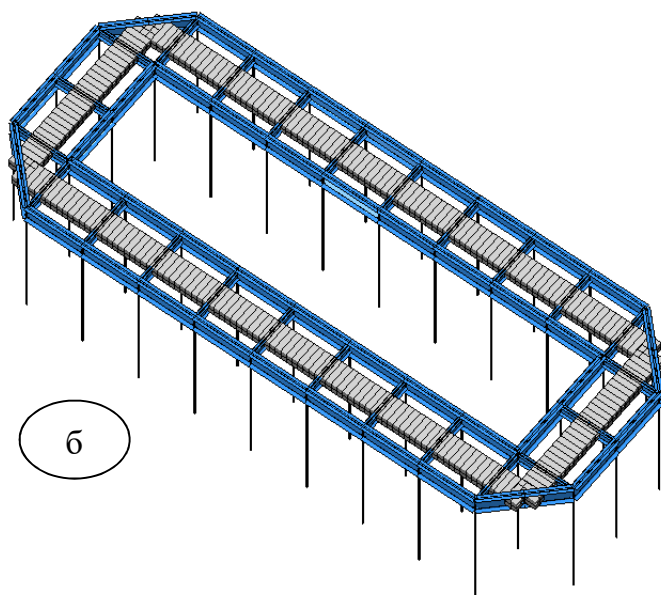
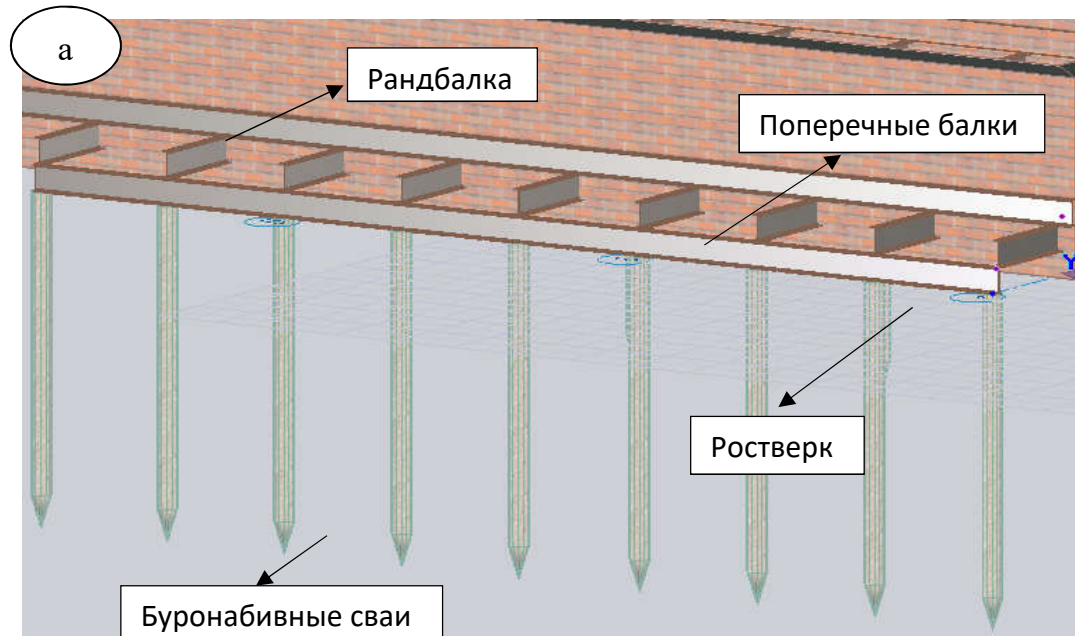


Рисунок 3.1 – расчетная модель. а) модель здания, построенная в ПО Сапфир; б) модель здания, построенная в ЛИРА-САПР; в) фрагмент участка стены, построенный в ЛИРА-САПР

Цель построения расчетной модели заключается в том, чтобы построить универсальную математическую модель, которая позволит быстро и верно определять общие трудозатраты при устройстве узлов переопирания

существующих несущих конструкций здания на новые фундаменты через определение конструктивных параметров: сечения усиливающих балок, расположения и шага балок, свай, прикладываемой нагрузки и др. Для того чтобы обобщить все расчеты в единый вид формулы нахождения сечения, длины свай и др. были переведены в таблицу (рисунок 3.2).

Данный расчетный алгоритм, разработанный в ПК Excel, дает возможность при изменении нагрузки и шага балок быстро и верно находить сечения швеллеров и двутавра, также определить длину сваи и диаметр, обеспечив достаточную несущую способность для восприятия выше передаваемых нагрузок. Данная таблица является оптимизационной, то есть позволяет из вариаций возможных условий и данных выбрать наиболее оптимальный вариант, определяемый экстремумом (максимум или минимум функции).

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		вар 1		вар 2		вар 3			вар 4		вар 5		вар 6			вар 7		вар 8		вар 9	
2	шаг свай	1		2		1			2		0,79289		2,2071			1,5		1,5		1,5	
3	расч рандбалки																				
4	q, расч	100		100		200 кН/м			200		150		150 кН/м			79,289		220,71		150 кН/м	
5	длина стены	1		2		1 м			2		0,79289		2,2071 м			1,5		1,5		1,5 м	
6	момент	8,3333333		33,3333333		16,6666667 кН*м			66,6667		7,85843		60,8911 кН*м			14,8667		41,3831		28,125 кН*м	
7	сечение=Iтр	68,027211		272,108844		136,0544218 см 3			544,218		64,1505		497,07 см 3			121,361		337,821		229,592 см 3	
8	№ швеллера	14 П		27 П		20 П			36 П		14 П		36 П			18а П		30 П		24 П	
9	вес рандбалки	0,123		0,277		0,184 кН/м			0,419		0,123		0,419 кН/м			0,174		0,318		0,24 кН/м	
10	W	70,4		310		153			603		70,4		603			133		389		243	
11	обеспечение несущ способности усиления	0,9662956 норм		0,87777046 норм		0,889244587 норм			0,90252 норм		0,91123 норм		0,82433 норм			0,91249 норм		0,86844 норм		0,94482 норм	
12	прогиб	2,718E-12	норм	4,3482E-11	норм	5,43531E-12	норм		8,7E-11	норм	1,6E-12	норм	9,7E-11	норм		1,1E-11	норм	9E-11	норм	2,1E-11	норм
13																					
14	расч балок для вывешивания																				
15	q	100,2583		100,5817		200,3864 кН/м			200,88		150,258		150,88 кН/м			79,6544		221,378		150,504 кН/м	
16	шаг балок	0,5		1		0,5 м			1		0,39645		1,10355 м			0,75		0,75		0,75 м	
17	длина балки вывешивания	3		3		3 м			3		3		3 м			3		3		3 м	
18	опорная реакция от рандбалки	25,064575		50,29085		50,0966 кН			100,41		29,7816		83,2518 кН			29,8704		89,0167		56,439 кН	
19	момент	37,596863		75,436275		75,1449 кН*м			150,66		44,6769		124,878 кН*м			44,8056		124,525		84,6585 кН*м	
20	сечение=Iтр	156,65359		314,317813		313,10375 см 3			627,75		186,154		520,323 см 3			186,69		518,854		352,744 см 3	
21	№ двутавр	20		27		27			36		22		33			22		33		27	
22	mg балки вывешивания	0,21		0,315		0,315 кН/м			0,486		0,24		0,422 кН/м			0,24		0,422		0,315 кН/м	
23	w	184		371		371			743		232		597			232		597		371	
24	обеспечение несущ способности усиления	0,8513782 норм		0,84721782 норм		0,843945418 норм			0,84489 норм		0,80239 норм		0,87156 норм			0,8047 норм		0,8691 норм		0,95079 норм	
25																					
26	расч ростверка																				
27	q	51,45215		51,2831		102,1777 кН/м			101,971		77,0361		76,6445 кН/м			40,8352		112,461		76,575 кН/м	
28	момент	4,2876792		17,0943667		8,514808333 кН*м			33,9903		4,03589		31,1131 кН*м			7,6566		21,0865		14,3578 кН*м	
29	сечение=Iтр	35,001463		139,54585		69,50863946 см 3			277,472		32,946		253,985 см 3			62,5029		172,135		117,207 см 3	
30	№ двутавр	10		18		14			24		10		24			14		20		18	
31	mg ростверка	0,0946		0,184		0,137 кг/м			0,273		0,0946		0,273 кг/м			0,137		0,21		0,184 кг/м	
32	w	39,7		143		143			289		39,7		289			81,7		184		143	
33	обеспечение несущ способности усиления	0,8816489 норм		0,97584511 норм		0,850778941 норм			0,96011 норм		0,82987 норм		0,87884 норм			0,76503 норм		0,93551 норм		0,81963 норм	
34																					
35	сваи																				
36	радиус сваи	0,15 м		0,3		0,3 м			0,3 м		0,3		0,3 м			0,3 м		0,3		0,3 м	
37	длина сваи	13 м		20		13 м			25 м		20		22 м			25 м		20		14 м	

Рисунок 3.2 – Расчетный алгоритм определения сечений балок и длины свай

По результатам вышеприведенных исследований рассчитаны вес конструкций усиления и трудозатраты на единицу длины строительной продукции (на стену 12 п. м., таблицы 3.1, 3.2):

Таблица 3.1 – Определение трудоемкости отдельных строительных процессов на единицу длины строительной конструкции (стена длиной 12 м)

№ варианта	Трудоемкость (чел.-час)				
	Сваи	Рандбалка	Балка	Ростверк	Общая трудоемкость
1	58,50	57,75	274,72	3,08	394,07
2	96,93	130,05	214,29	5,99	447,27
3	117,01	86,39	412,09	4,46	619,96
4	121,16	196,72	330,61	8,90	657,41
5	207,71	57,75	392,70	3,08	661,25
6	91,39	196,72	262,21	8,90	559,23
7	155,78	81,69	213,50	4,46	455,45
8	124,62	149,30	375,41	6,84	656,19
9	87,23	112,68	280,22	5,99	486,14

Таблица 3.2 – Вес металлоконструкций

№	Вес (кН/м)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
на 1 м	0,34	0,51	0,51	0,93	0,37	0,86	0,42	0,76	0,57
на 12 м	20,97	23,34	31,32	35,56	27,73	31,64	19,7	34,19	26,24

На основе полученных расчетов и анализа, сопоставления различных комбинаций сочетаний шага балок и нагрузки выведена формула (3.1) нахождения общего веса металлических конструкций усиления здания для выявления оптимального шага балок:

$$W=2 \cdot W_p+n \cdot l \cdot W_{гб}+2 \cdot W_{рост}, \quad (3.1)$$

где W – общий вес металла;

W_p – вес рандбалки;

$n = (\frac{L}{m} + 1)$; L – длина участка (здания);

l – длина поперечной балки;

$W_{гб}$ – поперечных (главных балок);

$W_{рост}$ – вес ростверка;

m – шаг расстановки балок.

Используя данную формулу построен график (рисунок 3.3) зависимости шага балок от веса металлических конструкций. Из графика следует, что снижение шага балок менее 0,5м и увеличение шага балок более 1 м вызывает значительное повышение веса металлоконструкций.

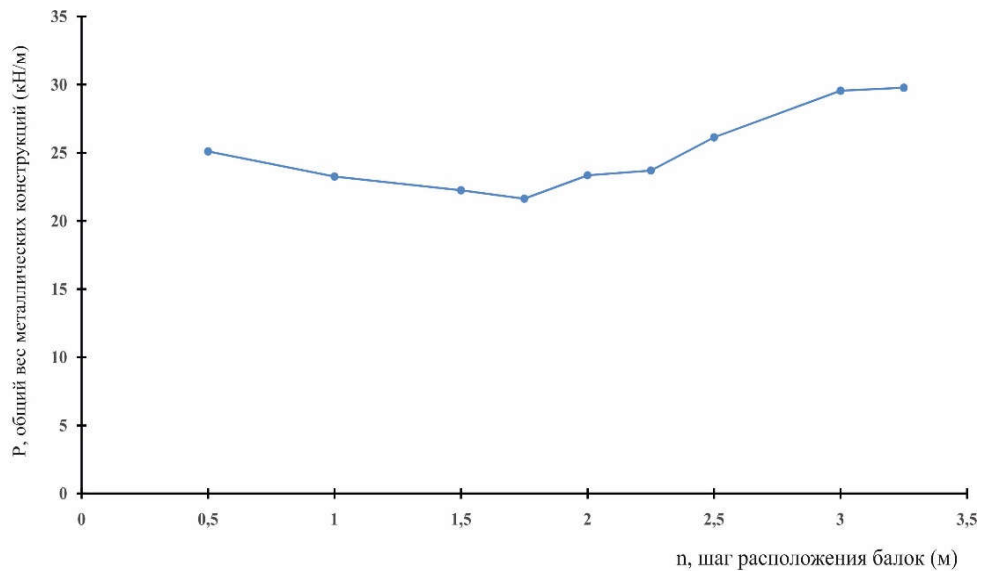


Рисунок 3.3 – График определения оптимального шага балок

3.1.2. Многофакторный анализ определения оптимальных параметров технологических процессов

Современные методы расчета дают возможность оценить и предугадать возможные риски, выбрать оптимальные технические решения для реализации идей по расширению подземного пространства. Целью данного этапа является оптимизация технических решений и выявление с помощью математических моделей оптимальные параметры, при которых стоимость выполняемой технологии и трудозатраты будут минимальными. Для решения данной задачи используется многофакторный эксперимент стохастической зависимости одной величины Y от нескольких других величин X_i . Использован двухфакторный план второго порядка (полная квадратичная модель) – центральный композиционный план Бокса.

Многофакторный эксперимент является одним из эффективных способов анализа, обработки и планирования экспериментальных исследований.

Многофакторный эксперимент позволяет решить задачи с высокой точностью с помощью выбора количества экспериментов, условий проведения. Все параметры, которые влияют на условие поставленной задачи, меняются с определенным шагом, задаваемые предварительно, получая при этом результат многофакторного эксперимента в виде математической модели исследуемой функции.

Для того, чтобы получить функцию, которая описывает искомую зависимость необходима правильная постановка условий задачи: выбрать математическую модель, факторы изменения с их определенным шагом, выбрать критерия оптимальности и план эксперимента.

Постановка задачи: необходимо построить многофакторную модель зависимости веса и трудоемкости от расположения шага балок и нагрузки. В работе применен центральный композиционный план Бокса. Для решения данной задачи использовалась программа Gradient 3.1. Тип плана: Двухфакторный композиционный (ротатабельный) эксперимент с квадратичной моделью.

Главными факторами для решения данной задачи являются шаг расположения балок, также нагрузка, передающая со всех конструкций существующего здания на усиливающие элементы.

Уровни варьирования указанных независимых переменных, выбранные для данного эксперимента, и матрица планирования приведены в таблицах 3.3, 3.4.

Таблица 3.3 – Матрица планирования эксперимента

№ состава	Матрица планирования		Натуральные значения переменных	
	X1	X2	X1	X2
1	-1	-1	1	100
2	1	-1	2	100
3	-1	1	1	200
4	1	1	2	200
5	1,4142	-	0,79289	150
6	1,4142	-	2,2071	150
7	-	1,4142	1,5	79,289
8	-	1,4142	1,5	220,71
9	-	-	1,5	150

Таблица 3.4 – Уровни варьирования

Факторы	Название факторов	Уровни варьирования		
		-1	-	+1
X1	Шаг расположения балок усиления, м	1	1,5	2
X	Нагрузка, кН/м ²	100	150	200

После исключения статистически незначимых коэффициентов вид математической зависимости от независимых переменных X_1 , X_2 примут следующий вид:

$$F_1 = 26,09 - 18,88X_1 + 0,053X_2 + 6,37X_1^2 + 0,000089X_2^2 + 0,0187X_1X_2 \quad (3.2)$$

$$F_2 = 832,78 - 574,33X_1 + 0,544X_2 + 194,85X_1^2 + 0,0086X_2^2 - 0,1575X_1X_2 \quad (3.3)$$

Для определения оптимальных параметров веса металлических конструкций и трудоемкости, соответствующей минимальному шагу, зависящей от расположения шага балок и нагрузки, были проведены численные расчеты по заданным исходным данным таблицы 3.3. Результаты расчетов приведены в таблице 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Результаты расчетов по отклику – вес

№	Факторы влияния		Отклик
	Шаг расположения балок, м	Нагрузка от вышележащих конструкций, кН/м ²	Вес, кН
1	1	100	20,97
2	2	100	23,34
3	1	200	31,32
4	2	200	35,56
5	0,79289	150	27,73
6	2,2071	150	31,64
7	1,5	79,289	19,7
8	1,5	220,71	34,19
9	1,5	150	26,24

Таблица 3.6 – Результаты расчетов по отклику – трудоемкость

№	Факторы влияния		Отклик
	Шаг расположения балок, м	Нагрузка от вышележащих конструкций, кН/м ²	Трудоемкость, чел-час
1	1	100	394,07
2	2	100	447,27
3	1	200	619,96
4	2	200	657,41
5	0,79289	150	661,25
6	2,2071	150	559,23
7	1,5	79,289	455,45
8	1,5	220,71	656,19
9	1,5	150	486,14

Графические интерпретации уравнений (3.2) и (3.3) представлены на рисунках 3.4 – 3.7 (сплошная линия показывает зависимость изменения веса металлических конструкций и трудоемкости монтируемых элементов в зависимости от прикладываемой нагрузки и шага расположения поперечных балок).

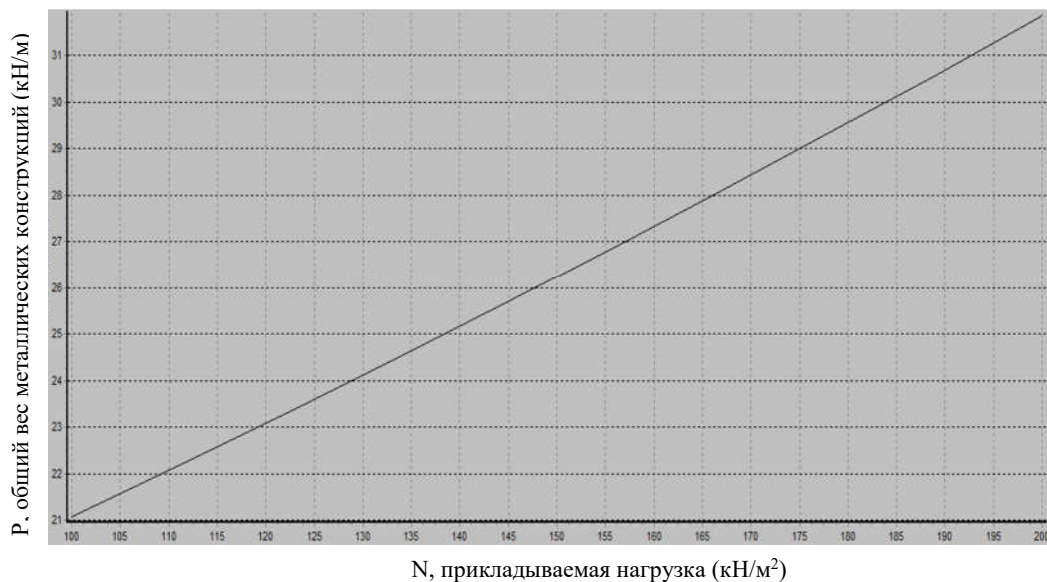


Рисунок 3.4 – Графическая интерпретация влияния нагрузки на общий вес металлических конструкций

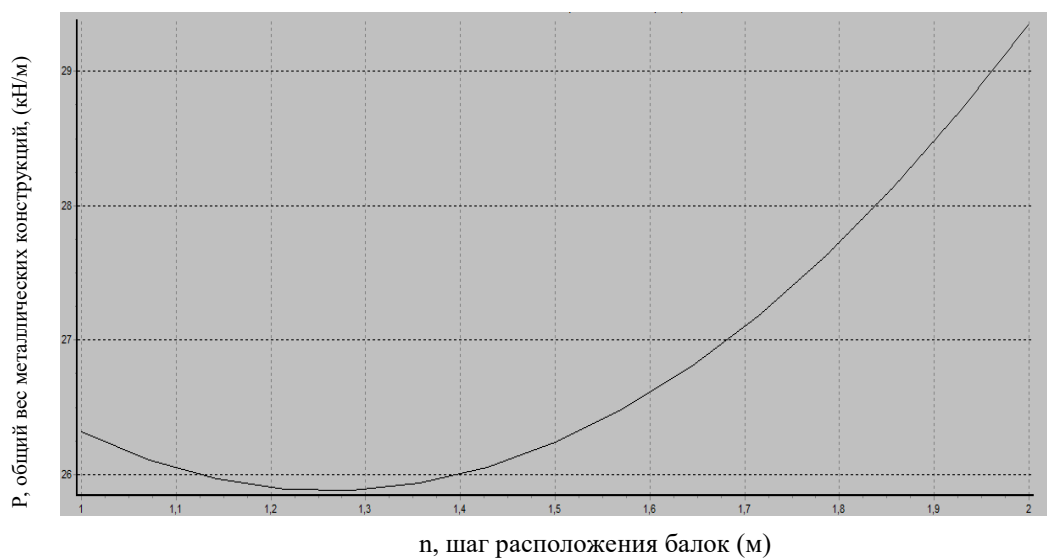


Рисунок 3.5 – Графическая интерпретация влияния шага расположения поперечных балок на общий вес металлических конструкций

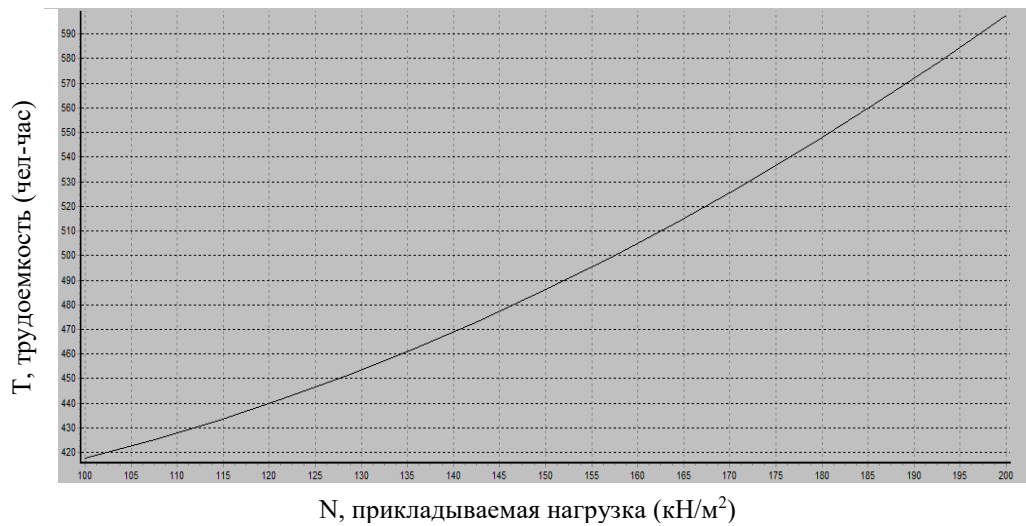


Рисунок 3.6 – Графическая интерпретация влияния нагрузки на трудоемкость усиливающих элементов

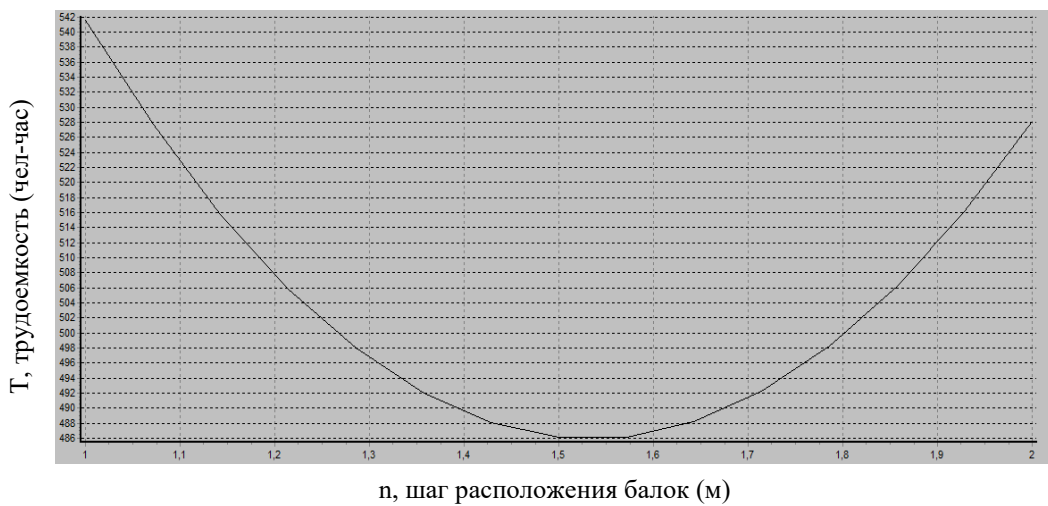


Рисунок 3.7 – Графическая интерпретация влияния расположения шага поперечных балок на трудоемкость усиливающих элементов

Для построения поверхностей и вывода оптимальных значений использовалась программа Mathematica – программа для построения математических моделей, позволяет выполнять как численные, так и символьные расчеты и имеет возможность построения поверхностей с развитой графикой.

Для построения в данной программе использовались сочетания, полученные в программе Gradient 3.1, где получено 9 возможных сочетаний ведущих факторов. Эти данные были введены в программу в виде следующих сочетаний (3.4, 3.5):

$$\text{data1} = \{ \{1, 100, 20.97\}, \{2, 100, 23.34\}, \{1, 200, 31.32\}, \{2, 200, 35.56\}, \{0.79289, 150, 27.73\}, \{2.2071, 150, 31.64\}, \{1.5, 79.289, 19.7\}, \{1.5, 220.71, 34.19\}, \{1.5, 150, 26.24\} \} \quad (3.4)$$

$$\text{data2} = \{ \{1, 100, 394.07\}, \{2, 100, 447.27\}, \{1, 200, 619.96\}, \{2, 200, 657.41\}, \{0.79289, 150, 661.25\}, \{2.2071, 150, 559.23\}, \{1.5, 79.289, 455.45\}, \{1.5, 220.71, 656.19\}, \{1.5, 150, 486.14\} \} \quad (3.5)$$

По результатам вычислений, построены поверхности зависимостей ведущих факторов от веса металлических конструкций и трудоемкости усиливающих элементов (рисунки 3.8, 3.9) и найдены оптимальные точки (рисунки 3.10, 3.11):

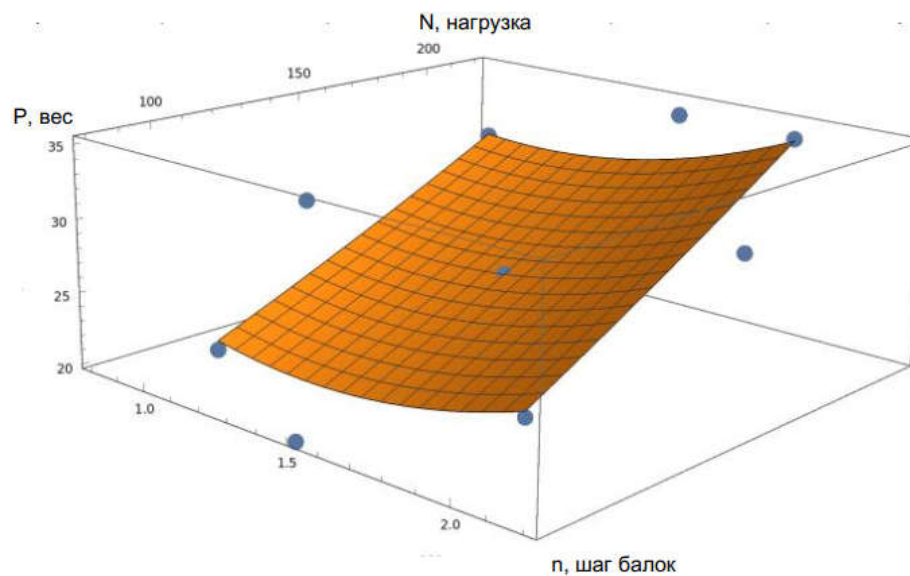


Рисунок 3.8 – Поверхность интерпретации влияния ведущих факторов на общий вес металлических конструкций

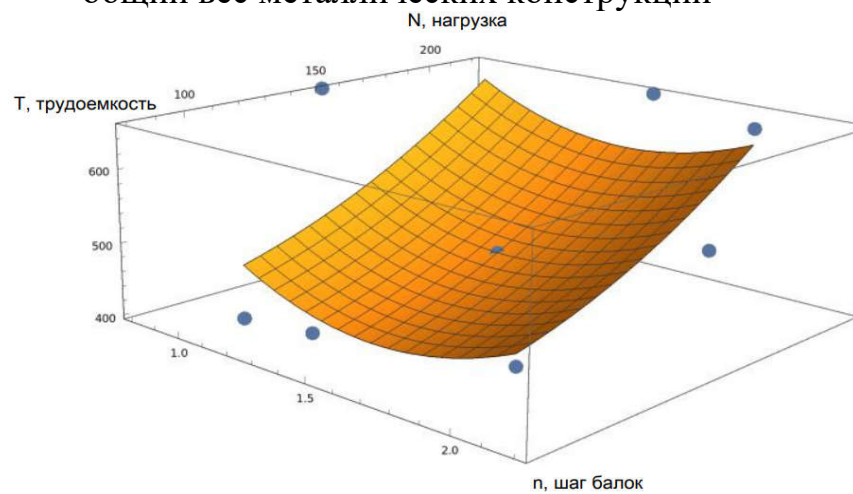


Рисунок 3.9 – Поверхность интерпретации влияния ведущих факторов на общую трудоемкость

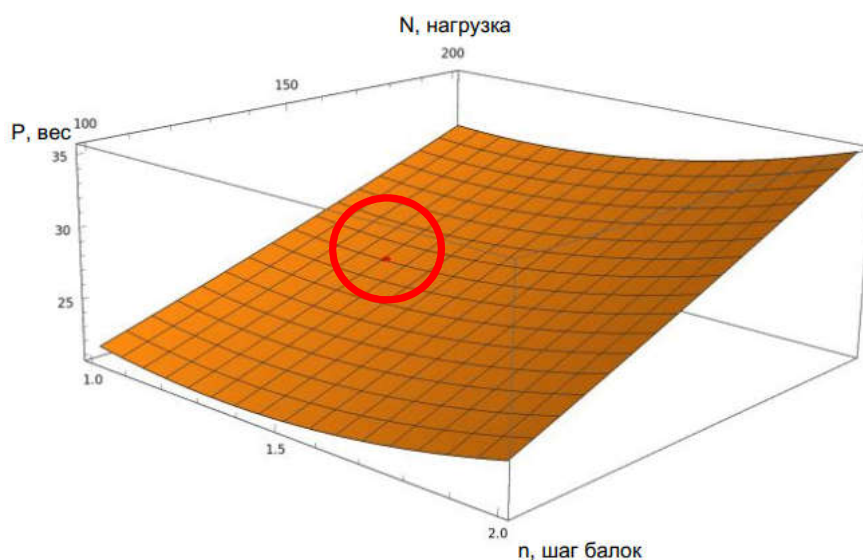


Рисунок 3.10 – Оптимальная точка веса металлических конструкций в зависимости от шага расположения балок и прикладываемой нагрузки

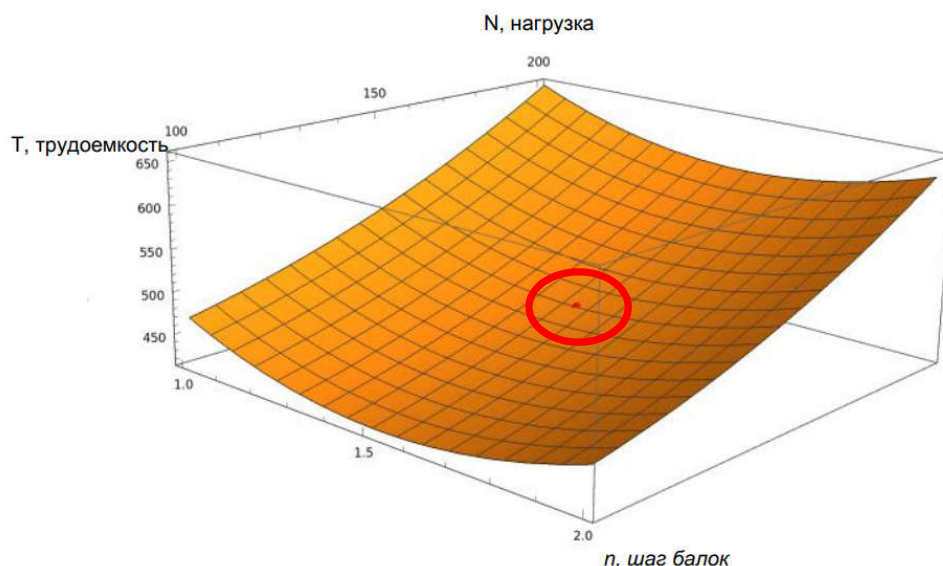


Рисунок 3.11 – Оптимальная точка трудоемкости в зависимости от шага расположения балок и прикладываемой нагрузки

Оптимальная точка равная шагу расположения балок при нагрузке $N=150$ кН, равна $n=1.26187$ м, при общем весе металлических конструкций $P=25,8786$ кН/м.

Оптимальная точка равная шагу расположения балок при нагрузке $N=150$ кН, равна $n=1,5344$ м, при общей трудоемкости $T= 485,9$ чел.- ч.

3.1.3. Определение трудоемкости и продолжительности работ

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

Доставка на место проведения работ оборудования, материалов, осуществляется в основном автомобильным видом транспорта. Строительные конструкции в основном являются элементами открытого хранения и доставляются на приобъектный склад или в зону монтажа специализированным автотранспортом в небольшом количестве. Складирование элементов монтажа должно вестись с учетом минимизации переукладывания элементов. В условиях экономических санкций, с целью бесперебойного обеспечения строительного процесса строительными материалами, иногда целесообразно заблаговременное приобретение строительных материалов в большом объеме и временное складирование материалов на территории Заказчика или на другом складе в пределах населенного пункта, на котором расположен объект. Логистика строительных материалов в таком случае осуществляется в соответствие с уточненным графиком производства работ либо по заявке начальника участка в небольших объемах.

На основе федеральных единичных расценок на строительные и специальные строительные работы определены затраты труда и продолжительность работ по предполагаемому варианту и с учетом оптимизации организационно-технологических решений при проведении реконструкции на объекте внедрения по ул. Пушкина, 10 в г. Казани (таблицы 3.7, 3.8). По полученным данным выполняется календарный график производства работ, а также строительный генеральный план.

Оптимизация организационно-технологических решений интегрируется в состав ПОС, таким образом совершенствуется ПОС и повышается эффективность выполнения работ при устройстве подземных сооружений под существующими зданиями.

Таблица 3.7 – Затраты труда и продолжительность работ при устройстве подземного пространства под существующим зданием (на объекте внедрения) по проектному варианту

Наименование работ	Объем работ		Обоснование	Затраты руда единичные		Общие затраты труда (по макс.), чел.-часы	Требуемые машины Наименование	Продолжительность работ, дни	Число смен	Численность рабочих в смену (раб. либо маш.)	Состав бригады (за все смены) Профессии
	Ед. изм.	Кол-во		Рабочих	Машиниста						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Устройство рандбалки	т.	2,00	ФЕР 46-01-004-01	174,43	-	348,86	Автокран Галичанин КС-65721	21,80	1,00	2,00	Каменщик 4 разр. -1 2 разр- 1
				-	-						Машинист 5 разр. - 1
3. Устройство буронабивных свай	м ³	91,28	ФЕР 05-01-029-03	3,23	-	294,83	Буровое оборудование Soiltek S60, Автобетоносмеситель ABS-5К, Автокран КС-65721	9,21	2,00	2,00	Бетонщики: 4 разр. - 1 3 разр – 1
				-	0,18						Машинист бетонной установки - 1
4. Устройство ростверка мет.	т.	1,46	ФЕР 46-01-004-01 (прим)	174,43	-	254,67	Автокран Галичанин КС-65721	10,61	1,00	3,00	Монтажники: 5 разр. - 3
				-	1,4						Машинист крана 6 разр. - 1

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5а. Пробивка проемов в кирпичных стенах для балок	100 отв.	3,78	ФЕР 46-03-002-15 (прим)	64,00	-	241,92	Установка алмазного бурения	7,56	1,00	4,00	Каменщик 3 разр. -1
				-	-						
5б. Установка поперечных балок	т.	10,70	ФЕР 06-01-015-06	46,33	-	495,73	Автокран Галичанин КС-65721	10,33	1,00	6,00	Монтажники конструкций 4 разр-1, 3 разр-2
				-	0,51						Машинист крана 6 разр. -1.
6. Разработка грунта под подошвой фундамента	100м ³	2,06	ФЕР 01-02-063-03	371,00	-	764,41	-	23,89	2,00	2,00	Землекоп 3 р. - 1, 1 р. - 1;
				-	-						
7. Устройство нового фундамента	100м ³	1,09	ФЕР 06-01-001-22	446,04	-	486,54	Автобетоно смеситель ABS-5К	30,41	1,00	2,00	Плотник 4 р. - 2, Арматурщики 4 р. - 2, Бетонщик - 2
				-	-						Машинист бетонной установки - 1

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8а. Демонтаж временных конструкций (металл)	т.	14,09	ФЕР 46-01-014-01 (прим)	19,36		272,78	Автокран Галичанин КС-65721 и др.	8,52	1,00	4,00	Каменщик 4 р. – 1, 2 р. – 1 (2 бригады)
					-						Машинист крана 6 разр. -1.
8б. Срубка голов одиночных свай	м ³	7,77	ФЕР 46-04-003-03	32,26	-	250,71	Бетонщик с отбойным молотком	7,83	1,00	4,00	Бетонщики: 3 разр. - 1
				-	-						
9а. Устройство подземного этажа (разработка грунта)	100м ³	3,94	ФЕР 01-02-063-03	371,00	-	1 460,16	Бадья, кран	15,21	2,00	6,00	Землекоп 3 р. – 1, 1 р. – 1 (3 бригады);
				-	-						Машинист крана 6 разр. - 1
9б. Устройство подземного этажа (монолитные перекрытия)	100м ³	0,45	ФЕР 06-01-001-22, ФЕР 06-01-041-01	698,56	-	314,21	Автобетоно смеситель ABS-5К	6,55	1,00	6,00	Плотник 4 р. – 1, 2 р. – 1; Арматурщики 4 р. – 1, 2 р. – 1, Бетонщик 2 р. - 2
				-	-						Машинист бетонной установки - 1
ИТОГО:	Затраты труда при устройстве подземного пространства под существующим зданием (с оптимизацией), чел/час			5187,83		5187,83	Продолжит ельность общая, дн.	151,93			

Таблица 3.8 – Затраты труда и продолжительность работ при устройстве подземного пространства под существующим зданием (на объекте внедрения) с учетом предложенной оптимизации

Наименование работ	Объем работ		Обоснование	Затраты руда единичные		Общие затраты труда (по макс.), чел.-часы	Требуемые машины	Продолжительность работ, дни	Число смен	Численность рабочих в смену (раб. либо маш.)	Состав бригады (за все смены)
	Ед. изм.	Кол-во		Рабочих	Машиниста						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Устройство рандбалки	т.	1,45	ФЕР 46-01-004-01	174,43	-	252,92	Автокран Галичанин КС-65721	15,81	1,00	2,00	Каменщик 4 разр. -1 2 разр- 1
				-	-						Машинист 5 разр. - 1
3. Устройство буронабивных свай	м ³	86,04	ФЕР 05-01-029-03	3,23	-	277,91	Буровое оборудование Soiltek S60, Автобетоно смеситель ABS-5К, Автокран КС-65721	8,68	2,00	2,00	Бетонщики: 4 разр. - 1, 3 разр – 1,
				-	0,18						Машинист бетонной установки - 1
4. Устройство ростверка мет.	т.	1,12	ФЕР 46-01-004-01 (прим)	174,43	-	195,36	Автокран Галичанин КС-65721	8,14	1,00	3,00	Монтажники конструкций: 5 разр. - 1, 4 разр - 1, 3 разр-1
				-	1,4						Машинист 6 разр. - 1

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5а. Пробивка проемов в кирпичных стенах для балок	100 отв.	3,78	ФЕР 46-03-002-12 (прим)	47,50	-	179,55	Установка алмазного бурения	5,61	1,00	4,00	Каменщик 3 разр. -1
				-	-						
5б. Установка поперечных балок	т.	3,92	ФЕР 06-01-015-06	46,33	-	181,61	Автокран Галичанин КС-65721	3,78	1,00	6,00	Монтажники конструкций 4 разр-1, 3 разр-2
				-	0,51						Машинист крана 6 разр. -1.
6. Разработка грунта под подошвой фундамента	1000м ³	0,21	ФЕР 01-01-014-14 (прим)	100,00	-	20,60	Мини экскаватор Wacker Neuson 803	2,58	1,00	1,00	Землекоп 3 р. – 1, 1 р. – 1 (3 бригады);
				-	-						Машинист мини-экскаватора - 1
7. Устройство нового фундамента	100м ³	1,09	ФЕР 06-01-001-22	446,04	-	486,54	Автобетоно смеситель ABS-5К	30,41	1,00	2,00	Бетонщик 2 р. - 2
				-	-						Машинист бетонной установки - 1
8а. Демонтаж временных конструкций (металл)	т.	6,49	ФЕР 46-01-014-01 (прим)	19,36	-	125,65	Автокран Галичанин КС-65721 и др.	3,93	1,00	4,00	Каменщик 4 р. – 1, 2 р. – 1 (2 бригады)
				-	-						Машинист крана 6 разр. - 1.

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8б. Срубка головок одиночных свай	м ³	7,77	ФЕР 46-09-005-01 (прим)	10,00	-	77,72	Мини экскаватор Wacker Neuson 803	9,71	1,00	1,00	Бетонщики: 3 разр. - 1
				-	-						Машинист мини-экскаватора - 1
9а. Устройство подземного этажа (разработка грунта)	1000 м ³	0,39	ФЕР 01-01-014-14 (прим)	100,00	-	39,36	Мини экскаватор Wacker Neuson 803, думпер гусеничный Wacker Neuson DT08	4,92	1,00	1,00	Землекоп 3 р. - 1, 1 р. - 1 (3 бригады);
				-	-						Машинист мини-экскаватора - 1
9б. Устройство подземного этажа (монолитные перекрытия)	100м ³	0,45	ФЕР 06-01-001-22, ФЕР 06-01-041-01	698,56	-	314,21	Автобетоно смеситель ABS-5К	6,55	1,00	6,00	Бетонщик 2 р. - 2
				-	-						Машинист бетонной установки - 1
Затраты труда при устройстве подземного пространства под существующим зданием (с оптимизацией), чел/час							2151,43	Продолжительность общая, дн.	100,12		

Разработанная методика представлена в виде алгоритма формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями (рисунок 3.12).

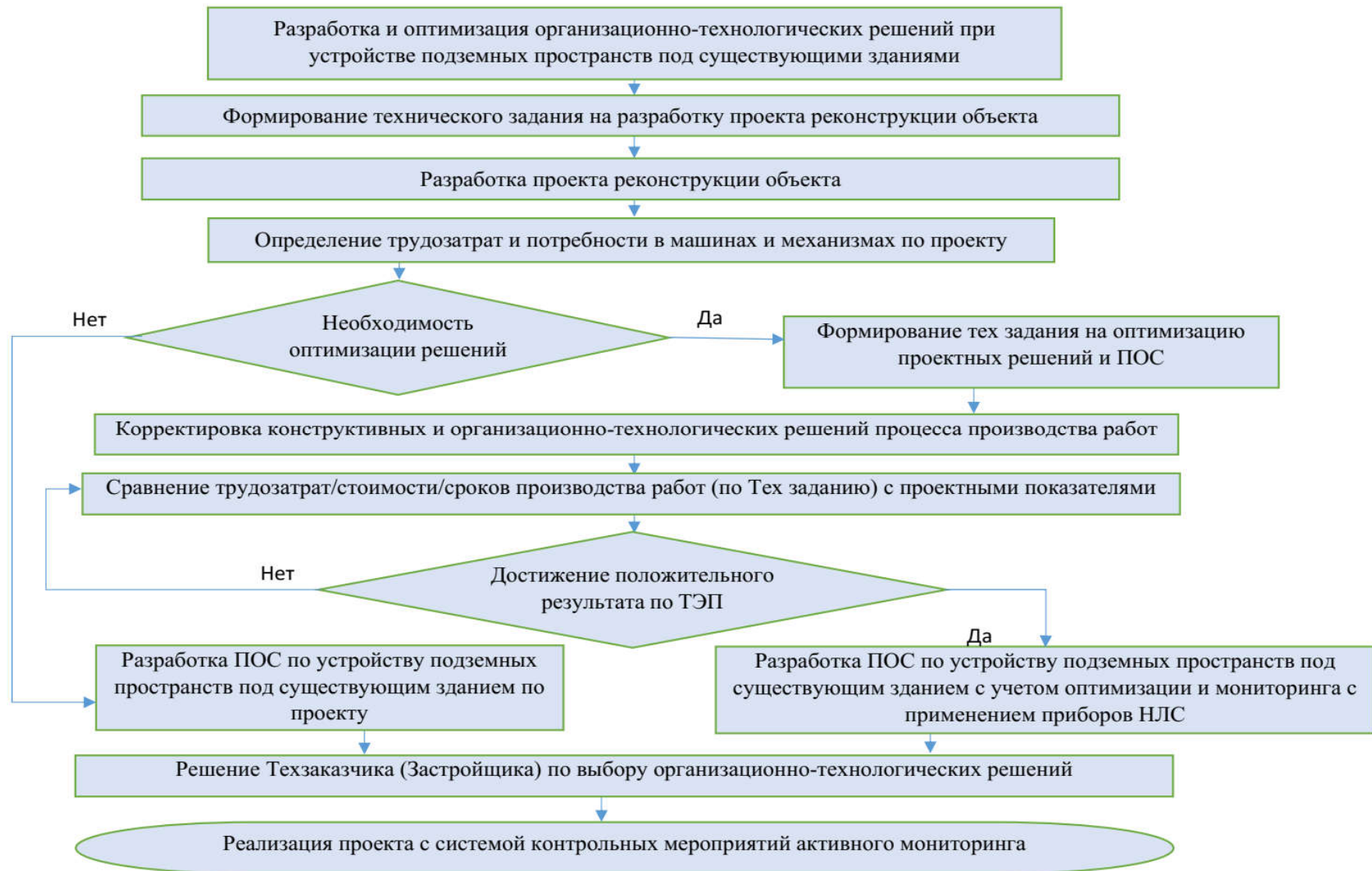


Рисунок 3.12 – Методика формирования элементов ПОС при устройстве подземных объектов под существующими зданиями с учетом оптимизации организационно-технологических решений

3.2. Контроль качества и оптимизация организационно-технологических решений на стадии мониторинга (реконструкции)

По результатам ранжирования критериев для мероприятий на стадии мониторинга установлено, что наиболее значимым мероприятием является – «корректировка технологических операций с учетом результатов мониторинга» (33,3). В связи с этим дальнейшее исследование направлено на изучение применения современных приборов активного мониторинга.

3.2.1. Анализ нормативной базы и применяемые приборы для геодезического мониторинга и контроль качества производства работ

Контроль качества строительно-монтажных работ должен осуществляться службами подрядной строительной организации. Производственный контроль, проводимый в соответствии с нормативными документами, включает:

- входной контроль качества рабочей документации;
- входной контроль качества материалов;
- входной контроль качества конструкций;
- операционный контроль строительных процессов или операций;
- приемочный контроль строительно-монтажных работ;
- разработку мероприятий по устранению нарушений и дефектов.

Инструментальный контроль, осуществляемый за точностью выполнения строительно-монтажных работ в соответствии с требованиями [140, 138, 34].

Оценку влияния предстоящих работ по реконструкции необходимо выполнять на этапе проектирования в соответствие с требованиями раздела 9 [138].

После начала строительства либо реконструкции оценка влияния проводимых работ выполняется в составе геотехнического мониторинга, либо научно-технического сопровождения объекта реконструкции и объектов окружающей застройки. В процессе строительства и реконструкции зданий и сооружений, при выполнении мероприятий, затрагивающих несущие конструкции, с возможными силовыми воздействиями на конструктивные элементы здания, влияющими на

пространственную жесткость, а также демонтажем, углублением и усилением фундаментов, стен и перекрытий возникает необходимость контроля горизонтальных и вертикальных деформаций обследуемого объекта. Главной целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов нового строительства или реконструкции, включая здания и сооружения окружающей застройки, за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно-работоспособное или аварийное состояние. При данном мониторинге применяют различные методы: визуально-инструментальный, геодезический, параметрический, гидрогеологический и др.

При анализе нормативной документации [141, 124] установлено, что для технического обеспечения геодезического метода применяют электронные, лазерные тахеометры, сканеры, теодолиты, а также нивелиры. Иногда пользуются навигационными спутниковыми системами. Однако в табл. 6.1 [141], в основных геодезических методах и средствах измерений, где представлены приборы от нивелиров до автоматических АПС (аппаратно-программные системы), отсутствуют указания по использованию трехмерных наземных лазерных сканеров и трекеров.

Основными параметрами контроля являются осадки S (неравномерные осадки (формула (1)) и горизонтальные перемещения, а также косвенные признаки деформации, такие как крены отдельных элементов здания и их взаимное перемещение (3.6).

$$S \leq S_{\max} \quad (3.6)$$

С помощью лазерного сканирования обычно решаются две основанные задачи – контроль качества или контроль геометрии различных объектов, и вторая задача – реверс-инжиниринг или обратная задача, когда на основании существующего объекта создается его трехмерная цифровая модель.

При производстве работ по реконструкции здания в качестве основных контролируемых параметров принимают **вертикальные осадки и горизонтальные перемещения**, также косвенным признаком наличия деформаций здания являются крены вертикальных конструкций.

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. При проведении настоящих исследований использовались три основных прибора: электронный тахеометр [195], лазерный сканер [182], лазерный трекер [152].

Составлена программа мониторинга (Приложение А), 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 СМР. Сравнительные технические характеристики используемых в исследовании типов сканеров представлены в таблице 3.9.

Для получения максимально точных результатов сканирования и мониторинга, на объекте либо в зоне сканирования рекомендуется предварительная установка неподвижных марок (рисунок 3.13).

Для повышения точности сканирования и удобства работы с моделью дополнительно рекомендуется использовать марки. Под марками обычно понимается пленочный отражатель, представляющий собой табличку квадратной формы, на которой размечена мишень из двух концентрических окружностей, совмещенных с перекрестием (рисунок 3.13 а-в).

Таблица 3.9 – Технические характеристики используемых приборов и 3D сканеров

Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX	Трекер API RADIAN R20	3D сканер FARO Focus S 150
Внешний вид			
Диапазон измеряемых расстояний, м.	до 400	от 0 до 30	от 0,6 до 150
Диапазон измеряемых углов: - вертикальных - горизонтальных	- -	от +79° до -60° ±320°	300° 360°
Пределы допускаемой погрешности измерений расстояний интерферометром, мкм/м	$\pm (3+2 \times 10^6 \times D)$	±0,5	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м
Масса, кг, не более	7,7 кг	9 кг.	4,2 кг.
Диапазон рабочих температур, °С	от -20° до +50°	от -10 до +45	от -20 до +55
Скорость сканирования	-	1000 точек/сек в динамическом режиме	от 122,000 до 976,000 точек/в сек.
Источник питания	Встроенный	Внешний, 220В	Встроенный
Стоимость	от 0,7 млн. руб.	от 11 млн. руб.	от 9 млн. руб.

В данном исследовании использовались марки двух типов: а) осадочные деформационные марки Г-образной формы, закрепленные на строительной конструкции, стене, полу, перекрытии и других конструкциях, имеющие на конце сферический оголовок [124] (рисунок 3.13 г); и б) марки по предложенной конструкции, имеющие на конце специальное приспособление для крепления отражателя лазерного трекера, на которую разработан патент на полезную модель [114] (рисунок 3.13 д). Также при работе с приборами НЛС для удобства обработки информации применяют специальные сферы со встроенным внутри отражателем (рисунок 3.13 е).



Рисунок 3.13 – Основные виды марок при геодезических наблюдениях. а-в – плоские контрастные марки; г – Г-образная по РД 34.21.322-94 [124], д – авторская марка по патенту [114]; е – специальные сферы со встроенным отражателем внутри; ж – отражатели для лазерного трекера

Наиболее распространенный способ мониторинга реконструируемых объектов – установка на объекте контрольных марок и маяков и наблюдение за ними с использованием высокоточных геодезических приборов, обычно тахеометров, а также визуальный контроль за раскрытием трещин. Анализ результатов выполняется в основном по координатам относительного перемещения заранее установленных геодезических марок и снятых по ним

нулевых показаний. Алгоритм работы с тахеометром и используемое программное обеспечение представлены в виде блок-схемы на рисунке 3.14.

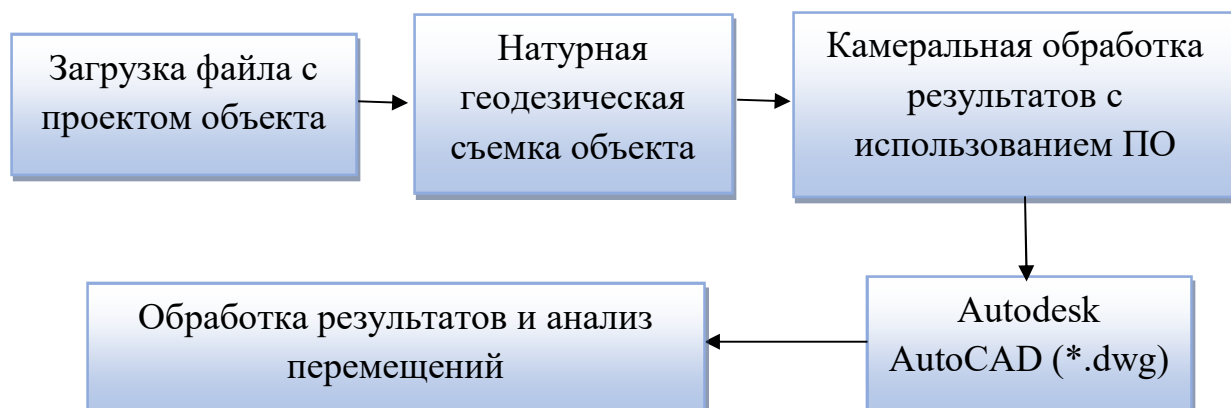


Рисунок 3.14 – Алгоритм работы с тахеометром

С целью определения деформаций реконструируемого здания, кроме широко известного метода с применением тахеометра, предлагается использовать следующие виды приборов НЛС: 3d сканер FARO Focus S 150 [182] и трекер API RADIANT R20 [152, 28]. Алгоритм обработки результатов НЛС и используемое программное обеспечение представлены на блок-схеме (рисунок 3.15).

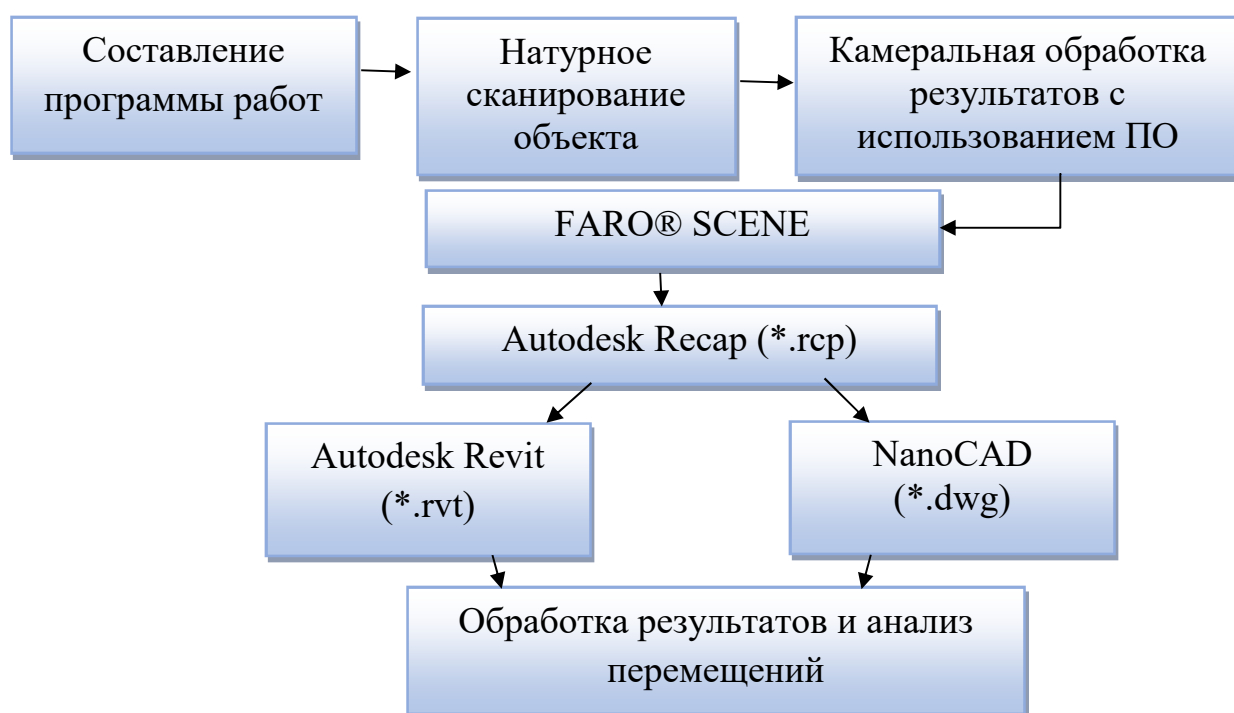


Рисунок 3.15 – Алгоритм работы с 3d-сканером

Данные НЛС могут использоваться для получения трехмерного облака точек, отражающих реальные размеры объекта, для создания виртуальных туров [76] и др. По результатам исследований авторов [132, 207, 133], точность современных приборов НЛС достаточна для применения их в целях мониторинга. Алгоритм обработки результатов трекера API RADIAN R20 и используемое программное обеспечение представлены на блок-схеме (рисунок 3.16).

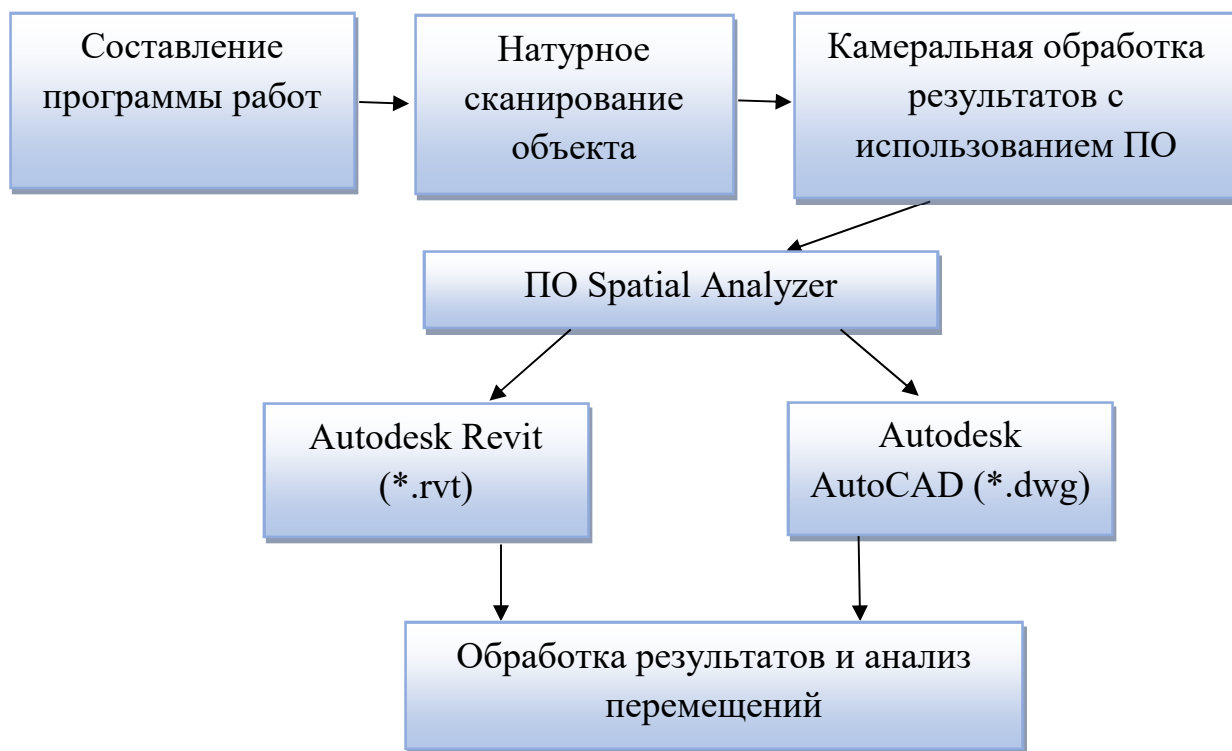


Рисунок 3.16 – Алгоритм работы с лазерным трекером

3.2.2. Мониторинг на объектах реконструкции при устройстве подземных этажей по предложенной технологии, на примере объекта «Дома купца Лисицына» по ул. Пушкина в г. Казани»

Необходимость проведения наблюдений (мониторинга) за деформациями здания «Дом С.Д. Лисицына – В.Д. Емелина, во флигеле которого 1 (13) февраля 1873 г. родился певец Ф.И. Шаляпин», расположенный по адресу: Республика Татарстан, г. Казань, ул. Пушкина, д. 10 вызвана возможными силовыми воздействиями реставрационными работами на конструктивные элементы здания, влияющие на пространственную жесткость, а также демонтажем, углублением и усилением фундаментов, стен и перекрытий.

По результатам реконструкции выполнено приспособление здания под офисные помещения и ресторан.

Дом купца Лисицына располагается в г. Казани по улице Пушкина, д. 10. Здание было построено в 1860 г. вдоль улицы Пушкина (рисунки 3.17, 3.18). Здание изначально было двухэтажным, в 7 окон по главному фасаду, построенное в стиле «эклектика». Позднее его достроили до 10 окон в длину и пристроили перпендикулярно к нему со двора трехэтажный каменный флигель. В первой половине 20 века (после 1936 г.) основной объем здания надстроили этажом и достроили до 12 окон вдоль улицы Пушкина. При данной перестройке в новой части здания (два окна слева) в первом этаже улицы Пушкина был устроен вход в здание, а вход, который ранее располагался вдоль улицы (в правой части) был заложен, и на его месте было устроено окно. Последняя перестройка здания была выполнена в стиле «модерн». Именно в таком виде этот памятник истории и культуры дошел до наших дней (рисунки 3.19, 3.20), однако в настоящее время флигель разрушен, а само здание находится в аварийном состоянии.

При реконструкции здания затрагиваются несущие конструкции, включая фундаменты и стены, выполняется замена перекрытий, зачастую являющихся элементами общей системы обеспечения жесткости и неизменяемости здания. Затрагивание хотя бы одного из этих элементов влияет на состояние смежных элементов и, как следствие, на всю систему (здание) в целом.



Рисунок 3.17 – Фасад здания в конце XIX века



Рисунок 3.18 – Фасад здания во второй половине XX века



Рисунок 3.19 – Состояние стен на начальном периоде реконструкции



Рисунок 3.20 – Фасад здания по ул. Пушкина после реконструкции

Проанализировав взаимную работу элементов здания можно сделать вывод, что, основным индикатором влияния производства СМР являются стеновые конструкции. В связи с этим наблюдения выполнялись по специальным маркам и маякам, установленных в характерных местах на стенах здания. В стеновых конструкциях выполнялись наблюдения по следующим параметрам:

а) развитие трещинообразования; б) развитие неравномерных осадок или сохранение горизонтальности линии наблюдения; в) отклонения от вертикали.

В начале наблюдений, до начала производства строительно-монтажных работ, установлены специальные марки и маяки и зафиксированы их нулевые положения. Для маяков заведен журнал наблюдений. При мониторинге объекта реконструкции измерения осадок изначально велись с помощью электронного тахеометра Sokkia SET 550RX.

После проведения обследования технического состояния здания и сравнения с предыдущими результатами обследования предусматривалось проведение следующих работ: установка устройств наблюдения: разметка и установка точек для снятия контрольных замеров; установка гипсовых маяков на трещины; установка измерительных меток на наружной стене здания со стороны двора и

соседних зданиях; разметка точек на стенах здания для снятия изменений контрольных размеров.

Программа наблюдения включала в себя:

- 1 снятие отчетов со средств наблюдения;
- 2 статистический анализ полученных данных;

3 разработка технических решений предупреждения и устранения возникших отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля за выполнением принятых решений.

Для измерения возможных просадок стен при вывешивании на временные фундаменты и установке на новые, непосредственно на здании были установлены 9 измерительных точек. В качестве базовых точек на двух соседних зданиях были установлены реперные точки 1 и 6. Данные замеры снимались с помощью электронного тахеометра и заносились в журнал наблюдений [27].

Для наблюдения за возможными отклонениями здания в процессе реконструкции (отклонение стен от горизонтали) на каждом ярусе имеются 17 точек для снятия замеров: 5 точек на стене по оси А, 6 точек для стены по оси В и по 3 точки для стен по осям 1 и 6. Общий вид данных точек и места их расстановки и показаны рисунки 3.21, 3.22.



Рисунок 3.21 – Точка для снятия замеров отклонений на внутренней части стены по оси б/Б÷В

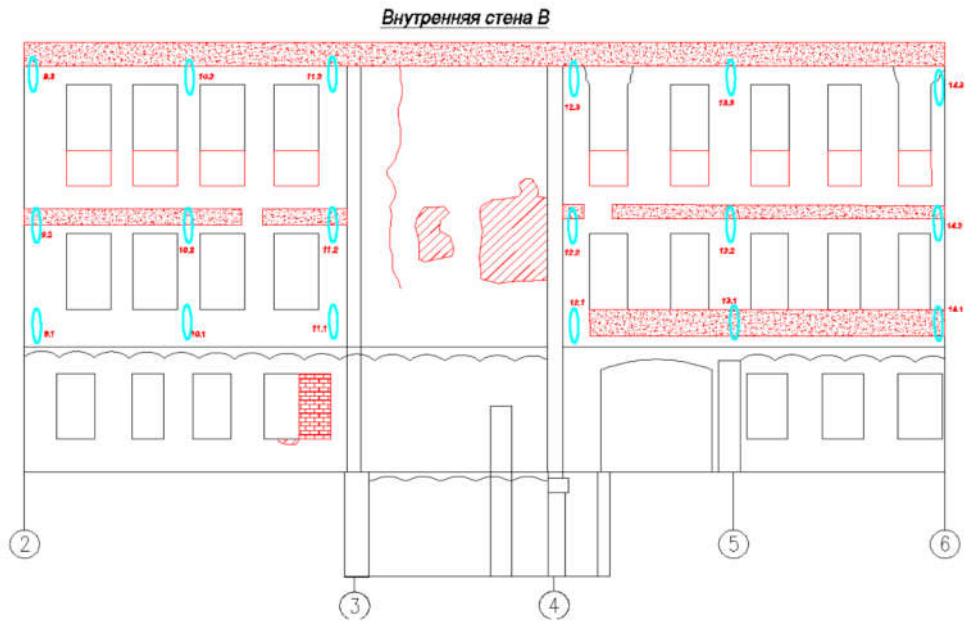


Рисунок 3.22 – Расположение точек для снятия замеров на внутренней части

Для выявления возможных отклонений, перемещений здания в угловых зонах в процессе вывешивания здания на временные фундаменты были установлены угловые линейные маяки в углах здания на каждом этаже.

Для наблюдения за динамикой раскрытия (закрытия) трещин в процессе реконструкции здания были установлены гипсовые маяки. Наблюдения за маяками начаты с 11 сентября 2015 года. Схемы их установки гипсовых маяков и их общий вид приведены на рисунки 3.23, 3.24.

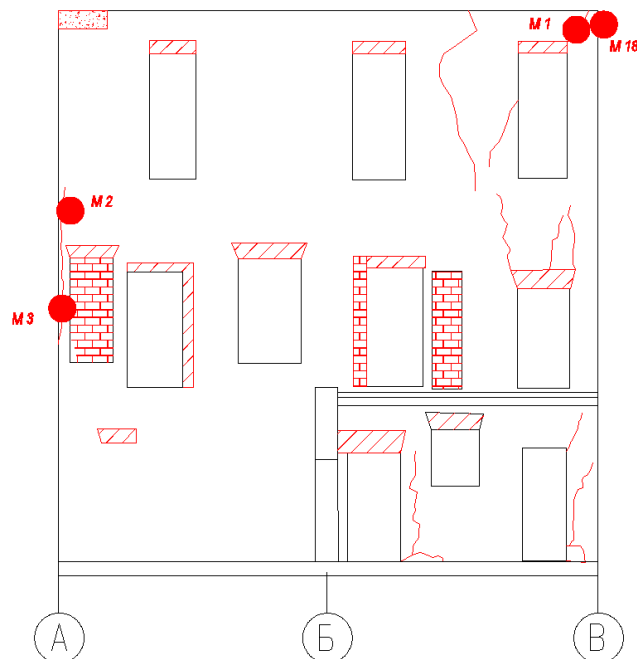


Рисунок 3.23 – Гипсовые маяки, установленные с внутренней части стены по оси 2



Рисунок 3.24 – Гипсовый маяк М4 специальной формы

Данные измерения проводились в два этапа: измерения осадок временных фундаментов и измерения осадок стен после устройства новых фундаментов и демонтажа временных конструкций. Выполнялись замеры отметок характерных балок временных фундаментов, а также снятие показаний по вертикальным перемещениям линейных маяков.

На период вывешивания стен здания в осях 2/Б–В, 2–4/В, 5/Б–В и 5–6/В на временные фундаменты (в процессе устройства подвальных помещений), для контроля возможных просадок, прогибов балок и буронабивных свай, на которые опираются стены, производились замеры абсолютных отметок относительно реперной точки. Данные замеры снимались с электронного тахеометра и заносились в журнал. Далее вычислялась разность отметок концов балок относительно друг друга.

Для измерения возможных просадок стен при вывешивании на временные фундаменты и установке на новые, на самом здании были установлены 4 измерительные точки. В качестве базовых точек на двух соседних зданиях были установлены реперные точки 1 и 6. Данные замеры снимались с помощью тахеометра и заносились в журнал наблюдений. Данные измерения проводились в два этапа: измерения осадок временных фундаментов и измерения осадок стен после устройства новых фундаментов и демонтажа временных конструкций.

Результаты замеров осадок показаны в таблице 3.10 и на рисунке 3.25.

Таблица 3.10 – Результаты замеров осадок балок временного фундамента

№ балки	Стена по оси В													
	30 окт.		5 нояб.		13 нояб.		20 нояб.		27 нояб.		4 дек.		18 дек.	
	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ	Снару жи	Δ
	Внутр и	мм	Внутр и	мм	Внутр и	мм	Внутр и	мм	Внутр и	мм	Внутр и	мм	Внутр и	мм
3	11,60	-3,00	5.85	-3.00	6.90	-2.50	3.10	-2.00	11.40	-1.00	5.85	-3.00	3.85	-2.00
	11,30		5.55		6.95		2.90		11.30		5.55		3.65	
5	12,55	-1,50	13.20	-2.00	5.30	-2.00	5.30	-1.50	12.55	-1.50	10.20	-1.00	5.20	-1.50
	12,40		13.00		5.10		5.15		12.40		10.10		5.05	
6	13,95	1,50	13.55	2.50	10.60	2.50	4.10	1.50	14.00	1.00	13.55	2.50	4.60	2.00
	14,10		13.80		10.85		4.25		14.10		13.80		4.80	

*Прим.: « - » крен в сторону улицы, « + » крен в сторону помещения

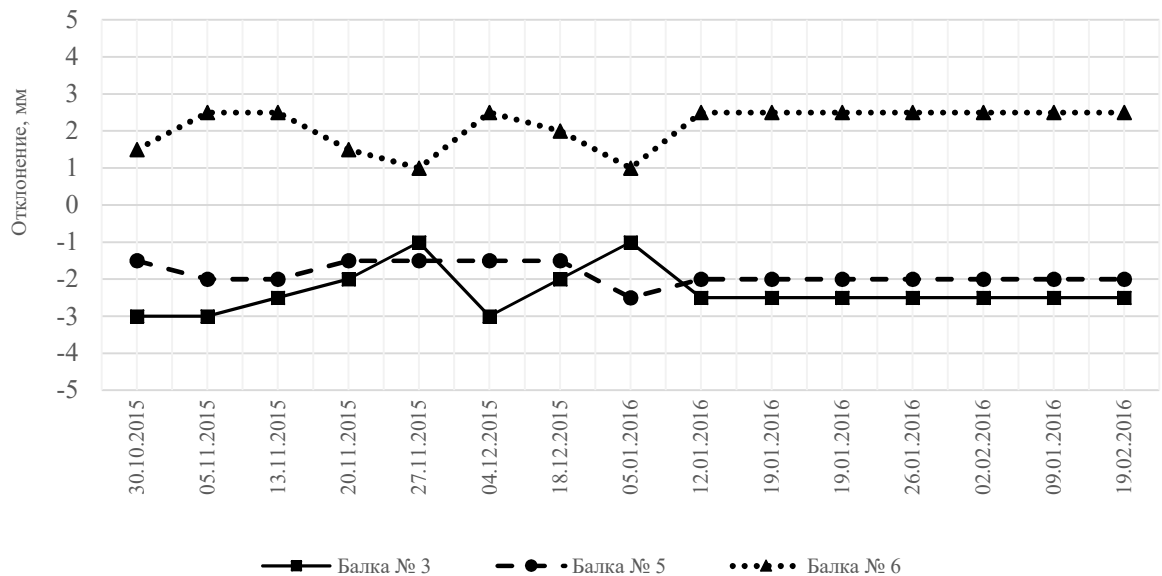


Рисунок 3.25 – Разность отметок металлических балок под стеной по оси 2-4/В, на период с 30.10 по 19.02

Измерения показали отсутствие прогибов металлических балок под вешиваемыми стенами. Имеющиеся отклонения можно считать незначительными и в рамках погрешности измерений. Отсутствие критических деформаций элементов несущих строительных конструкций при проведении противоаварийных мероприятий свидетельствует о корректном выборе сечения, шага металлических балок и технологии проведения работ в подвальной части здания. Измерения для фундаментов проводились согласно рекомендациям по обследованию и оценке технического состояния зданий [125, 140] по следующим

параметрам: измерение вертикальных перемещений (прогибов) конструкций; наблюдения за трещинами в стеновых конструкциях.

Данные измерения проводились для оценки возможных осадок стен, под которыми устраивались новые фундаменты, на период подготовительных работ и вывешивания стен на временные опоры (фундаменты). Проводились замеры отклонений точек № 2-5 от реперных (рисунок 3.26). Результаты замеров показаны на рисунке 3.27.

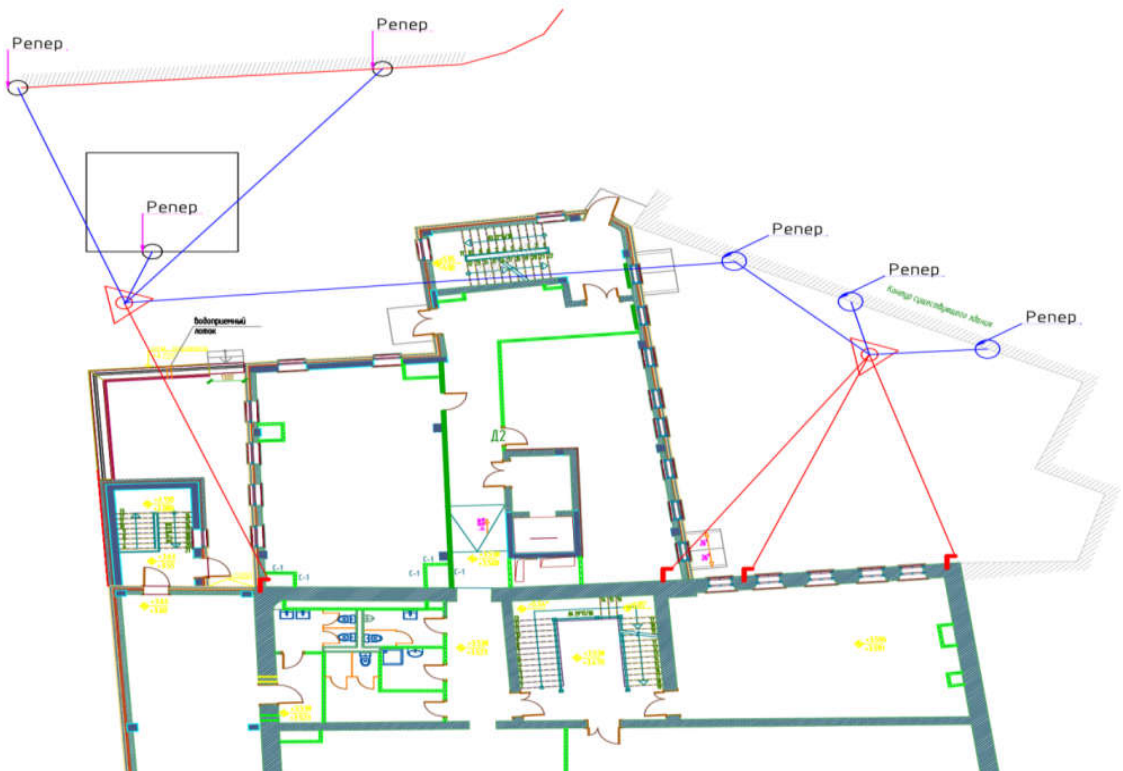


Рисунок 3.26 – Схема расположения опорных марок и реперов

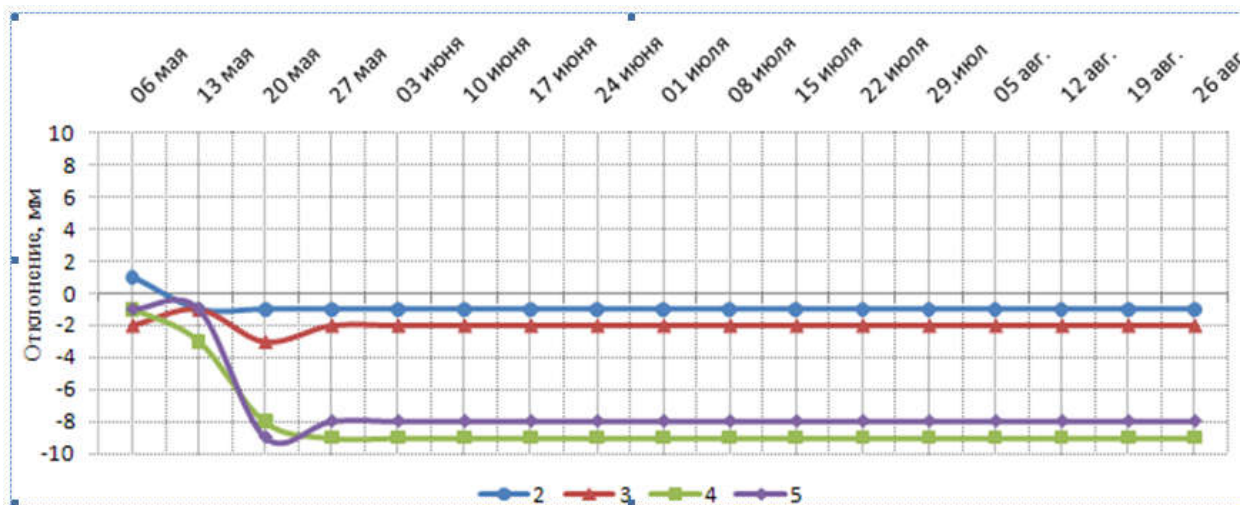


Рисунок 3.27 – Разность отметок шкаловых марок относительно реперной точки

Как видно из представленных данных, на период подготовки стен под вивешивание на временные фундаменты максимальное отклонение равно 5 мм, а среднее отклонение составило 4 мм. В процессе установки стен на буронабивные сваи через металлические балки максимальное отклонение составило 3 мм, а среднее 2,5 мм. После устройства подвальных помещений в осях 2-4/Б-В и 5-6/Б-В и устройства новых фундаментов под стенами максимальная осадка составила 9 мм (точки 4 и 5), при этом силовых трещин не наблюдается, что может объясняться компенсацией осадки посредством перераспределения усилий в кирпичной кладке. В целом результаты измерений показали, что критических отклонений значений измеряемых точек на период проведения работ не выявлено.

Наблюдения за развитием трещинообразования

Для проведения наблюдений за раскрытием (закрытия) трещин, выявленных в процессе предварительного обследования здания, были установлены гипсовые маяки специальной формы. Все маяки были пронумерованы, скоординированы и занесены в журнал наблюдений. В процессе проведения строительных работ на объекте некоторые маяки демонтировались в связи разборкой и восстановлением конструкций, на которых они располагались; другие маяки менялись на новые, вследствие повреждений при работе со средствами механизации. В целом, за все время наблюдения за гипсовыми маяками – критических трещин обнаружено не было, что свидетельствует об отсутствии развивающихся деформаций несущей системы здания и отсутствии осадок за счет принятых мер подготовки.

3.2.3. Научно-техническое сопровождение объектов реконструкции с использованием приборов НЛС

При мониторинге объекта реконструкции «Дом купца Лисицына» в г. Казани измерения осадок изначально велись с помощью электронного тахеометра Sokkia SET 550RX [195]. Далее было предложено применить для исследований приборы НЛС: 3d лазерный сканер и лазерный трекер. На данном этапе нами была предложена новая конструкция марки, позволяющая выполнять геодезические

измерения с использованием более широкого спектра геодезических приборов (рисунок 3.28) [114].

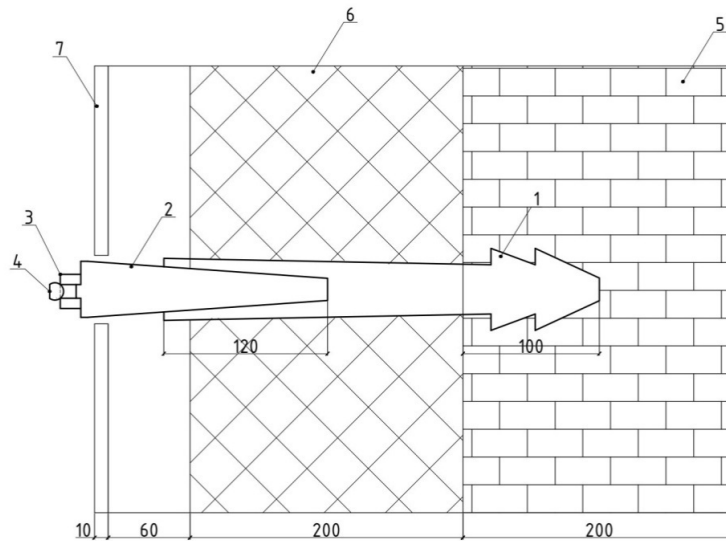


Рисунок 3.28 – Универсальная деформационная марка. Патент RU210087 U1

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 (рисунки 3.29, 3.30).

По результатам мониторинга технического состояния объекта в период проведения работ с февраля по октябрь месяц с использованием трех различных типов приборов установлено:

1. В момент демонтажа временных фундаментов произошла резкая осадка фундаментов до 9 мм, что в пределах допустимых значений. Далее осадки стабилизировались.

2. Графики осадки тахеометра и трекера в целом идентичны, но у трекера более точные.

3. График осадок с НЛС имеет определенные отличия, связанные с качеством обработки данных.

4. Наблюдения за промежуточными точками между марками показали отсутствие асинхронных деформаций.



Рисунок 3.29 – Рекомендуемые линии расположения геодезических марок на фасаде здания, по которым выполняются сечения при мониторинге с использованием приборов НЛС

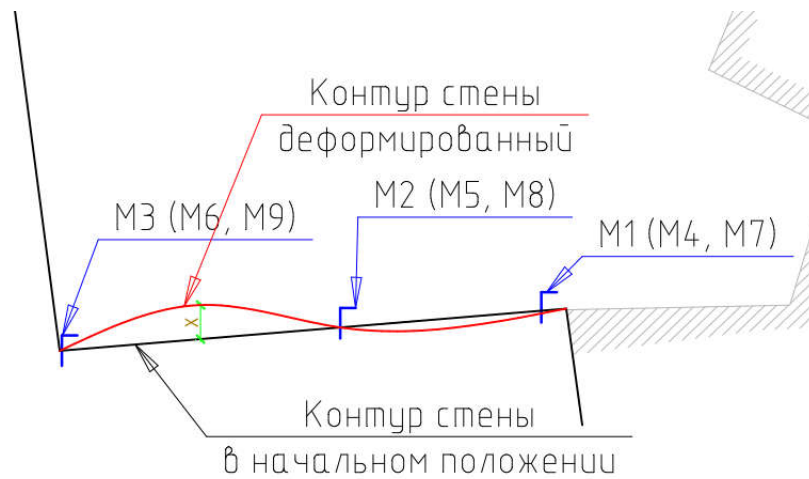


Рисунок 3.30 – Схема возможной деформации стен

На графиках на рисунке 3.31 приведены показания осадок участка стены по маркам М1, М2 и М3 в процессе производства работ по реконструкции здания по предложенной технологии.

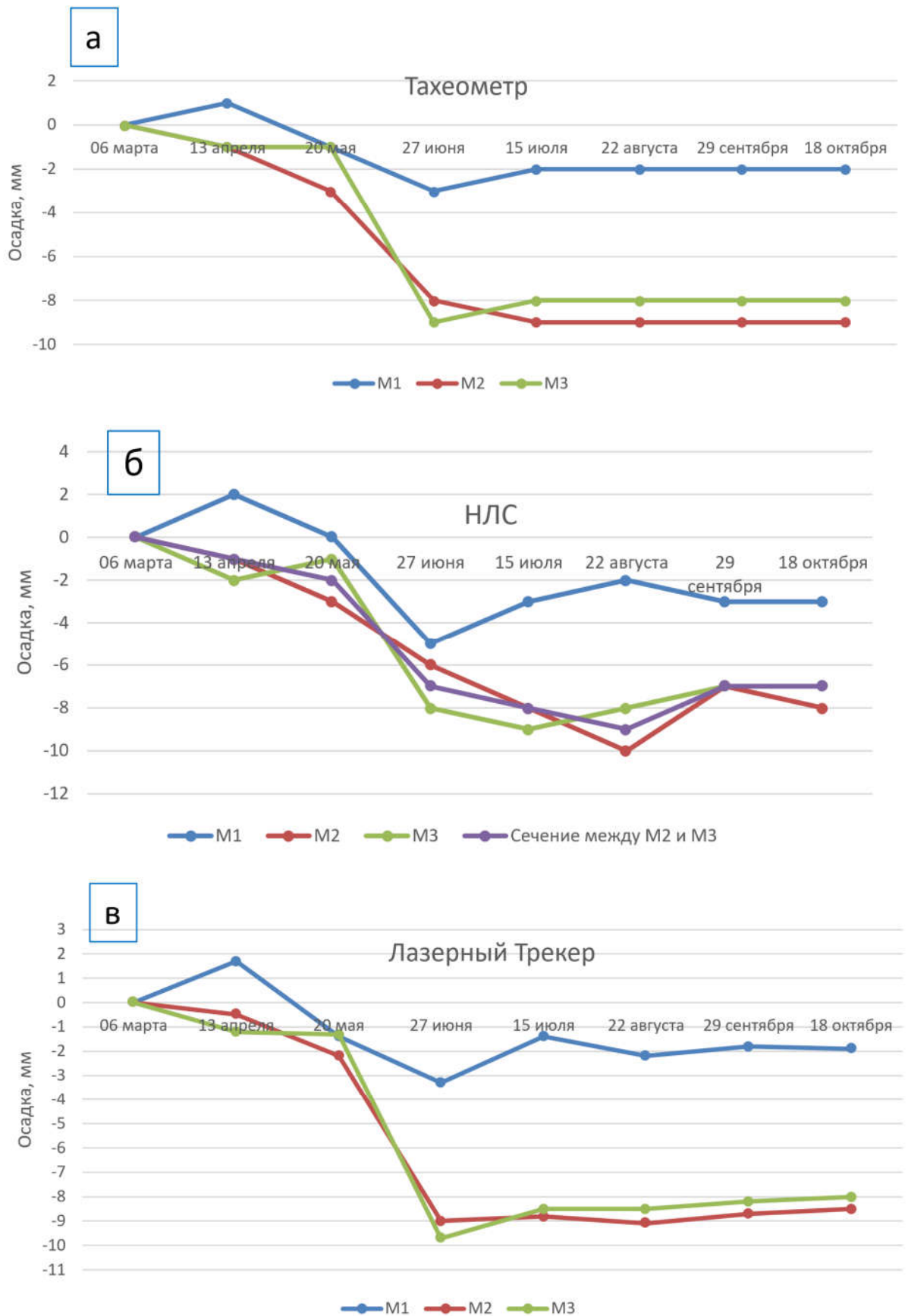


Рисунок 3.31 – Разность отметок шкаловых марок, установленных на стене В/4-6, при мониторинге с помощью приборов соответственно: а) тахеометр, б) НЛС и в) лазерный трекер (дата 27 июня – момент демонтажа временного фундамента)

В результате лазерного сканирования выполнен контроль качества или контроле геометрии объекта на разных этапах жизненного цикла объекта: в процессе реконструкции и в период начальной эксплуатации, включая новые объекты. В качестве основных контролируемых параметров приняты вертикальные осадки и горизонтальные перемещения.

Для выполнения исследований применялись следующие приборы: 3D сканер FARO Focus S 150, 3D сканер Stonex X300 и Трекер API RADIANT R20. Сравнительные технические характеристики используемых в исследовании типов сканеров представлены в таблице 3.11.

Как и при работе с тахеометром, для получения максимально точных результатов сканирования и мониторинга, на объекте либо в зоне сканирования рекомендуется предварительная установка неподвижных марок (рисунок 3.28), хотя общепринято, что при работе с лазерным сканером установка марок не обязательна. Были проведены исследования на следующих объектах:

- 1) Здание купца Лисицына и Емелина» по ул. Пушкина в г. Казани (рисунок 3.29);
- 2) Труба бывшего кирпичного завода в селе Ключище (в РТ) (рисунок 3.32);
- 3) Учебный корпус № 1 КазГАСУ (рисунки 3.33, 3.34).

Ввиду более высокой точности измерений трекеров, при выполнении работ с их использованием необходимо учитывать также температурный режим измерений на объекте и коэффициент температурного расширения материала несущего каркаса здания, так как при значительной протяженности объекта данные свойства могут влиять на точность геодезических измерений. В связи с этим, для минимизации погрешности результатов измерений, рекомендуется располагать геодезические марки в цокольной части зданий по возможности ближе к земной поверхности. По данным маркам целесообразно определять неравномерность осадок разных частей здания. При определении кренов здания и горизонтальных деформаций, замеры необходимо выполнять по дополнительным маркам, расположенным в парапетной части здания, в основном в вертикальной проекции цокольных маяков.

Таблица 3.11 - Хронометражная оценка работы с исследуемыми лазерными приборами активного мониторинга

Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX	3D сканер FARO Focus S 150	Трекер API RADIAN R20
Внешний вид			
Диапазон измеряемых расстояний, м.	до 400	от 0,6 до 150	от 0 до 30
Пределы допускаемой погрешности измерений расстояний интерферометром, мкм/м	$\pm (3+2 \times 10^{-6} \times D)$	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м	$\pm 0,5$
Класс точности измерений по ГОСТ 24846-2019	II	III, IV	I
Скорость сканирования	-	от 122,000 до 976,000 точек/в сек.	1000 точек/сек в динамическом режиме
Суммарное время	- 29,5 мин на первом цикле измерения; - 13 мин на последующие циклы	- 33 мин на первом цикле измерения; - 15,5 мин на последующие циклы	70,5 мин на первом цикле измерения; - 37 мин на последующие циклы
Норма времени	0,49 чел/ч при первом измерении, 0,217 чел/ч при последующих	0,55 чел/ч при первом измерении, 0,258 чел/ч при последующих	1,175 чел/ч при первом измерении, 0,62 чел/ч при последующих
Норма времени на камеральную обработку, чел/см	0,75	3	1
ПО	NanoCAD	ПО «Faro Scene»	ПО «SpatialAnalyzer»
Измерения	По маркам	По маркам + сравнение контура стен по разрезам в облаках точек	По маркам
Преимущества	1. Скорость проведения полевых работ и камеральной обработки 2. Минимальные трудозатраты и стоимость услуг	1. Возможность выявления деформаций вне деформационных марок 2. Построение ТИМ-модели здания	1. Высокая точность измерений, что позволяет выявить деформации на начальной стадии 2. Удобство камеральной обработки

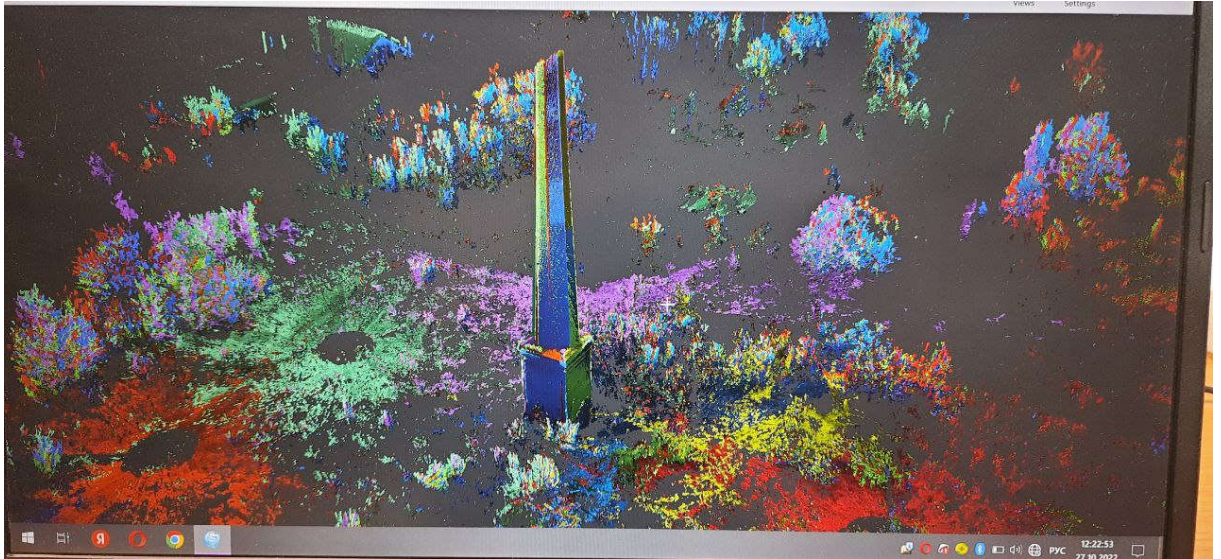


Рисунок 3.32 – Облако точек объекта «Труба бывшего кирпичного завода в селе Ключище» Вернеуслонского района РТ

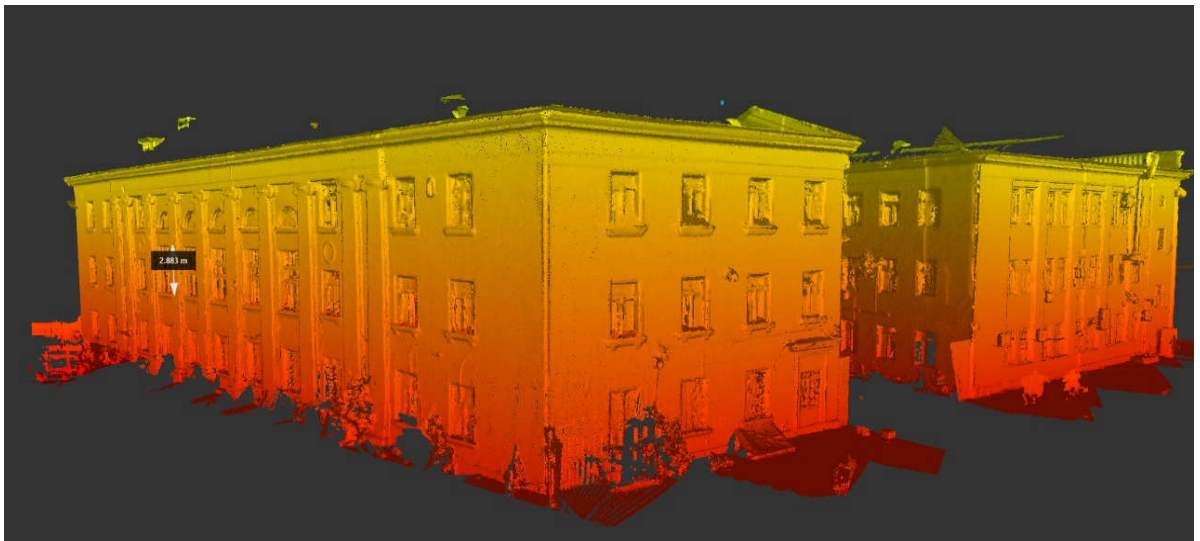


Рисунок 3.33 – Облако точек объекта «Учебный корпус № 1 КазГАСУ»



Рисунок 3.34 – Фасад объекта «Учебный корпус № 1 КазГАСУ»

При проведении мониторинга в различные времена года со значительными перепадами температур необходимо учитывать линейные температурные деформации объекта. Величины коэффициентов линейного расширения α_t кладки либо другого материала следует принимать по соответствующим справочникам, либо нормативной документации. Размерность коэффициента расширения $\text{м}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ или $1/\text{град} (\text{K}-1)$. Например, для кирпича керамического полнотелого, пустотелого и керамических камней $\alpha_t = 5-6\cdot 10^{-6}$, для железобетона – $12\cdot 10^{-6}$.

В результаты геодезических наблюдений необходимо вводить поправочный коэффициент температурного расширения. Например, при проведении геодезического мониторинга в течение длительного времени для повышения точности результатов рекомендуется вводить поправки в измерения по следующей формуле (3.7):

$$\Delta(x_{i,j+1}-x_{i,j}) = [x_{i,(j+1)}-x_{i,j}] + (t_{i,j}-t_{i,j+1}) \cdot \alpha_t \cdot (L/2-b_i), \quad (3.7)$$

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 – коэффициентов линейного расширения кладки либо другого материала стены; L – длина здания по стороне измерений; b – расстояние от ближайшего угла здания до марки.

Приведем примерные параметры термического расширения для объекта исследования в зависимости от температуры наружного воздуха. Точкой отсчета служат измерения при температуре $+15^\circ\text{C}$ (рисунок 3.35).

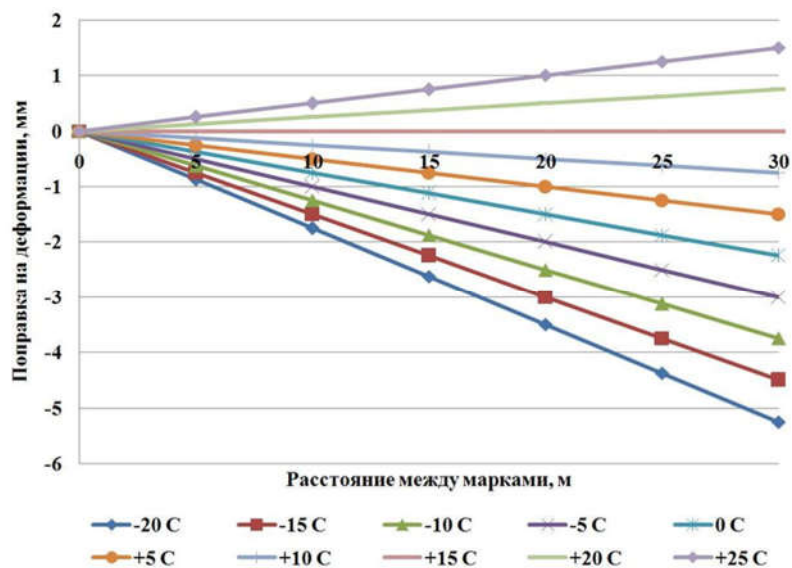


Рисунок 3.35 – Зависимость поправок на деформацию от расстояния и температуры наружного воздуха

Геодезический мониторинг реконструируемого здания с использованием лазерного трекера

При выполнении уникальных работ, затрагивающих несущие конструкции в процессе реконструкции здания, возникает необходимость выполнения геодезического мониторинга с повышенной точностью. Выполняя анализ геодезических приборов, установлено, что существуют лазерные приборы с высокой точностью, используемые в машиностроении. Одним из таких приборов является API RADIANT R20 (рисунок 3.36) с погрешностью измерений до 0,5 мм. Последовательность работы данного прибора идентична работе с роботизированным тахеометром, однако, учитывая, что данная модель прибора не оснащена собственным аккумуляторным блоком, при выполнении полевых работ возникают определённые сложности.

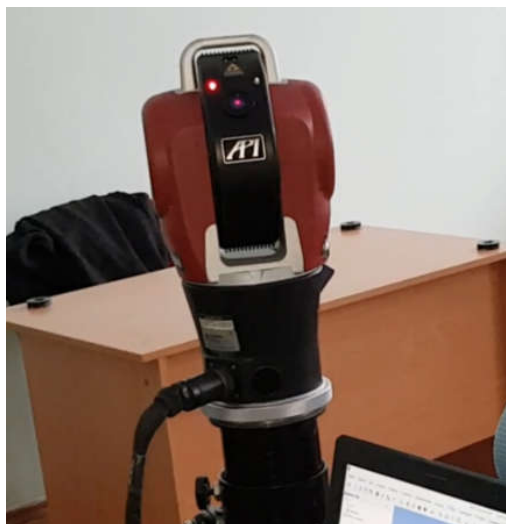


Рисунок 3.36 – Лазерный трекер API RADIANT R20

Обработка результатов мониторинга выполнялась в программном обеспечении «SpatialAnalyzer» (рисунок 3.37).

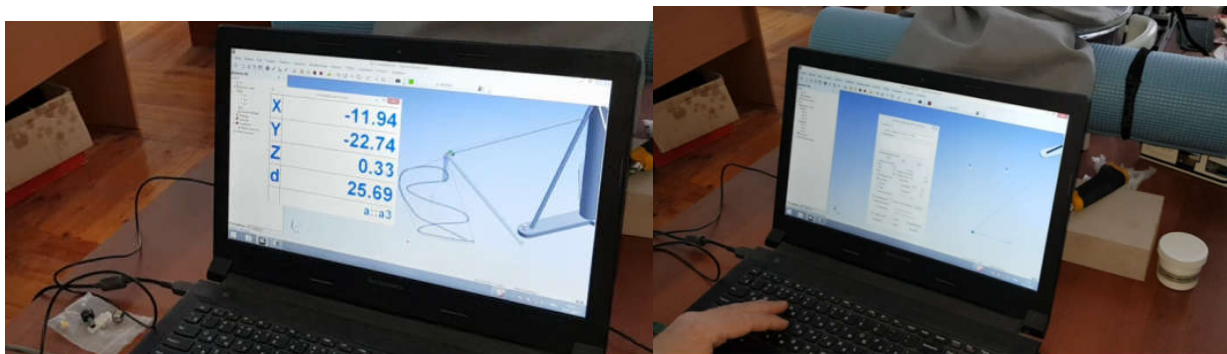


Рисунок 3.37 – Интерфейс ПО SpatialAnalyzer для трекера API Radian R20

Инструменты программного обеспечения позволяют выполнять анализ величины и направления перемещений контрольных точек относительно первоначального положения.

3.2.4. Предлагаемая методика проведения мониторинга с использованием приборов НЛС

Апробация методики выполнялась на строящемся объекте «Учебно-лабораторный корпус» сложной формы из монолитного железобетонного каркаса. Особенностью объекта является наличие ступенчатых консольных выносов фасада и соответственно технология строительства объекта, когда в процессе производства монолитных работ по возведению каркаса здания для устройства указанных консолей устанавливаются временные поддерживающие конструкции из стальных колонн (рисунок 3.38). После набора бетоном проектной прочности, временные поддерживающие конструкции извлекаются. В этот момент возникает необходимость контроля изменения деформации конструкции.

При прикладном использовании метода НЛС при мониторинге зданий выбираются неподвижные точки на фасаде здания в характерных местах, а также точки на реперном объекте, желательно не менее трех. В качестве точек также можно использовать заранее установленные репера и марки. Критериями выбора (места расположения) точек и места стоянки прибора являются:

- угол падения лазерных лучей должен быть максимально перпендикулярным к поверхности объекта и реперных точек;
- дальность расположения сканера до объекта должна быть не более 50 м;
- объекты должны быть светлые (для лучшего отражения лазерного луча);
- точку стоянки прибора рекомендуется позиционировать по ранее выполненной привязке.

Поле зрения сканера «StonexX300» составляет 90° по вертикали и 360° по горизонтали. Плотность вертикального сканирования сканера почти неизменна, плотность горизонтального сканирования задается за счет угла вращения сканера. Расходимость (дивергенция) луча 0,37 мрад (миллирадиан) (0,37 мм на 100 м) (степень расширения самого лазерного пучка с увеличением расстояния, или, при попадании луча на дальние объекты, их границы могут оказаться менее четкими).

Точность измерения – менее 6 мм при измерении до 50 м (1 sigma). Дальность сканирования – 300 м. Однако с повышением дальности сканирования точность сканирования снижается до 40 мм. При проведении полевых работ выбраны максимальные параметры сканирования.

В соответствие с программой работ мониторинг строящегося объекта выполнялся с интервалом в один месяц. За период наблюдений на здании было возведено три этажа.



Рисунок 3.38 – Временные поддерживающие конструкции

Камеральная обработка результатов

После экспортирования облаков точек в формат *.x3s рекомендуется в программе перейти в 2d режим. Работу с точками рекомендуется выполнять в родном ПО, так как при работе непосредственно в родном программном обеспечении обработки результатов сканирования повышается точность выходных данных. В данном режиме необходимо определить репера и марки в виде точек. При этом, рекомендуется первую точку выбрать вне области измерений, так как нумерация точек начинается с нуля. Затем отмечаются три реперные точки и точки на контрольных марках. Каждой точке присваивается свой порядковый номер. Выполняется команда «добавить и сохранить список точек». Список точек появится в рабочей области. Выделяются точки и выполняется команда «Экспорт точек». Задается необходимая точность измерений. В нашем случае задаем не более

5 мм (при расстоянии от места стоянки прибора до реперной точки не более 50 м) для реперных точек, относительная разница измерений ограничена 0,05 %.

По результатам сканирования, выполненного в июле месяце получен следующий список точек в относительной системе координат (рисунок 3.39, таблица 3.12):

Таблица 3.12 – Список точек «УЛК июль»

№	Координата X	Координата Y	Координата Z
Pt001	145.898739	-26.204932	19.832629
Pt002	151.077206	-22.477756	13.234642
Pt003	153.115073	-20.439997	16.79593
Pt004	118.396954	-7.663822	9.299191

По результатам сканирования получен следующий список точек в относительной системе координат (рисунок 3.40, таблица 3.13).

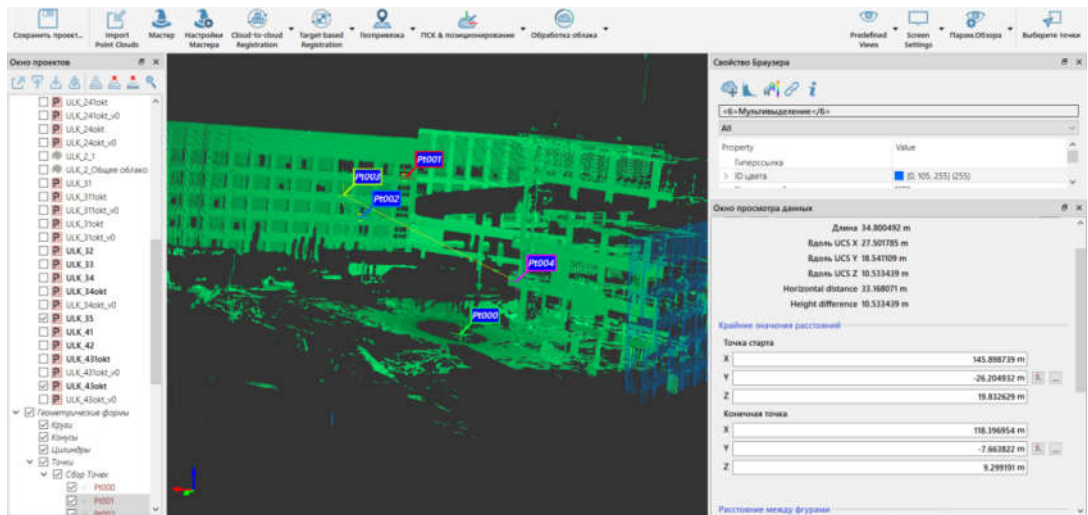


Рисунок 3.39 – Расстояния между точками 1 (репер №1) и 4 (марка №1), июль

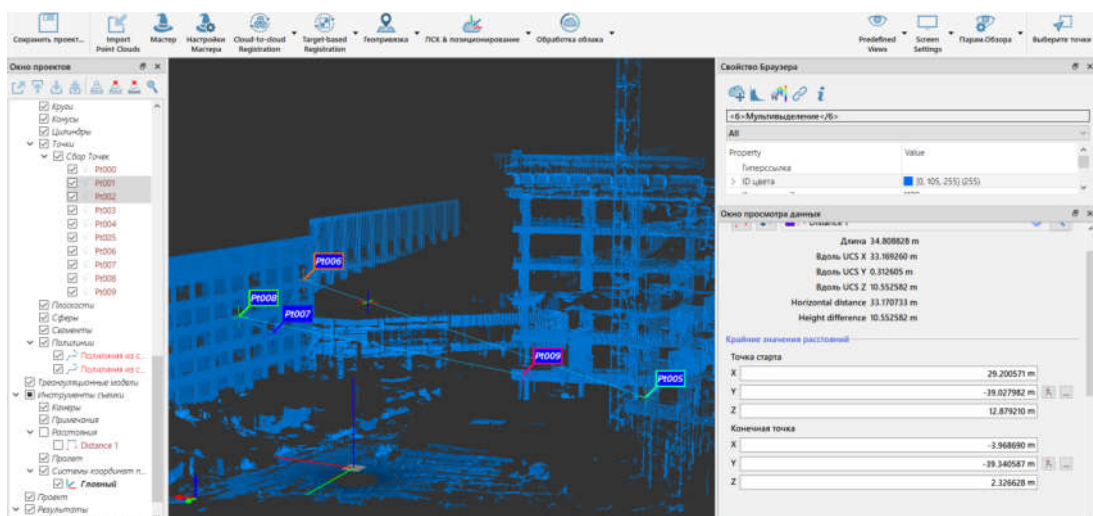


Рисунок 3.40 – Расстояние между точками 6 (репер № 1) и 9 (марка № 1), октябрь

Таблица 3.13 – Список точек «УЛК_октябрь»

№	Координата X	Координата Y	Координата Z
Pt006	29.200571	-39.027982	12.879210
Pt007	30.527373	-32.801462	6.273600
Pt008	31.826152	-26.431537	9.499626
Pt009	-3.968690	-39.340587	2.326628

Далее, используя инструменты программы, определены относительные расстояния между заданными точками. На первом шаге выполняется проверка корректности привязки реперных точек, путем проверки расстояний между ними. Например, корреляция расстояний между точками Pt001, Pt002, Pt003 и Pt004 представлена в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Относительное расположение точек контроля при первом замере (июль месяц)

№	Расстояние по горизонтали, м	Разница по высоте, м	Длина, м
Pt001-Pt002	6,380310	6,597987	9,178333
Pt002-Pt003	4,120214	3,302456	5,280377
Pt003-Pt001	9,281022	3,325468	9,858808
Pt001-Pt004	33,168071	10,533439	34,800492

Корреляция расстояний между точками Pt006, Pt007, Pt008 и Pt009 представлена в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Относительное расположение точек контроля при n-ном замере (октябрь месяц)

№	Расстояние по горизонтали, м	Разница по высоте, м	Длина, м
Pt006-Pt007	6,366314	6,605610	9,174096
Pt007-Pt008	4,124021	3,298976	5,281173341
Pt008-Pt006	9,279013	3,330122	9,858488464
Pt006-Pt009	33,170733	10,552592	34,808828

Предельно допустимая невязка в показаниях в соответствии с программой работ, $\Delta L_{\max}=5\text{мм}$. На первом этапе сравнивалась корреляция реперных точек, например, по длине расстояния между ними:

Разность расстояний между точками Pt001-Pt002/Pt006-Pt007 (3.8):

$$\Delta L = 9,174096 - 9,178333 = 0,0042 \text{ м} = 4,2 \text{ мм} < 5\text{мм}, \quad (3.8)$$

условие выполняется. Вычислим относительное приращение (3.9)

$$\Delta L \% = (L_n - L_1) / L * 100 \% = (9,174096 - 9,178333) / 9,178333 * 100 \% = 0,04 \% \quad (3.9)$$

где L – это расстояние между точками, м.

Далее, при необходимости, производятся аналогичные действия с иными реперными точками и вычисляется среднеквадратическое отклонение точности привязки двух этапов сканирования (3.10).

$$\Delta L = 5,281173341 - 5,280377 = 0,0007 \text{ м} = 0,7 \text{ мм} < 5 \text{ мм}, \text{ условие} \quad (3.10)$$

выполняется.

Аналогичным методом проверялась невязка остальных реперных точек.

В случае превышения величины невязки более 5 мм необходимо вернуться к облаку точек объекта и уточнить правильность привязки точек. Расстояния между реперной точкой и контрольной маркой на разных этапах мониторинга составила: Pt001-Pt004/ Pt006-Pt009 (3.11).

$$\Delta L = 34,808828 - 34,800492 = 0,0083 \text{ м} = 8,3 \text{ мм}, \quad (3.11)$$

условие выполняется. Приращение составит (3.12):

$$\begin{aligned} \Delta L \% = (L_n - L_1) / L * 100 \% = & (34,808828 - \\ & - 34,800492) / 34,808828 * 100 \% = 0,02 \% \end{aligned} \quad (3.12)$$

Разность горизонтальных и вертикальных перемещении (3.13-3.16):

$$\Delta x = 33,170733 - 33,168071 = 0,0027 \text{ м} = 2,7 \text{ мм}, \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \Delta x \% = (x_n - x_1) / x * 100 \% = & (33,170733 - \\ & - 33,168071) / 33,170733 * 100 \% = 0,008 \% \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\Delta h = 10,552592 - 10,533439 = 0,0191 \text{ м} = 19,1 \text{ мм}, \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \Delta h \% = (h_n - h_1) / h * 100 \% = & (10,552592 - \\ & - 10,533439) / 10,552592 * 100 \% = 0,181 \% \end{aligned} \quad (3.16)$$

При наличии нескольких контрольных марок, аналогичные действия выполняются для остальных марок. На следующем цикле наблюдений, аналогичным способом проверялись расстояния по трем направлениям до контролируемой марки.

Разработанная методика представлена в виде блок-схемы алгоритма работы с приборами НЛС при выполнении мониторинга зданий сооружений на рисунке 3.41.

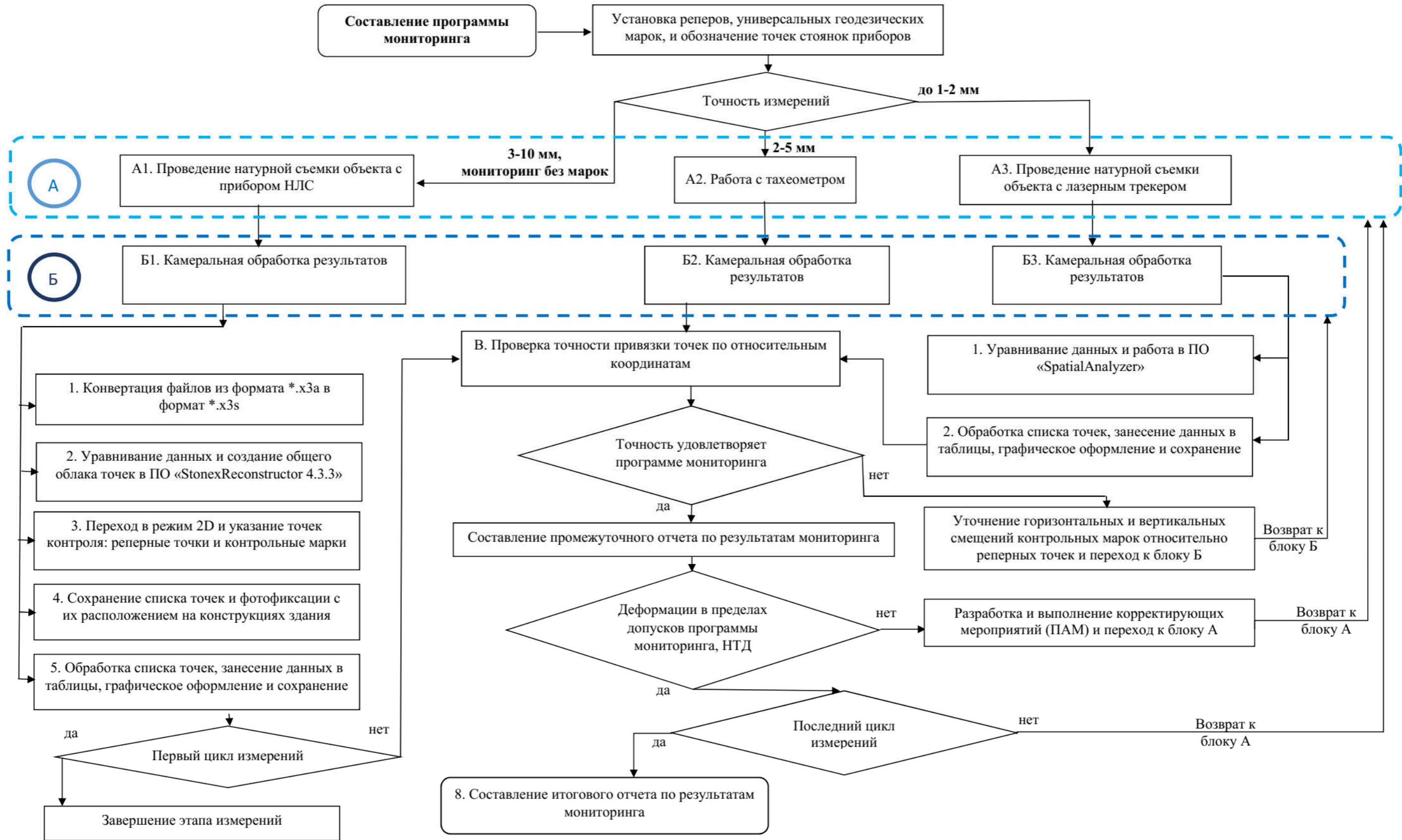


Рисунок 3.41 – Блок-схема алгоритма работы с приборами НЛС при выполнении мониторинга зданий сооружений

3.2.5. Определение трудозатрат при работе с приборами НЛС при мониторинге реконструируемых зданий

В процессе проведения работ научно-технического сопровождения объекта культурного наследия дома купца Лисицына в г. Казани, на первом этапе наблюдений применялись в основном визуально-инструментальный и геодезический методы. На втором этапе, после ввода и начала эксплуатации здания, были установлены специальные марки и проводились наблюдения за их перемещениями в соответствии с «Программой мониторинга за объектом культурного наследия дома купца Лисицына в г. Казани с использованием приборов трехмерного наземного лазерного сканирования».

Выполнялся хронометрический анализ времени работы с различными типами приборов [2, 50, 84]. При проведении мониторинга исследуемого реконструируемого здания технологическая последовательность установки и работы 3D сканеров зависела от конкретной модели. Последовательность технологических работ по установке, режиму съемки представлена на рисунках 3.42-3.44. Технологическая последовательность установки и работы с тахеометром и 3D сканерами представлена в таблице 3.16. Из таблицы 3.16 видно, что общее количество операций при работе с исследуемыми приборами, включая подготовительный процесс, составляет порядка 8 наименований. При этом на втором и последующих циклах время работы сокращается за счет исключения отдельных операций. По результатам измерения времени работы сканеров на начальной позиции сканирования получены следующие данные:

- 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 3.16 –Последовательность установки и работы приборов

Номер работы	Тахеометр	Тип сканера	
	Sokkia SET 550RX	3Dсканер FARO Focus S150	API RADIAN 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 данных таблицы 3.16 составлены таблицы 3.17 и 3.18, включающая суммарное время работы исследуемых приборов, норму времени и состав звена, преимущества и сравнительные характеристики приборов.

Таблица 3.17 – Сводные данные по работе исследуемых приборов

Параметр	Тахеометр	Тип сканера	
	Sokkia SET 550RX	3Dсканер FARO Focus S150	API RADIAN R20
Суммарное время	- 29,5 мин на первом цикле измерения; - 13 мин на последующие циклы	- 33 мин на первом цикле измерения; - 15,5 мин на последующие циклы	70,5 мин на первом цикле измерения; - 37 мин на последующие циклы
Норма времени	0,49 чел/ч при первом измерении, 0,217 чел/ч при последующих	0,55 чел/ч при первом измерении, 0,258 чел/ч при последующих	1,175 чел/ч при первом измерении, 0,62 чел/ч при последующих
Состав звена	(геодезист 6 разряда, геодезист 4 разряда)	геодезист 6 разряда	(геодезист 6 разряда, геодезист 4 разряда)

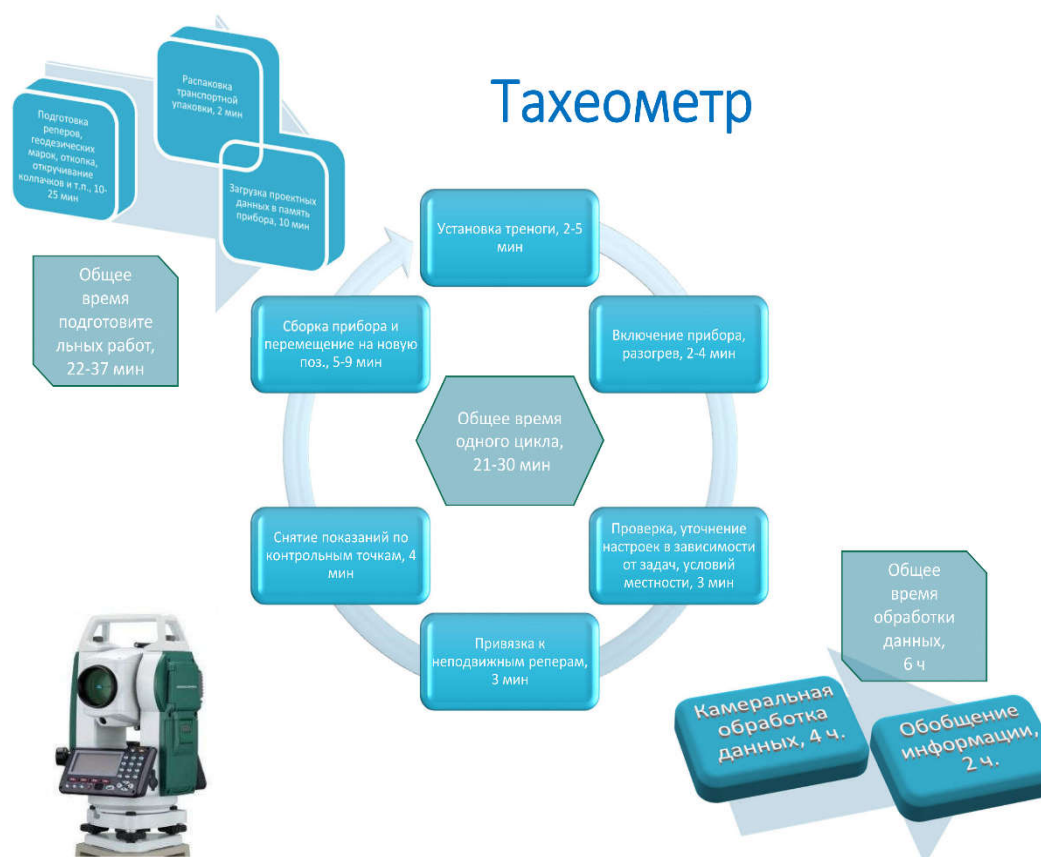



Рисунок 3.42 – Последовательность технологических операций и норм времени при работе с тахеометром

Таблица 3.18 – Технические характеристики приборов НЛС

Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX	3D сканер FARO Focus S 150	Трекер API RADIAN R20
Внешний вид			
Диапазон измеряемых расстояний, м.	до 400	от 0,6 до 150	от 0 до 30
Пределы допускаемой погрешности измерений расстояний интерферометром, мкм/м	$\pm (3+2 \times 10^{-6} \times D)$	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м	$\pm 0,5$
Класс точности измерений по ГОСТ 24846-2019	II	III, IV	I
Скорость сканирования	-	от 122,000 до 976,000 точек/в сек.	1000 точек/сек в динамическом режиме
Суммарное время	- 29,5 мин на первом цикле измерения; - 13 мин на последующие циклы	- 33 мин на первом цикле измерения; - 15,5 мин на последующие циклы	70,5 мин на первом цикле измерения; - 37 мин на последующие циклы
Норма времени	0,49 чел/ч при первом измерении, 0,217 чел/ч при последующих	0,55 чел/ч при первом измерении, 0,258 чел/ч при последующих	1,175 чел/ч при первом измерении, 0,62 чел/ч при последующих
Норма времени на камеральную обработку, чел/см	0,75	3	1
ПО	NanoCAD	ПО «Faro Scene»	ПО «SpatialAnalyzer»
Измерения	По маркам	По маркам + сравнение контура стен по разрезам в облаках точек	По маркам
Преимущества	1. Скорость проведения полевых работ и камеральной обработки 2. Минимальные трудозатраты и стоимость услуг	1. Возможность выявления деформаций вне деформационных марок 2. Построение ТИМ-модели здания	1. Высокая точность измерений, что позволяет выявить деформации на начальной стадии 2. Удобство камеральной обработки

Анализ трудозатрат при работе с исследованными лазерными приборами графически представлен на рисунке 3.45.

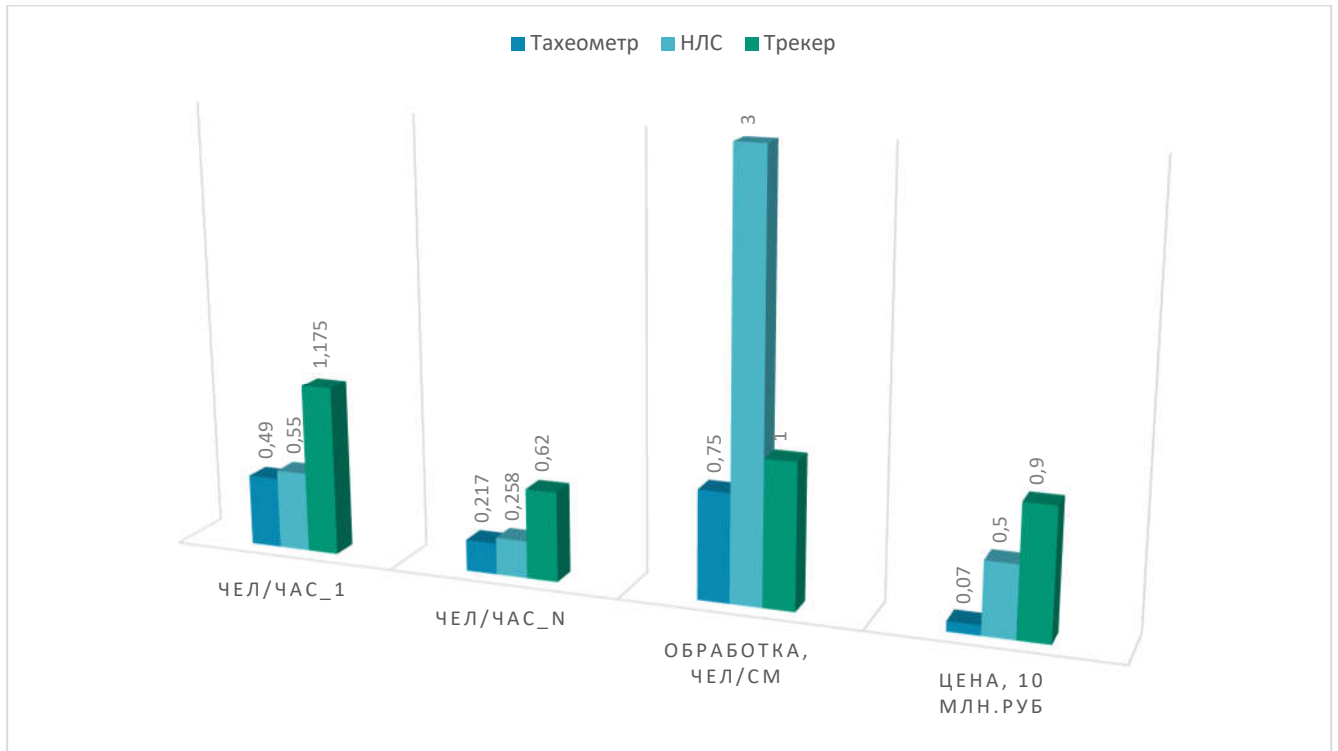


Рисунок 3.45 – Трудозатраты при работе с исследованными лазерными приборами

По результатам хронометражных наблюдений и определении трудозатрат при проведении мониторинга с приборами НЛС установлено:

- оптимальным по параметрам трудозатрат и стоимости прибора является электронный тахеометр.
- наиболее точным и дорогостоящим является лазерный трекер, однако он имеет удобное ПО для оперативной камеральной обработки.
- наиболее трудозатратой оказалась работа с приборами НЛС, однако большим плюсом данного прибора является возможность создания ТИМ-моделей на основе полученных облаков точек.

Выводы по третьей главе

1. Составлена математическая модель зависимости шага балок и прикладываемой нагрузки от веса металлических конструкций и трудоемкости усиливающих элементов. Получена функция, описывающая кривую зависимости трех параметров: веса металлических конструкций, используемых для усиления здания, трудоемкости монтажа и прикладываемой нагрузки от существующего здания.

2. Выявлены оптимальные точки исследуемых параметров, при котором вес и трудоемкость принимают минимальные значения, что влечет снижение общего веса используемых металлических конструкций для усиления существующего здания, общей стоимости технологии, повышение экономического эффекта. Минимальное значение веса металлоконструкций для принятого здания – шаг балок 1,26 м, а минимальная трудоемкость выполненных работ – при шаге балок 1,5344 м.

3. 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.

4. На основе опыта научно-технического сопровождения реальных объектов капитального строительства разработана методика проведения мониторинга зданий с использованием приборов НЛС.

5. Предложена 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. Разработана методика работы с приборами НЛС при выполнении мониторинга зданий сооружений.

ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Разработка основных технологических этапов увеличения подземного пространства существующего здания

Внедрение результатов исследования проводилось на объекте «Дом С.Д. Лисицына – В.Д. Емелина, во флигеле которого 1 (13) февраля 1873 г. родился певец Ф.И. Шаляпин», расположенный по адресу: Республика Татарстан, г. Казань, ул. Пушкина, д. 10 (рисунок 4.1).

В технологии устройства подземных объектов под существующими зданиями можно выделить девять основных технологических этапов, позволяющих осуществить устройство подземных пространств на несколько уровней при существующей застройке, сохранив ее первоначальный облик и несущие конструкции.

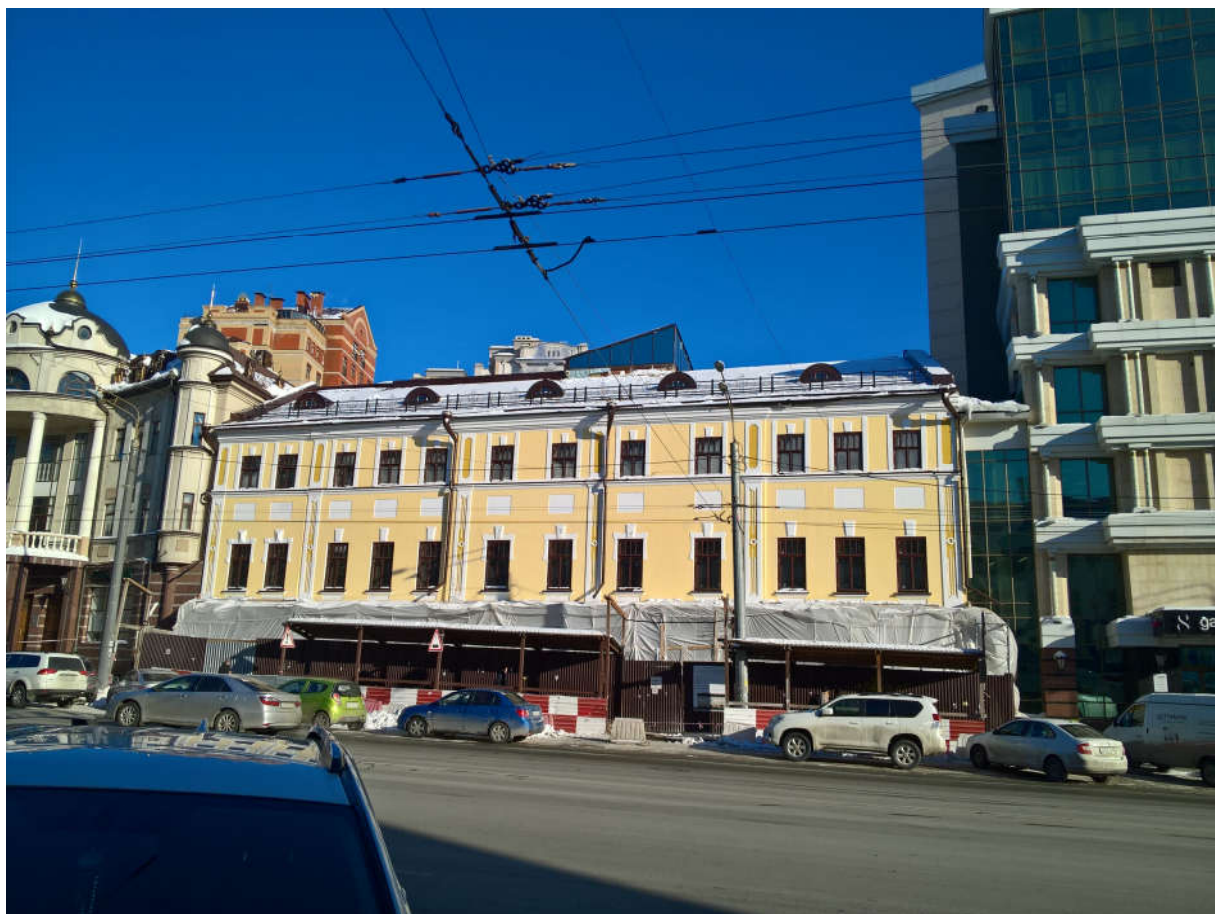


Рисунок 4.1 – Общий вид объекта внедрения по ул. Пушкина 10 в г. Казани

1 этап: предполагает проведения обследования здания, оценивающее его техническое состояние, проанализировать возможные прогибы, трещины, дефекты, оценить состояния несущих конструкций, изучить проектную документацию (при наличии). Для проведения данных видов работ необходимо проведение 3D сканирования объекта, для того чтобы определить фактические размеры объекта или использование тахеометра с установкой маяков по стене (рисунок 4.2 а) и угловых маяков (рисунок 4.2 б), для того чтобы отследить раскрытие трещин, возможные перемещения, что на протяжении всей технологии и после выполнения всех строительных работ позволит оценить состояние здания.



Рисунок 4.2 – Установка маяков: а) маяк М10; б) угловой маяк

2 этап: усиление стен и устройство рандбалки. После получения информации о состоянии здания, необходимо усилить стены конструкции, для того чтобы разгрузить стены и обеспечить безопасное ведение работ. Для этого применяют пояса по высоте здания в продольном направлении. В нижней части здания необходимо установить рандбалки, которые будут являться распределительным поясом для равномерной передачи нагрузки на нижележащие конструкции. Рандбалки представляют собою швеллер в сечении и соединяются шпильками. Важно отметить, что соединение шпилек необходимо вести в шахматном порядке, в противном случае появляющиеся высокие напряжения в стенке швеллера могут привести к разрушению (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Устройство рандбалки

3 этап: устройство буронабивных свай, выполняющих функцию опор для временных поддерживающих балок. Шаг расстановки, диаметр, арматурный каркас подбираются при расчетах строительных конструкций. Наиболее простым способом устройства свай являются буронабивные, где осуществляется заливка бетонного раствора с применением металлического каркаса (рисунок 4.4). Подобная технология наиболее благоприятна при существующей застройке, так как отсутствуют ударные усилия, которые разрушительно могут воздействовать на конструкции. Также аналогично данному способу возможно применить современную технологию "jet-grouting" [38, 20, 172].

Технологическая последовательность работ по такому методу заключается в следующем: производят бурение скважины; в скважину погружают иньектор со специальным калиброванным отверстием – соплом; подают под большим давлением (до 100 МПа) иньекционный раствор; осуществляют подъем иньектора с одновременным его вращением; формируют сваю нужного диаметра или стенку из свай.

Основные преимущества струйной технологии в условиях слабых грунтов: возможность ведения работ в любых неблагоприятных грунтовых и в стесненных условиях; экологическая чистота всех технологических операций.

Общеизвестным методом является устройство свай с внешней, и с внутренней стороны (рисунок 4.4 б) здания, с целью обеспечения равномерного давления по всей линии устройства опорных балок.

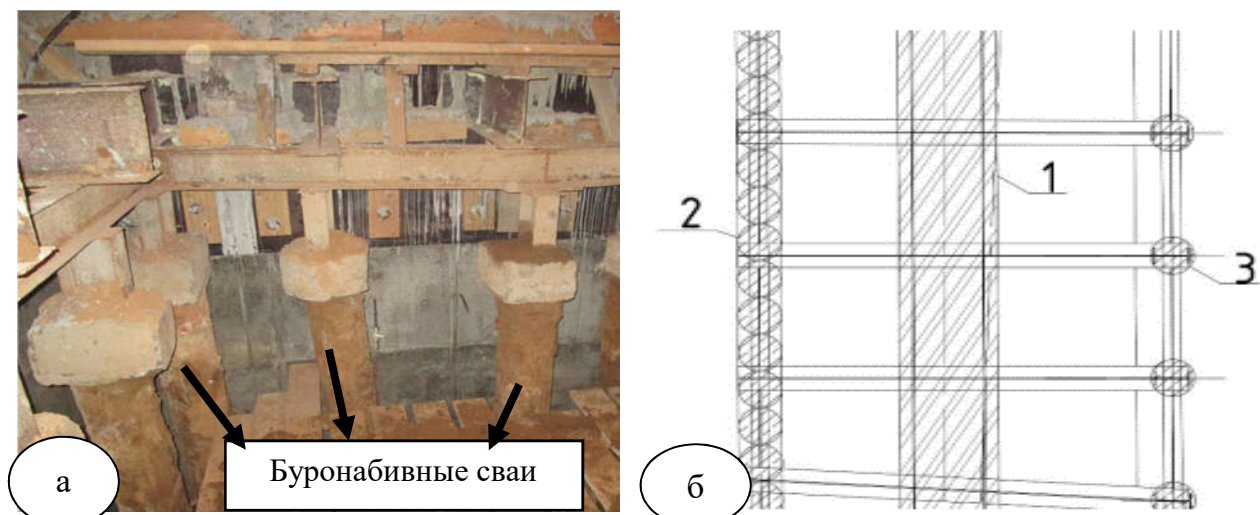


Рисунок 4.4 – а) устройство буронабивных свай; б) расположение свай: 1- внешняя стена; 2- внешний ряд буронабивных свай; 3-внутренний ряд буронабивных свай

4 этап: устройство железобетонных либо металлических ростверков. Сечение ростверка определяется расчетным путем. Материал ростверка может быть как железобетонным, так и металлическим, в данной технологии предлагается использовать металлические двутавровые балки, сечение которых зависит как от прикладываемой нагрузки вышележащих конструкций, так и от шага расположения свай. Регулируя сечением свай, возможно определить наиболее экономичную и наименее трудозатратную в монтаже балку. Ростверки выполняют поверх свай для равномерного распределения нагрузок на сваи от вышележащих конструкций (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Устройство ростверков

5 этап: устройство поперечных балок. В теле здания с помощью алмазной резки выполняется штраба, через которые в поперечном направлении проводятся металлические балки и равномерно переводят вес всего здания на ростверк (рисунок 4.6). Балки опираются на сваи с обеих сторон стены.



Рисунок 4.6 – Устройство поперечных балок

6 этап: Разработка грунта под подошвой старого фундамента до проектной отметки нового фундамента.

7 этап: устройство нового фундамента. Фундамент принимается по расчету в виде сплошной монолитной или сборной стены, для устройства фундамента разрабатывается небольшой участок грунта с возможностью свободного перемещения и проведения работ для рабочих, и по проведенным расчетам с установленными размерами и характеристиками возводится новый фундамент. На дно разработанного участка устанавливается фундаментная подушка и возводится каркас стеновой части.

8 этап: демонтаж конструкций. После обеспечения дополнительными усиливающими элементами, необходимо осуществить демонтаж конструкций и усиливающих элементов.

Демонтаж осуществляется тех конструкций и элементов, физический износ которых имеет низкий технический показатель эксплуатационных, механических и других качеств. Демонтажные работы необходимо осуществлять согласно [142]. После пересадки здания на новый фундамент, усиливающие элементы (поперечные балки, ростверки) также демонтируются. Буронабивные сваи по внутренней части

здания также извлекаются, внешняя сторона сваи по необходимости может быть оставлены в грунте.

9 этап: после проведения всех работ по усилению здания и возведению нового фундамента начинаем разработку подземной части. Для этого рекомендуется применять малогабаритную технику, позволяющую осуществить разработку грунта в стесненных условиях (рисунок 4.7) и в значительной степени повысить механизацию труда. Разработку грунта можно вести на глубину более 10 метров, что позволяет устроить подземные сооружения в несколько этажей. Технология работ осуществляется следующим образом:

1. Подготовка дорожной части (трапов, пандусов) для проезда малогабаритной техники и вывоза грунта;

2. Разработка грунта первого этажа подземной части до отметки потолка второго этажа;

3. Бетонирование с устройством арматурного каркаса, где оставляют технологическое отверстие, которое позволяет перемещаться малогабаритной технике и разрабатывать грунт второго этажа. Данные этапы продолжаются до достижения необходимой расчетной отметки. После того как бетон самого нижнего уровня набирает необходимую прочность, начинаются работы по установке перегородок и возведению внутреннего пространства по принятому проекту.



Рисунок 4.7 – Применяемая малогабаритная техника

В качестве завершающего этапа также можно выделить мониторинг в начальный период эксплуатации здания. После проведения всех технологических работ, необходимо проводить мониторинг здания, следить за его осадками и т.д. Детальное описание мониторинга здания представлено во второй части главы 3.

4.2. Экономическая эффективность устройства новых площадей под существующими зданиями и сооружениями на примере здания «Купца Лисицына» в г. Казани

4.2.1. Выбор оптимального варианта приспособления

С целью определения экономической эффективности проведенных работ по реконструкции, реставрации и приспособлению объекта культурного наследия «Дом купца Лисицына в г. Казани» проведён анализ затрат и разработанной концепции инвестиционной окупаемости проекта.

На основе выполненных исследований предложены следующие варианты использования оцениваемого объекта: 1) для производственных и складских помещений; 2) торговых; 3) использование помещений в качестве коммерческого объекта.

Использование помещений в качестве склада, является неоправданным с точки зрения финансовой эффективности. Доходы от сдачи в аренду складских помещений существенно ниже от соответствующих доходов от использования его в качестве торговых либо офисных помещений. Следовательно, от таких вариантов использования, следует отказаться.

Анализ рынка недвижимости показывает, что стоимость продажи и арендные ставки для торговых площадей выше, чем для офисных помещений. Поэтому такое использование могло бы быть более эффективным. Вместе с тем, при выборе варианта наиболее эффективного использования следует учесть, что использование помещения для размещения полноценного магазина связано с большими затратами, обусловленными необходимостью значительной перепланировки и ремонта. Окружающая инфраструктура месторасположения

объекта оценки – промышленные, административные и крупные торговые объекты. Таким образом, принимая во внимание, что объект оценки расположен хотя и в оживленном месте, но недостаточно удачно с точки зрения мелкой розничной торговли, финансовая целесообразность этого варианта выглядит нерациональной.

Коммерческое здание более спокойный объект инвестиций. Спрос на коммерческие помещения растет вслед за экономикой. Причина того, что в настоящее время сырьевые, финансовые, банковские структуры занимаются активным инвестированием в рынок коммерческой недвижимости, кроется в высоком уровне доходности офисных проектов. При высоком инвестиционном потенциале центр города Казань испытывает острый недостаток в качественных коммерческих помещениях, при этом имеющих уникальные дизайнерские решения в отделке в стиле лофт. В связи с вышесказанным считаем, что такое использование является наиболее эффективным.

Таким образом, наиболее эффективным использованием оцениваемого объекта является использование здания в качестве офисного, ресторана, цветочного магазина, стоматологической клиники.

4.2.2. Распределение и назначение помещений в объеме здания

На первом этаже литера А планируется ресторан. Обоснованием функции ресторана служит создание комфортных условий для многочисленных гостей города, желающих совместить приятные прогулки по центру с возможностью отведать национальной кухни Татарстана. В подвальном этаже здания литера Б расположены производственные помещения кухни с полным циклом технологической обработки всех сырьевых, пищевых продуктов и полуфабрикатов. Подвальный этаж здания кроме кухни ресторана, предназначен и для помещений и сетей инженерно-технического обеспечения здания. В подвальном этаже расположены помещения: водомерный узел, тепловой пункт, электрощитовая, насосная, серверная, технические помещения, кухня ресторана. В

повальных помещениях фасадной части предлагается расположить музей Шаляпина и цветочный магазин.

На втором и третьем этажах литера А и Б расположены офисные помещения для 70 сотрудников, игровая комната для детей клиентов ресторана. На третьем и четвертом этаже литер Б расположено медицинское учреждение.

Мансардное пространство принято решение разделить между управляющей компанией и туристическим агентством. На плоской части кровли здания планируется расположение летнего кафе с хорошим видом на городской пейзаж. Внутренняя отделка помещений предполагается преимущественно в стиле лофт. Варианты использования внутреннего пространства объекта при приспособлении объекта приведены на рисунке 4.9.

Общая площади дополнительно образованных помещений в подвале 139,4 м², в том числе по предложенной технологии 78,08 м² (помещения Б1+Б2) представлена на рисунке 4.8.

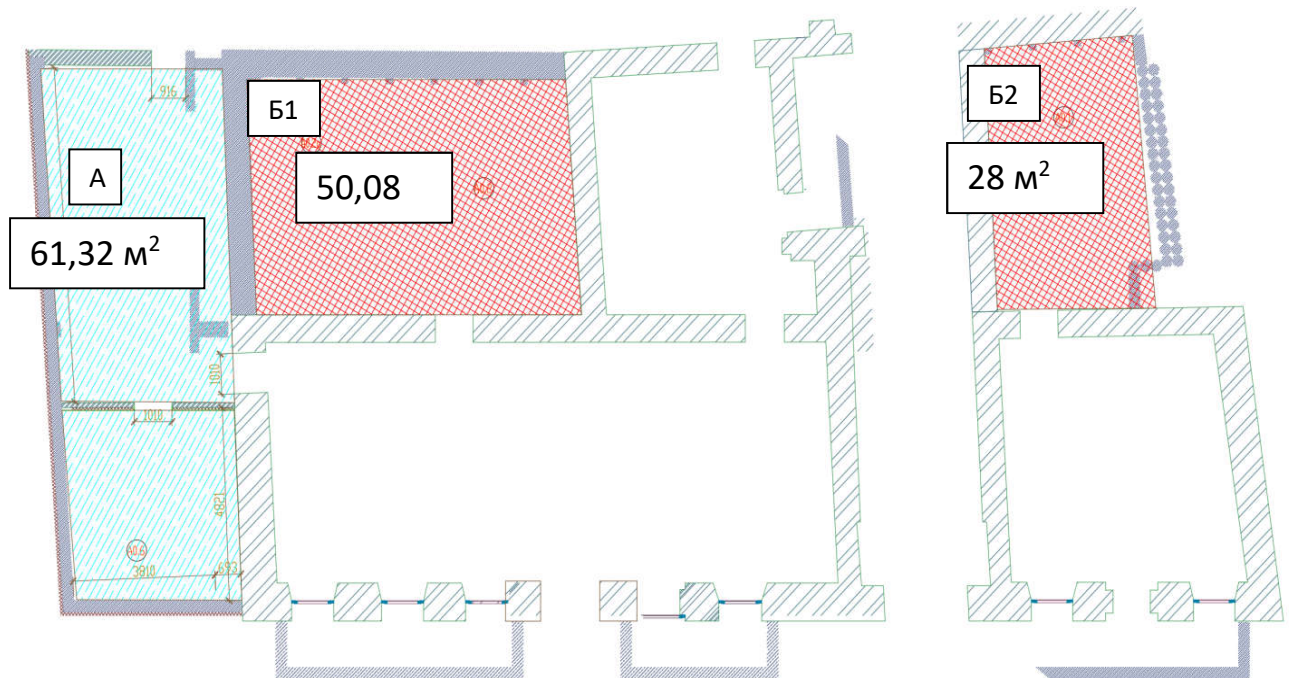


Рисунок 4.8 – Общая площади дополнительно образованных помещений в подвале



Рисунок 4.9 – Варианты приспособления объекта

4.2.3. Расчет экономической эффективности проекта

В здании принято решение разместить ресторан, музей Шаляпина, цветочный магазин, офисные помещения, медицинское учреждение, офис управляющей компании и туристическое агентство, на плоской части кровли здания планируется расположение летнего кафе с хорошим видом на городской пейзаж. Внутренняя отделка помещений предполагается преимущественно в стиле лофт.

Парковочные места планируется организовать вдоль улицы Пушкина, а также 5 мест во дворовой территории при выезде из арки. Расчет окупаемости проекта выполнялся в программном комплексе Аль-Инвест 3.0.

В качестве исходных данных заданы ориентировочный срок проекта 25 лет, указана стоимость земельного участка, стоимость приобретенного здания, затраты на реконструкцию, на страхование рисков, на управляющую компанию, ставка рефинансирования, инфляция, планируемая ставка аренды площади помещений, дополнительные способы приобретения прибыли и т.д.

Основные технико-экономические показатели представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технико-экономические показатели объекта внедрения

Наименование	С устройством подземного этажа
Показатели по зданию	
Площадь земельного участка, кв.м.	761,00
Общая площадь здания, кв.м.	3 139,04
Строительный объем, куб. м., в том числе:	12 788,87
Назначение помещений	
Площадь технических помещений, кв.м.	881,00
Площадь помещений предприятий питания, кв.м.	565,00
Площадь музея, кв.м.	89,00
Площадь цветочного магазина, кв.м.	130,00
Площадь офисов, кв.м.	862,88
Площадь стоматологической клиники, кв.м.	382,21
Площадь управляющей компании, кв.м.	129,00
Площадь турагентства, кв.м.	100,00
Парковка во дворе, машиномест	25
Соотношение арендуемой площади к общей площади помещений	67,80
Стоимость проекта, т.р.	207 972
Площадь помещений в аренде, кв.м.	2 128,43

Процентное соотношение дополнительных площадей по отношению к полезной площади всего здания после реконструкции определим по формуле (4.1):

$$S \% = 100 \% - (S_{зд} - S_{пересад}) / S_{зд} * 100 \% \quad (4.1)$$

$$100 \% - (3139,04 - 78,08) / 3139,04 * 100 \% = 2,487 \%$$

При реализации проекта без дополнительных площадей срок окупаемости будет больше и составит до 28 лет (проект окупится к 2042 году) за счет меньшего денежного потока от арендной деятельности при аналогичных затратах на эксплуатацию здания.

При выполнении расчетов использовался алгоритм, включающий в себя следующие этапы:

1. Ресурсный метод расчета стоимости строительства, основанный на калькуляции ресурсов в текущих ценах и тарифах;

2. Метод расчета продолжительности выполнения строительно-монтажных работ на базе их трудоемкости;

2. Дисконтированный метод оценки эффективности инвестиционных проектов:

– чистая приведенная стоимость проекта (4.2)

$$NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+d)^t} - \sum \frac{I_t}{(1+d)^t} - I_0 > 0; \quad (4.2)$$

– дисконтированный срок окупаемости (PBP);

– внутренняя норма рентабельности проекта (4.3):

$$IRR = d1 + \frac{NPV_{(d1)}}{NPV_{(d1)} - NPV_{(d2)}} * (d2 - d1) > d; \quad (4.3)$$

– норма доходности дисконтированных затрат (4.4):

$$PI = \frac{\sum \frac{CF_t}{(1+d)^t}}{\sum \frac{I_t}{(1+d)^t} + I_0} > 1; \quad (4.4)$$

где d – ставка дисконтирования;

CF_t – денежные поступления от сдачи помещений в аренду в период t ;

I_t – затраты в период t : реконструкция, коммунальные платежи, затраты на страхование, налоги, заработная плата персонала и др.;

I_0 – первоначальные вложения в проект: приобретение земельного участка и здания.

Анализ рынка показал, что при высоком инвестиционном потенциале центр города Казань испытывает острый недостаток в качественных коммерческих помещениях, при этом имеющих уникальные дизайнерские решения в отделке в стиле лофт, поэтому для улучшения финансово-экономических показателей необходимо включение в полезную площадь здания также подземного этажа в качестве ресторана, цветочного магазина, стоматологической клиники.

Таким образом, необходимы работы по его обустройству, которые включают в себя: устройство рандбалки, бурение скважин, установка арматурных каркасов в скважины, бетонирование буронабивных свай, устройство ростверка

металлического, пробивку проемов в кирпичных стенах для балок, установку поперечных балок, разработку грунта под подошвой фундамента и др. (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Продолжительность выполнения работ до и после оптимизации

Номер п/п	Наименование	Продолжительность работ до оптимизации, дни	Продолжительность работ после оптимизации, дни
1	Устройство рандбалки	21,8	15,81
2	Устройство буронабивных свай	9,21	8,68
3.	Устройство ростверка металлического	10,61	8,14
4.	Пробивка проемов в кирпичных стенах для балок	7,56	5,61
5.	Установка поперечных балок	10,33	3,78
6.	Разработка грунта под подошвой фундамента	23,89	2,58
7.	Устройство нового фундамента	30,41	30,41
8.	Демонтаж временных конструкций (металл)	8,52	3,93
9.	Срубка голов одиночных свай	7,83	9,71
10.	Устройство подземного этажа (разработка грунта)	15,21	4,92
11.	Устройство подземного этажа (монолитные перекрытия)	6,55	6,55
12.	Итого	152	100

Из таблицы 4.2 видно, что общая продолжительность работ по реконструкции подземной части здания без оптимизации составит 5 мес. Оптимизация проектно-технологических решений позволит снизить продолжительность работ на 1,8 месяцев (рисунок 4.10).

Наименование работ	Продолжительность работ, дни		График производства работ							
	до оптимизации	после оптимизации	январь.18	февр.18	мар.18	апр.18	май.18	июнь.18	июль.18	авг.18
Итоговая продолжительность работ:	152	100								
Устройство рацбалки	21,80	15,81								
Устройство буронабивных свай	9,21	8,68								
Устройство ростверка мет.	10,61	8,14								
Пробивка проемов в кирпичных стенах для балок	7,56	5,61								
Установка поперечных балок	10,33	3,78								
Разработка грунта под подошвой фундамента	23,89	2,58								
Устройство нового фундамента	30,41	30,41								
Демонтаж временных конструкций (металл)	8,52	3,93								
Срубка голов одиночных свай	7,83	9,71								
Устройство подземного этажа (разработка грунта)	15,21	4,92								
Устройство подземного этажа (монолитные перекрытия)	6,55	6,55								

Рисунок 4.10 – Продолжительность подземных работ до и после оптимизации

Расчеты по обоснованию эффективности строительства 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.

Расчеты показали, что 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. (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Техничко-экономические показатели проекта

Наименование показателей	Значения показателей		Эффект после применения
	Проектные	С применением разработанных решений	
1 Общая сметная стоимость реконструкции, тыс. руб.	209 375	207 972	0,67 %
2 Срок реконструкции, мес.	40,8	39	4,4 %
3 Расчетное количество персонала, задействованного в строительстве (человек)	43	43	-
4 Среднеотраслевая заработная плата (рублей/месяц)	76 877,9	76 877,9	-
5 Расчетный размер затрат на оплату труда (тысяч рублей)	370 120,96	353 792,1	4,4 %

Разработанные решения позволяют не только снизить сметную стоимость работ, но и оптимизировать их продолжительность, что в свою очередь влияет на итоговые показатели эффективности (таблица 4.4).

Сокращение срока окупаемости составляет 0,38 года, что в денежном выражении соответствует разнице в NPV в 3 221 тыс. руб. (рисунок 4.11). То есть оптимизация стоимости и времени выполнения работ позволит увеличить чистую приведенную стоимость проекта более чем на 3 млн. руб.

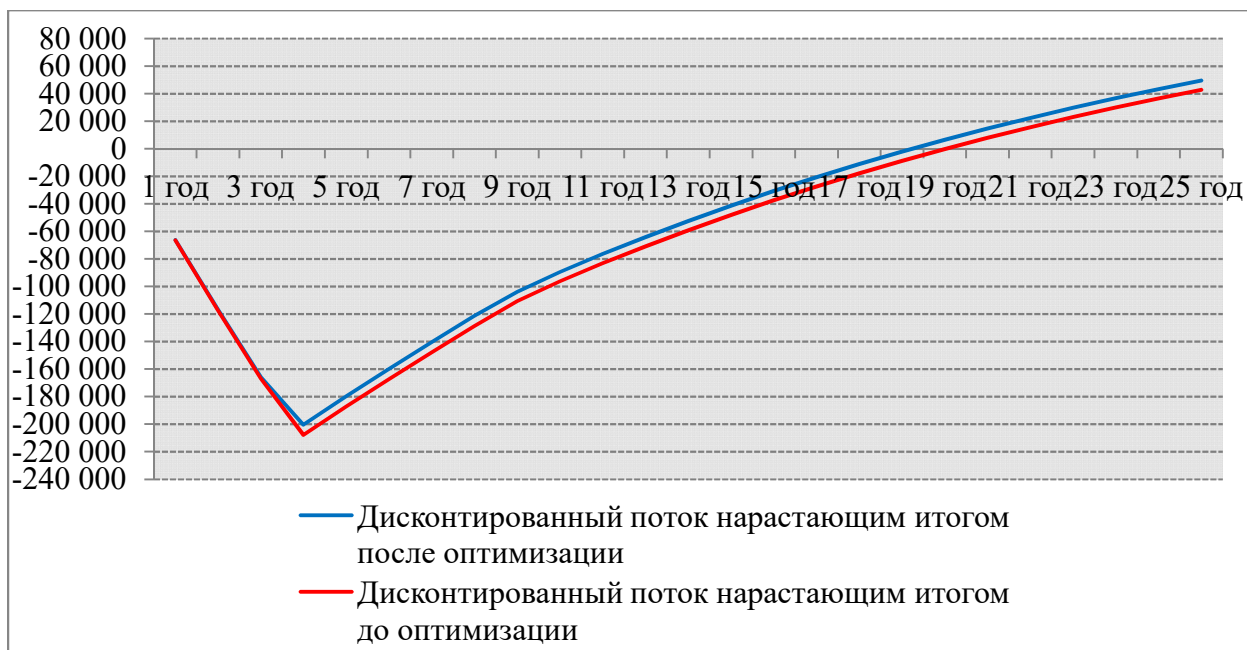


Рисунок 4.11 – Дисконтированный срок окупаемости проекта

Таблица 4.4 – 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 (PBP), лет	18,61	18,24	-1,99 %
4 Внутренняя норма рентабельности, % (номинальная - с учетом инфляции)	13,3	13,4	+0,75 %

Выполняя анализ результатов прогнозных экономических расчетов сделаны следующие выводы:

- денежные средства больше нуля заданный период расчета;

- NPV > 0 (net present value, NPV — это общие дисконтированные расходы, приведённые к сегодняшнему дню);
- IRR > ставки дисконтирования (IRR – InternalRateofReturn - рентабельность).

4.3. Результаты внедрения основных положений диссертационной работы

Основные положения были внедрены с положительным эффектом на отдельных строящихся и реконструируемых объектах в г. Казань, г. Альметьевск (Приложение Б). 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 (Приложение Б).

Выводы по четвертой главе

1 В технологии устройства подземных объектов под существующими зданиями выделены девять основных технологических этапов, позволяющих осуществить устройство подземных пространств на несколько уровней при существующей застройке, сохранив ее первоначальный облик и несущие конструкции.

2 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.

3 Основные принципы разработанной технологии 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».

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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абелев М. Ю, Аверин И. В., Чунюк Д. Ю., Коптева О. В. Оценка геотехнических рисков при строительстве на песчаных грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 3. С. 30-32. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.03.44-50.
2. Абрашкин М.С. Нормирование труда в современных условиях // ВНИПК «Актуальные вопросы современных гуманитарных и естественных наук». – Сибай: Сибайский филиал БГУ, 2010.
3. Азов И.Г. Геотехнические особенности применения метода top-down при строительстве заглубленных частей высотных зданий в сейсмических районах // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 75-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2019 год. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 480-483.
4. Айталиев Т.М. Декельный метод возведения зданий // Потенциал интеллектуально одарённой молодежи - развитию науки и образования: материалы VIII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 121-125.
5. Алехина А.А., Мазитова Л.Ф. Методы возведения многоэтажных зданий в условиях плотной городской застройки // Образование. Наука. Производство: XIII Международный молодежный форум. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 736-741.
6. Алехина А.А., Мазитова Л.Ф. Особенности возведения многоэтажных зданий в стесненных условиях // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1286-1290.

7. Алмазова Н.М., Долотказин Д.Б., Жаринов М.Ю., Косицын С.Б., Потапов В.Д., Римский Р.А. Пространственный расчет здания ГА Большого театра совместно с подстилающим грунтом // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 59-66.
8. Алмазова Н.М., Долотказин Д.Б., Жаринов М.Ю., Косицын Сб., Потапов В.Д, Римский Р. Пространственный расчет здания государственного академического большого театра совместно с подстилающим грунтом. Вестник МГСУ. ISSN: 1997-0935eISSN: 2304-6600. 2008. С. 59-66.
9. Альфажр М.А.К., Осама Э. Современные методы подъема и переноса исторических зданий // Научный диалог: Молодой ученый: Сборник научных трудов по материалам IV международной научной конференции. – Самара: Центр Научных Конференций Международной Научно-Исследовательской Федерации "Общественная наука", 2017. – С. 36-39. DOI 10.18411/spc-22-02-2017-12.
10. Анисимов А.В. Два Больших (к реконструкции Большого театра России в Москве) // Academia. Архитектура и строительство. – 2007. – № 3. – С. 23-25.
11. Анисимов А.В. О реконструкции здания Большого театра // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 1. – С. 85-86.
12. Анисимов А.В. Особенности реконструкций крупных театральных зданий // Общие вопросы мировой науки: Collection of scientific paper sonmaterials XII International Scientific Conference, Brussels, 31 марта 2021 года. – Brussels: Science Russia, 2021. – С. 95-104. – DOI 10.18411/gq-31-03-2021-22.
13. Афанасьев А.А. Декельный метод возведения зданий и заглубленных сооружений в стесненных условиях городской застройки // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2010. – № 9(140). – С. 30-33.
14. Балагезьян А.А., Рязанова Г.Н. Особенности технологии возведения подземной части зданий и сооружений методом "стена в грунте" // Наука молодых - будущее России: сборник научных статей 3-й Международной

- научной конференции перспективных разработок молодых ученых: Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2018. – С. 40-43.
15. Баловцев П.В. Принципы системы управления рисками при строительстве и эксплуатации подземных сооружений мегаполисов // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2010. – № 4. – С. 64-69.
 16. Балуев И.Б, Кошелев Н.В. Ограждения котлованов из буронабивных свай методом "стена в грунте" // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – Т. 1. – С. 314-318.
 17. Белоусов С.В. Значение средств малой механизации. // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых, Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. – С. 315-316.
 18. Бережной Д.В., Карамов А.В., Сагдатуллин М.К. Моделирование деформирования поэтапной выемки грунта при строительстве подземных сооружений // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 17. – С. 137-145.
 19. Борисевич К. Г. Возможности и перспективы строительства подземных паркингов при реконструкции зданий в условиях Санкт-Петербурга // Инновационная наука. – 2016. – № 12-2. – С. 31-33.
 20. Борисов Р.Э., Глушков И.В. Определение требуемых параметров укрепления грунтов по технологии jet grouting под автомобильную дорогу Калининград - Советск // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2019. – Т. 1. – С. 243-246.
 21. Бронин В.Н., Татаринцов С.В., Осокин А.И., Денисова О.О. Совмещенный метод разработки котлована по технологии Top-Down и открытым способом при строительстве в стесненной городской застройке // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3(38). – С. 93-100.

22. Вартанов, А. З., Петров И. В., Федаш А. В. Основные тенденции подземного строительства и освоения недр городов и проблемы проектирования подземных объектов в мегаполисах и зонах градопромышленных агломераций // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 10. – С. 160-164.
23. Гайдо А. Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12-15.
24. Гайдо А. Н. Методология выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гайдо Антон Николаевич, 2021. – 338 с.
25. Галиев И.Х. Норма времени работы мини-экскаватора с объемом ковша менее 0,15 м³// Механизация и автоматизация строительства: Сборник статей – Самара: Самарский государственный технический университет, 2019. – С. 37-41.
26. Галиев И.Х. Оптимизация подходов к производству строительных и реставрационных работ по сохранению исторических объектов // Известия КГАСУ. 2010. № 2 (14) С. 308-312.
27. Галиев И.Х., Ашрапов А.Х., Ибрагимов Р.А. Научно-техническое сопровождение объекта культурного наследия дома купца Лисицына при проведении строительно-монтажных работ по его реставрации и реконструкции // Известия КГАСУ. 2018. № 1(43) С. 211-218.
28. Галиев И.Х., Ибрагимов Р.А. Ашрапов А.Х. Возможности 3d сканеров при мониторинге реконструируемых зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-

- Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
– Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. С. 274-281. eLIBRARY ID: 46383355.
29. Галиев И.Х., Ибрагимов Р.А. Технологические особенности строительства подземных объектов под существующими зданиями // Строительное производство. – 2019. – № 1. – С. 82-85.
 30. Галиев, И. Х., Ибрагимов Р. А. Мониторинг реконструируемых зданий с использованием 3D-сканеров // Строительное производство. – 2021. – № 3. – С. 19-26. – DOI 10.54950/26585340_2021_3_3.
 31. Гончарова Т.К. Современные методы передвижки, демонтажа зданий и сооружений / Т. К. Гончарова, Т. П. Билюшова // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. – 2017. – № 2. – С. 194-198.
 32. Горбачевский В.П., Инсафутдинов А.Р., Крюкова А.О. [и др.] Отдельные аспекты проектирования "стены в грунте" // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9. – № 2(29). – С. 304-311. – DOI 10.21285/2227-2917-2019-2-304-311.
 33. ГОСТ 28708-2013. Средства малой механизации сельскохозяйственных работ. Требования безопасности.
 34. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Стандартиформ. М. 2014.
 35. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы. ГЭСН 81-02-01-2001. Сборник № 1. Земляные работы. – М.: Росстрой, 2008. – 253 с.
 36. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ.
 37. Грибкова И.С., Юрий А.В., Бедин Г.В., Низовских А.С., Москвина О.В. Обзор современных геодезических приборов для выполнения деформационного мониторинга // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2016. № 2. С. 91-94.

38. Григорьев Н.В. Применение технологии "jet grouting" в строительстве методом "стена в грунте" // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2017. – № 5. – С. 21-23.
39. Гура Т.А., Катрич А.Е, Барина Т.А., Сидеропуло Г.Р., Рогозин А.А. Использование данных НЛС для получения 3d моделей объектов культурного наследия и создания виртуальных туров. Кубанский государственный технологический университет, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2. Тип: статья в сборнике трудов конференции. Год издания: 2017. С. 22-26. УДК: 528. Студент года 2017: лучшая научная работа сборник статей международного научно-практического конкурса. 2017. Издательство: Наука и просвещение. Пенза. 23 июня 2017 года.
40. Данелян, Т. Я. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2015. – № 1. – С. 183-187. – EDN TQJPJL.
41. Демидова, Е. В. Опыт подземного строительства в городе Хельсинки / Е. В. Демидова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 1. – С. 9-14.
42. Денисова, Ю. В., Коренькова Г. В. К вопросу необходимости освоения подземного пространства городов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 11. – С. 99-103. – DOI 10.12737/22356.
43. Довольнов И.С. Анализ применимости методов подземного строительства гражданских и промышленных зданий // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2. – С. 50-57. – DOI 10.31660/2782-232X-2021-2-50-57.
44. Евстигнеев В. Д., Лapidус А. А. Особенности научно-технического сопровождения проектирования при строительстве заглубленных зданий и сооружений // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12(102). – С. 88-91.

45. Евстигнеев В.Д. Обоснование состава работ, выполняемых в рамках научно-технического сопровождения проектирования заглубленных зданий и сооружений : специальность 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евстигнеев Виктор Дмитриевич. – Москва, 2023. – 181 с.
46. Ершов М.Н., Ишин А. В., Олейник П. П. [и др.] Технологические и организационные аспекты реконструкции зданий // Технология и организация строительного производства. – 2014. – № 3. – С. 10-17.
47. Ефимов В.В. Обоснование рационального комплекта машин для земляных работ в условиях городской застройки: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 2.1.7 - Москва, 2022 – 114 с.
48. Жаркова, Ж. Н. Закономерности формирования инженерно - геологических условий на территории Г. Казани // Георесурсы. – 2006. – № 2(19). – С. 16-19.
49. Загорская, А. В., Лapidус А. А. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 21–34.
50. Заслонов В.Г. Исследование затрат рабочего времени: хронометраж. учебное пособие по практическим занятиям / В. Г. Заслонов. - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. – 38с.
51. Зигангирова Л. И., Галиев И. Х., Ибрагимов Р. А., Шакирзянов Ф. Р. Оптимизация технологических решений при устройстве подземного пространства существующих зданий // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 11. – С. 1528-1536. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.11.1528-1536.
52. Зильберова И. Ю., Маилян В. Д. Организационно-технологические факторы строительного производства, влияющие на основные параметры объектов капитального строительства // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 8. – С. 40.

53. Ибрагимов Р. А. Тяжелые бетоны с комплексной добавкой на основе эфиров поликарбоксилатов : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ибрагимов Руслан Абдирашитович. – Казань, 2011. – 184 с.
54. Ильичев В.А. Реконструкция большого театра с устройством пятиэтажного подземного пространства под ним // Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий: Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции: – М.: НИУ МГСУ, 2019. – С. 144.
55. Ильичев, В. А., Мангушев Р. А., Никифорова Н. С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания и фундаменты. – 2012. – № 2. – С. 17-20.
56. Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А. Совершенствование технологии бетонирования монолитных конструкций. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017.№ 1 (39). С. 250–256.
57. Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А., Мартынов М.М., Сунгатуллина А.Р. Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 24. С. 96–98.
58. Ишин А.В. Проблемы урбанизации, как предпосылка освоения подземного пространства городов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S6. – С. 113-118.
59. Каменев, А. А. Геодезический мониторинг технического состояния многофункционального комплекса в Москве с использованием автоматизированной системы наблюдений / А. А. Каменев, М. В. Максимова // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2019. – № 10-1. – С. 22-26.

60. Картозия, Б. А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1. – С. 615-630.
61. Киямов И.К., Мингазов Р.Х., Музафаров А.Ф., Ибрагимов Р.А., Сибгатуллин А.А. Технология лазерного сканирования в 3D проектировании // Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 7 (32). С. 41-43.
62. Ключникова О.В., Шаповалова А.Г., Цыбульская А.А. Основные принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 (27). – С. 25-27.
63. Козикова И.Н., Фоменко М.В., Ершова В.В. Особенности современной технологии подземного строительства "top-down" // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XVII Международной научно-технической конференции. – Рязань: Общество с ограниченной ответственностью "Рязаньпроект", 2019. – С. 253-254.
64. Козлов, П. Г., Федюк Р. С., Кудряшов С. Р. Многоэтажное подземное строительство // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием: Секции 1-5, Нерюнгри, 29–31 марта 2018 года. – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2018. – С. 40-43. – DOI 10.18411/a-2018-45.
65. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Анисимова Н.Г., Кожевникова И.А. Оценка инженерно-геологических условий при реконструкции большого театра в Москве // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 4. – С. 29-35. – DOI 10.31857/S0869780920040050.
66. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Анисимова Н.Г., Кожевникова И.А. Оценка инженерно-геологических условий при реконструкции большого театра в Москве // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология,

- геокриология. – 2020. – № 4. – С. 29-35. – DOI 10.31857/S0869780920040050.
67. Колчин В.Н. Специфика применения технологии трёхмерного сканирования в строительстве и проектировании // Инновации и инвестиции. – 2017. – № 12. – С. 252-257.
68. Конюхов Д.С. Использование подземного пространства. М.: Архитектура-С, 2004. – 296 с.
69. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.
70. Копосова А.Е., Латута В.В. Анализ существующих методов устройства подземного пространства под зданиями при их реконструкции // Colloquium-journal – 2020. – № 14-1(66). – С. 61-64. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-11898.
71. Копосова А.Е., Латута В.В. Освоение подземного пространства при реконструкции зданий в исторической застройке Санкт-Петербурга // Технология и организация строительства: Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры "Строительное производство". – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2020. – С. 209-213.
72. Король, О. А. Организационно-технологический механизм реализации энергосберегающих мероприятий при возведении объектов монолитного домостроения : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Король Олег Андреевич, 2016. – 163 с.
73. Кочерженко В. В., Сулейманова Л. А Совершенствование технологии возведения монолитных буронабивных железобетонных свай-оболочек // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 104-107. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_104.

74. Кошар А., Айзидоржек П., Жоли Ч. Использование дистанционно управляемой техники во Франции // Безопасность окружающей среды. - 2009. - № 1 - С.72-75.
75. Кравцова О.А. Внедрение робототехники в строительстве // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства. - 2021. – С. 216-219.
76. Крутиков Д., Барабанщикова Н. Моделирует лазерный сканер // ТехНАДЗОР. № 3(40). 2010. С. 70-71.
77. Кузнецова А.А., Гура Д.А., Алкачев Т.Э. Анализ полученных данных методом лазерного сканирования для выполнения периодического мониторинга на примере здания расположенного в г. Краснодаре // Статья в журнале: Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2014. № 4. С. 77-83.
78. Кузнецова Е.В., Шальнева А.М. Липатова Устройство стен подземной парковки методом «стена в грунте» // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы IX Национальной конференции с международным участием. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2019. – С. 175-178.
79. Кузьмина И.Р., Абрамов Р.Ю. Изучение, охрана, реставрация и использование памятников истории и архитектуры в Республике Татарстан. Информационный сборник. Вып. 9, 10. Список объектов культурного наследия (памятников истории и культуры). Историко-культурные территории. Исторические поселения. – Казань: Фолиант, 2013. – 310 с.
80. Лебедев И.О., Кириллов А.И., Чугунов А.С. Технология "top down" – современное технологическое решение в строительстве // Вестник Студенческого научного общества. – 2018. – Т. 9. – № 2. – С. 142-144.
81. Лебедев И.О., Нагманова А.Н. Технология "top-down" эффективный способ развития современных городов // Молодые ученые - развитию

- Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2021. – № 1. – С. 209-210.
82. Левченко А. Н. Обоснование методологии и разработка инновационных технических решений освоения подземного пространства мегаполисов : специальность 25.00.22 "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Левченко Александр Николаевич. – Москва, 2009. – 318 с.
83. Лернер В.Г., Петренко Е. В., Петренко И. Е. Освоение подземного пространства больших городов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 9. – С. 157-160.
84. Лукманова И.Г. Методы нормирования и анализа затрат рабочего времени в строительстве: Учеб. пособие. - Москва: МИСИ, 1988. - 74 с.
85. Маковецкий, О. А. Развитие подземного пространства при реконструкции объектов культурного наследия / О. А. Маковецкий, С. С. Рубцова // Строительство: новые технологии - новое оборудование. – 2020. – № 9. – С. 34-40.
86. Мамонтов И.А., Скрыпник М.Э., Рыбалкина А.В. Современная технология подземного строительства «top-down» // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции в 2 частях. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – С. 129-131.
87. Мариничев М.Б., Ткачев И.Г. Метод «top-down» при строительстве заглубленных частей высотных зданий в сложных грунтовых условиях // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения: Сборник тезисов по материалам IV Национальной конференции. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 36.

88. МДС 81-36.2004 Указания по применению федеральных единичных расценок на строительные и специальные строительные работы (ФЕР-2001)
89. Международная хартия по консервации и реставрации памятников и достопримечательных мест (Венецианская хартия) от 31 мая 1964 года.
90. Мирсаяпов И. Т., Хасанов Р. Р., Сафин Д. Р. Геотехнический мониторинг здания при реконструкции памятника истории и архитектуры // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4(38). – С. 270-276.
91. МРДС 02 08. ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных.
92. Муллоджанова Г.М., Исаков Э.Х. "Особенности геодезических методов мониторинга памятников архитектуры" Экономика и социум. – 2022. – № 6-2 (97). – С. 597-602.
93. Муртазин А.Р., Ломакин А.Г. Возведение подземных сооружений по технологии top-down // Устойчивое развитие науки и образования. – 2018. – № 5. – С. 194-196.
94. Муртазин А.Р., Шальнева М.Е., Брусникин Ю С. Технология возведения подземной части здания способом "стена в грунте" // Новое слово в науке: стратегии развития: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары: ООО "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2018. – С. 183-185.
95. Мурузина Е.В., Галиуллина Д.Р., Молодцова М.А. Подбор оптимальных удерживающих систем фундамента глубокого заложения, возведенного методом "стена в грунте", в условиях городской застройки // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2021. – № 3(89). – С. 40-50.
96. Мустакимов В.Р. Реновация с передвижкой зданий // Евразийское Научное Объединение. – 2019. – № 3-1(49). – С. 35-45. – DOI 10.5281.

97. Мухамбетжан З. Е., Мухаметзянов З. Р. Анализ особенностей разработки организационно-технических решений при строительстве промышленных объектов // Экономика строительства. – 2022. – № 2(74). – С. 90-98.
98. Мухаметзянов З. Р. Построение адаптивных структур управления строительными предприятиями : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства", 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в том числе: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мухаметзянов Зинур Ришатович. – Уфа, 2002. – 170 с.
99. Мухаметзянов З. Р. Развитие методологии и теории разработки организационно-технологических решений по строительству отраслевых комплексов : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мухаметзянов Зинур Ришатович, 2021. – 293 с.
100. Мухаметзянов З. Р., Олейник П. П. Условия достижения устойчивости организационно-технологических решений при строительстве объектов // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 10. – С. 95-100. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.10.95-100.
101. Н. Н. Бычков, И. Я. Дорман, С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, В. Е. Меркин, М. А. Мутушев, д-ра техн. наук, Тоннельная ассоциация России. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений, как фактор обеспечения единой научно-технической политики. Метро и тоннели. 2015. С. 18-19. eLIBRARY ID: 23850651.

102. Низамова А.Ш. Организация и техническое нормирование в строительстве: Учебное пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015.– 166 с.
103. Новикова С.А., Тишков Н.Л. Особенности проектирования стен в грунте в условиях стеснённой застройки // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2019. – № 1-1. – С. 136-138.
104. Олейник П.П. Эффективные технологии восстановления конструкций Большого театра в Москве. Промышленное и гражданское строительство. 2008. С. 9-10. eLIBRARY ID: 10023346.
105. Олейник П.П., Мааруф А.Г. Эффективность способа "сверху вниз" при возведении монолитных зданий // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 53-60. – DOI 10.54950/26585340_2020_3_53.
106. Олейник П. П., Бродский В.И. Методы определения продолжительности строительства объектов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 30-32.
107. Олейник П. П., Бродский В.И. Основные требования к составу и содержанию проекта производства работ // Технология и организация строительного производства. 2013. № 3 (4). С. 35-38.
108. Орлов, А. И. Основы теории принятия решений: Учебное пособие – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 66 с. – ISBN 978-5-4497-1423-7. – EDN NBLOZE.
109. Осипенкова И. Г. Теоретические и практические аспекты разработки организационно-технологических решений в современных условиях // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3(99). – С. 436-444.
110. Патент 2225916 Рос. Федерации Фундамент реконструируемого здания / Корнилов В.Г.; заявл. 23.05.2002; опубл. 20.03.2004. – 6 с.
111. Патент 34946 Рос. Федерации Подземное сооружение реконструированного здания / Городецкий Д.А.; заявл. 19.09.2003; опубл. 20.12.2003. – 6 с.

112. Патент № 2350718 С1 Российская Федерация, МПК E04B 1/38. Способ соединения железобетонных элементов : № 2007128521/03 : заявл. 24.07.2007 : опубл. 27.03.2009 / В. С. Нигматуллин, И. Х. Галиев ; заявитель ФГОУ ВПО Казанский государственный архитектурно-строительный университет.
113. Патент № 2431718 С1 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".
114. Патент на полезную модель № 210087 U1 Российская Федерация, МПК G01C 15/02. Геодезическая марка : № 2021125676 : заявл. 31.08.2021 : опубл. 28.03.2022 / И. Х. Галиев, Р. А. Ибрагимов, Л. И. Зигангирова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».
115. Поддубный В. В. Обоснование инженерных решений по эффективному освоению подземного пространства крупнейших и крупных городов : специальность 25.00.22 "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Поддубный Владимир Владимирович. – Екатеринбург, 2008. – 183 с.
116. Пономарев А.Б., Винников Ю.Л. Подземное строительство. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. унта, 2014 – 262 с.
117. Пономарев М.В. Правовые проблемы освоения и использования подземного пространства в условиях пространственного развития городских агломераций // Журнал российского права. 2020. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-problemy-osvoeniya-i-ispolzovaniya->

- podzemnogo-prostranstva-v-usloviyah-prostranstvennogo-razvitiya-gorodskih-aglomeratsiy (дата обращения: 02.04.2021).
118. Посвятенко Ю.В. К вопросу о последней реконструкции большого театра // Научное обозрение. – 2015. – № 16. – С. 104-107.
 119. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 27 декабря 2013 г. N 1071 "Об утверждении республиканских нормативов градостроительного проектирования Республики Татарстан» (с изменениями и дополнениями)
 120. Постановление правительства Москвы. № 412-ПП О Концепции освоения подземного пространства и основных направлениях развития подземной урбанизации города Москвы.
 121. Правила землепользования и застройки г. Казани (Решение Казанской городской думы от 16.08.2021 № 5-8).
 122. Протопопова Д.А., Коршиков В.В. Технология возведения фундамента методом "стена в грунте" // Academy. – 2017. – № 5(20). – С. 109-112.
 123. Разумнова, Е. А. Анализ современных организационно-технологических решений, применяемых при возведении подземной части объектов высотного строительства // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 4. – С. 298-302.
 124. РД 34.21.322-94. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций
 125. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. Утв. директором ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко 28.07.1987 г. М. 1988.
 126. Решение Казанской городской Думы от 14.12.2016 № 2-12 «О Стратегии социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года».
 127. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. М. – 2004.

128. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
129. Савинов А.В. Освоение подземного пространства при реконструкции Саратовской областной филармонии им. А. Шнитке // Вестник ПНИПУ. 2014. № 3. С. 217-230.
130. Сафина Г. Р. Изучение искусственных подземных сооружений г. Казани в курсе «Геоурбанистика» // Спелеология и спелестология: сборник материалов конференции. 2010. № 1. С. 343-345.
131. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661979 Российская Федерация. Модуль анализа перемещений зданий и сооружений по результатам НЛС : № 2019660734 : заявл. 28.08.2019 : опубл. 12.09.2019 / Т. И. Кузнецов, А. И. Барышев, А. А. Захаров, С. Н. Чужинов ; заявитель Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть - Восток» (ООО «Транснефть - Восток»).
132. Середович В.А., Иванов А.В. Исследования точности измерений, выполненных наземным лазерным сканером // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т.1. № 3. 2013. С. 134-143.
133. Середович В.А., Середович А.В. Особенности, проблемы и перспективы применения НЛС. журнал: "Гео-Сибирь". Учредители: Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГГА), Новосибирск. Тип: статья в журнале - материалы конференции Том: 1. Номер: 2. Год: 2011. С. 223-224. УДК: 528.
134. Синенко С.А., Сапожников В.Н., Палевский А.С. Основания автоматизированного проектирования организации строительства высотных зданий (на примере возведения 70-этажного комплекса ММДЦ "Москва-Сити"). Вестник МГСУ. 2008. С 374-379.

135. Смирнова, Н. В. Технология устройства инъекционной гидроизоляции из минеральных компонентов для эксплуатируемых зданий : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Смирнова Надежда Витальевна, 2021. – 151 с.
136. Смолянок А.М. Технология "стена в грунте" в условиях плотной городской застройки // Символ науки: международный научный журнал. – 2020. – № 10. – С. 26-28.
137. Сомов В.А., Маношкина Г.В. Декельный метод возведения высотных зданий // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XV межвузовской научно-технической конференции. – Рязань: ООО «Рязаньпроект», 2017. – С. 71-73.
138. СП 126.13330.2017 Геодезические работы в строительстве.
139. СП 13-102-2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
140. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений.
141. СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве».
142. СП 325.1325800.2017 «Правила производства работ при демонтаже и утилизации».
143. СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*" (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 N 820)
144. СТО НОСТРОЙ 2.33.14-2011 Организация строительного производства. Общие положения. М.: Издательство «БСТ», 2012. — 73 с.
145. Сук В.В. Возведение гражданских зданий по полужакрытой технологии // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 5(56). – С. 38.
146. Сулейманова Л.А., Кочерженко В.В., Погорелова И.А. Методика расчета продолжительности погружения опускных колодцев с учетом надежности

- технологических элементов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2017. № 10. – С. 69-72.
147. Сулейманова Л. А., J. Fang, Ширина Н. В. [и др.] Современные материалы и технологии отделки фасадов при реконструкции и реновации жилого фонда // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 11. – С. 21-31. – DOI 10.12737/article_5bf7e3542a4322.47630749.
148. Тарунов А.М. Объекты культурного наследия Республики Татарстан. Том 1. Г. Казань. Научное издание. – М. НИИЦентр, 2019. – 1000 с., ил.
149. Тихвинский В.О. Экспертно-квалиметрический подход к обоснованию выбора инноваций и поставщиков оборудования в сфере инфокоммуникаций // Вестник РАЕН, 2009. - № 3, с. 58-64.
150. Ткаченко С.Б. Концепции застройки Зарядья: от гостиницы до парка // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9. – № 1(28). – С. 196-213.
151. Топчий Д.В., Кочурина Е.О., Залманов А.А. Технология "Top and down" // Технология и организация строительного производства. – 2016. – № 1. – С. 7-10.
152. Трекер Radian PRO. URL: <https://nevatec.ru/equipment/radian.html> (дата обращения: 01.03.2021).
153. Тур В.Н., Жигирь А.А. Исследование технологии «top-down» для устройства подземной части зданий, применительно к центральному району Санкт-Петербурга // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – С. 360-362.
154. Улесикова Е.С. Строительные машины и средства малой механизации. // Wordscience: problemsandinnovation: Сборник статей XXX Международной

- научно-практической конференции. – Пенза: «Наука и Просвещение», 2019. – С. 74-76.
155. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Опыт реконструкции и реставрации исторических зданий в условиях современного города. 2019. <https://vk.com/@ecgoroda-opyt-rekonstrukcii-i-restavracii-istoricheskikh-zdaniiv-uslo> – дата обращения 10.10.2020.
156. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Устройство подземного объема второй сцены Мариинского театра в условиях слабых глинистых грунтов // Жилищное строительство –2011. – № 10. – С.24-31.
157. Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации"
158. Харисов А. Р., Коклюгина Л. А., Коклюгин А. В. Исследование существующих методов определения надежности строительства промышленных объектов // Известия КазГАСУ. 2012. № 1 (19). – С. 134-139.
159. Хафизов Т. М., Байбурин А. Х. Инновационный способ строительства подземного многоэтажного сооружения // Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур Safety2020: Сборник статей VI Международной конференции. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. – С. 296-303.
160. Хачатрян В.А. Проектирование и освоение подземного пространства под зданиями в окружении существующей застройки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 6-1. – С. 112-115.
161. Цариченко С.Г., Гойдин О.П., Голь С.А. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных и ремонтно-восстановительных работ на объектах атомной отрасли // Экстремальная робототехника. - 2020. - № 1 – с. 295-301.

162. Чубуков М.А. Саркофаг гостиницы "Россия": к вопросу о восприятии горожанами пространства "Зарядья" // Городские исследования и практики. – 2017. – Т. 2. – № 4(9). – С. 78-84. – DOI 10.17323/usp24201778-84.
163. Шадрина А.А., Барышников А.А., Горелов С.А., Никонова И.О. Технология передвижки зданий // Региональное развитие. – 2015. – № 3. – С. 15.
164. Шаповалова В.А, Переверзева В.Ю., Окунева А.Ю. Подземные автопарковки // Наука и инновации в строительстве: (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов международной научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 347-353.
165. Шашкин А.Г. Развитие подземного пространства для сохранения исторического мегаполиса // Геотехника. 2018. № 4. С. 8-20.
166. Шашкин А.Г. Устройство подземного объема под историческим зданием Каменноостровского театра // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сборник трудов научно-технической конференции / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб. 2010. С. 135-138.
167. Шевченко И.С., Лapidус А.А. Разработка программы проведения научно-технического сопровождения строительства зданий с заглублением подземной части более чем на 15 метров // Вестник Евразийской науки, 2020 № 2, <https://esj.today/PDF/12SAVN220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
168. Шилин А.А., Сенянский М.В., Кириленко А.М., Годзиковский В.А., Бауков А.Ю., Павлов С.В. Мониторинг состояния несущих стен подземной части ГАБТ России в процессе переопирания здания с временных свай на основные железобетонные стены // <https://www.tenso-m.ru/publications/271/>. Дата обращения 19.05.2019.

169. Шинкевич В. А. Опыт возведения 2-х этажного подземного паркинга апартаментов "Грани" методом "top-down" // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – № 4(5). – С. 296-307.
170. Шинкевич В.А., Чемоданов М.А. Возведение подземного паркинга методом «TOP-DOWN» // Актуальные проблемы естественных и технических наук: Сборник статей межвузовской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – С. 286-294.
171. Шинкевич В.А., Яриз В.В., Михеев А.И. Опыт возведения 2-х этажного подземного паркинга апартаментов "Грани" методом "top-down" // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – № 4(5). – С. 296-307.
172. Шубина Т. Ю. Усиление подземной части здания с помощью технологии jet-grouting // Молодой ученый. – 2021. – № 46(388). – С. 19-24.
173. Шугаева, Е. А., Баяндурова А. А. Актуальность применения методов перемещения зданий в условиях современных мегаполисов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : Материалы V Всероссийской конференции (с международным участием), Москва, 24–25 декабря 2020 года / Под общей редакцией Т.В. Шепитько. – Москва: Издательство "Перо", 2020. – С. 83-84. – EDN VLBEKV.
174. Юдина И. М., Щербань Д. С., Трошкина А. Р. Экспериментальные данные по разуплотнению грунтов основания опытного котлована во времени // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 3(63). – С. 20.
175. Юферева К.А. Особенности возникновения дефектов в конструкциях зданий, возведенных с использованием технологии "top-down" на примере объектов метрополитена // E-Scio. – 2020. – № 10(49). – С. 629-634.
176. Язев Я.Е., Петренева О.В. Освоение подземного пространства под реконструируемым зданием. Анализ публикаций и патентные

- исследования // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – Т. 2. – С. 330-343.
177. Ярмош Т.С., Храбатина Н. В. Освоение подземного пространства больших городов // Научно-технические технологии и инновации: Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 273-279.
178. Acemoglu, Daron, and Pascual Restrepo. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. // American Economic Review - 2018. - 108 (6). - 1488-1542. DOI: 10.1257/aer.20160696.
179. Anastasia Abramova The choice of methods for modeling organizational and technological solutions in the construction of buildings and structures // E3S Web Conf. 258 09063. 2021. // DOI: 10.1051/e3sconf/202125809063.
180. Bobylev N. Underground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface // Tunnelling and Underground Space Technology. -2016.-Vol. 55. - pp 40-51.
181. Chebanova S. A., Polyakov V. G., Azarov A. V. Designing of organizational and technological solutions for construction in constrained urban environments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk, 25–27 сентября 2019 года. – Chelyabinsk, 2019. – P. 044004. – DOI 10.1088/1757-899X/687/4/044004.
182. FARO Focus S150. URL: [http:// www.faro.com.ru](http://www.faro.com.ru) (дата обращения: 01.03.2021).
183. Galiev I., Ibragimov R., Ashrapov A., Radaykin O. Technology for reinforcing strip foundations of reconstructed brick buildings based on computer modeling // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012140. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012140.

184. Galiev Ilyas, Ibragimov Ruslan, Zigangirova Leysan, Akhmadulina Nelly Technological aspects in the development of underground space // AIP Conference Proceedings. 2022. – 2559. – P. 030002. – DOI : 10.1063/5.0099356.
185. H. Feng Robotic excavator trajectory control using an improved GA based PID controller // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2018. -105. – P. 153–168.
186. <https://micaarchitects.com/stories/big-digs>. Дата обращения 14.09.2021.
187. <https://praeterengineering.co.uk/portfolio/edinburgh-st-james>. Дата обращения 11.05.2021.
188. <https://realty.rbc.ru/news/577d08a69a7947e548ea42e5>. Дата обращения 12.04.2019 г.
189. <https://torontoist.com/2014/01/spotted-the-john-irwin-house-mid-air/>. Дата обращения 11.05.2021.
190. <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/razvitiye-podzemnogo-prostranstva-gorodov/>. Дата обращения 16.09.2020.
191. <https://veja.abril.com.br/brasil/capela-suspensa-santa-luzia-hospital-matarazzo-umberto-i/amp/>. Дата обращения 10.04.2022.
192. <https://visasam.ru/emigration/vybor/urbanizaciya-stran-mira.html>. Дата обращения 22.03.2023 г.
193. <https://www.davisconstruction.com/all-projects/655-new-york-avenue>. Дата обращения 16.10.2021.
194. <https://www.legco.gov.hk/research-publications/english/1920in05-planning-and-development-of-underground-space-in-selected-places-20200306-e.pdf>. Дата обращения 16.10.2021.
195. <https://www.sokkia.ru/products/optical-instruments/reflectorlessprism/fx-advanced-total-station-series> (дата обращения: 01.03.2021).
196. Jamsawang P., Voottipruex P., Tanseng P., Jongpradist P., Bergado D.T. Effectiveness of deep cement mixing walls with top-down construction for deep

- excavations in soft clay: case study and 3D simulation // *Acta Geotechnica*. 2019. 14(1). Pp. 225–246.
197. Kadyrov A.S., Zhunusbekova Zh. Zh., Ganyukov A.A. Study and calculation of earth-moving machines for the construction by "wall in the ground" method // *Material and Mechanical Engineering Technology*. – 2021. – Vol. 1. – No 1. – P. 3-8. – DOI 10.52209/2706-977X_2021_1_3.
198. Kasiyanov V., Chernysheva O. Ecological Construction and Reconstruction of Underground Space of Cities // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vladivostok, Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032050.
199. Kocherzhenko V., Suleymanova L. Methods for the construction of lowered structures and pile foundations // *E3S Web of Conferences*, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. – Chelyabinsk, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809036.
200. Li H., Parriaux A. et al The way to plan a viable Deep City: from economic and institutional aspects // *The Joint HKIE-HKIP Conference on Planning and Development of Underground Space*. The Hong Kong Institution of Engineers & The Hong Kong Institution of Planners. Hong Kong. 2011. Pp. 53-60.
201. Li M., Chen J.-J., Xu A.-J., Xia X.-H. Case Study of Innovative Top-Down Construction Method with Channel-Type Excavation // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2014. – № 140. – P. 1–10.
202. Nelson P.P. A framework for the future of urban underground engineering // *Tunnelling and Underground Space Technology*. -2016. -Vol. 55. - pp 32-39.
203. Oleynik Pavel Method of complex organizational and technological designing underground structures and services // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 698. 2019. – P. 066054. – DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066054.
204. Parriaux A., Blunier P., Maire P., Tacher L. The DEEP CITY Project: A Global Concept for a Sustainable Urban Underground Management // *11th ACUUS International Conference, Underground Space: Expanding the Frontiers*, 10-13 september. 2007. Pp. 255-260.

205. Patent CN102182325B (Southeast University) 22.08.2012, весь документ.
206. Patent CN110886507A (Beijing Zhongyan Zhibo Technology Co Ltd) 17.03.2020, весь документ.
207. Peng Feng, Yichong Zou, Lili Hu, Tian Qiao Liu. Use of 3D laser scanning on evaluating reduction of initial geometric imperfection of steel column with pre-stressed CFRP // *Engineering Structures*. Vol. 198 (1). 2019. 109527. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109527.
208. Per T., Robert S. Development of the use of underground space in Sweden// Per Tengborg, Robert Sturk *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2016. - pp. 339–340.
209. Shalenny V.T. Resource saving pile columns and slabs in top-down technology // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2020. – No 6(91). – P. 9105.
210. Soo-Yeon Seo, Byunghee Lee and Jongsung Won. Constructability Analyses of Vertical Extension Methods for Existing Underground Spaces. *Sustainability* 2021, 13, 3647. DOI: 10.3390/su13073647.
211. Takayuki K. Utilization of underground space in Japan //Takayuki *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2016. - pp. 320–323.
212. Tan Y., Huang R., Kang Z., Bin W. Covered Semi-Top-Down Excavation of Subway Station Surrounded by Closely Spaced Buildings in Downtown Shanghai: Building Response // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. -2016. 30(6).
213. Tanubrata M., Pranoto H. Implementation of the Excavation with Bottom-Up Method Compared with A Top-Down System– Indonesia: ITP PRESS. – 2016. –P. 617–623.
214. Vähäaho L. An introduction to the development for urban underground space in Helsinki // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2016. - pp. 324–328.
215. Wallace M. Development and application of underground space use in Hong Kong / M.I. Wallace, K.C. Ng // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2016. - pp. 257–279.

216. Wang W. D., Xu Z. H. Design and construction of deep excavations in Shanghai // *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*. – London: Taylor and Francis Group, 2012. – P. 667–683.
217. Wong J.Y., Yip C.C., Mugumya K.L., Tan B.H., Anwar M.P. Effectiveness of top-down construction method in Malaysia // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. 8(6 Special Issue 4). Pp. 386–392.
218. Zharov Y. Organizational-technological decisions in construction based on neural network models // *MATEC Web Conf.* 251 05002 (2018)/ – DOI: 10.1051/mateconf/201825105002.
219. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программа мониторинга

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научно-
исследовательской деятельности
КГАСУ

УТВЕРЖДАЮ
Директор
ООО «КазИнжПроект»

« _____ Е.А. Вдовин _____ 20__ г. _____ Р.П. Тризна _____ 20__ г.






Программа геодезического мониторинга

на объекте

«Научно-исследовательский и учебный центр в г. Альметьевск.
«Учебно-лабораторный корпус «ТатНИПИнефть»»

Казань 2022г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

<i>Ф.И.О</i>	<i>Подпись</i>	<i>Должность</i>
1. Гиздатуллин А.Р.		Главный инженер
2. Галиев И.Х.		Ассистент кафедры ТСП КГАСУ
3. Ибрагимов Р.А.		Зав. кафедрой ТСП КГАСУ

Содержание

1. Область применения
 2. Термины и определения
 3. Обозначения и сокращения
 4. Общие сведения и конструктивные характеристики здания
 5. Очередность выполнения работ
 6. Средства мониторинга
 - 6.1. Грунтовые реперы
 - 6.1.1. Требования к организации сети грунтовых реперов
 - 6.1.2. Размещение грунтовых реперов
 - 6.1.3 Изготовление и установка грунтовых реперов
 - 6.2 Деформационные марки и реперы на зданиях
 7. Обследование здания
 - 7.1 Визуальное обследование здания
 - 7.2 Инструментальные измерения
 - 7.2.1 Инструментальные измерения с применением тахеометра
 - 7.2.2 Инструментальные измерения с применением приборов НЛС
 - 7.2.3 Инструментальные измерения с применением лазерного трекера
 8. Оформление, обработка и хранение результатов измерений
- Приложение 1 Форма журнала замеров вертикального перемещения ДМ фундаментов

1. Область применения

Документ устанавливает требования к порядку планирования, подготовки, организации и проведению работ по геодезическому мониторингу строительных конструкций здания «Научно-исследовательский и учебный центр в г. Альметьевск РТ. «Учебно-лабораторный корпус «ТатНИПИнефть» в процессе строительства и в момент завершения строительно-монтажных работ.

2. Термины и определения

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

вертикальные перемещения основания фундамента: осадки, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственной массы грунта; просадки, происходящие в результате уплотнения под воздействием как внешних нагрузок и собственной массы грунта, так и дополнительно с ними действующих факторов (замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т.п.); набухания и усадки, связанные с изменением объема некоторых видов глинистых грунтов при изменении их влажности, температуры (морозное пучение) или воздействии химических веществ (по ГОСТ 24846).

грунтовый репер: нивелирный репер, основание которого устанавливается ниже глубины промерзания, оттаивания или перемещения грунта, служащий в качестве высотной геодезической основы при создании (развитии) геодезических сетей.

деформационная марка: геодезический знак, жестко укрепленный на конструкции здания или сооружения (фундаменте, колонне, стене), меняющий свое положение вследствие осадки, просадки, подъема, сдвига или крена фундамента (по ГОСТ 24846).

крен: деформация, происходящая в результате неравномерной осадки, просадки, подъема и т.п. и характеризующаяся разностью вертикальных перемещений точек, отнесенной к расстоянию между ними (по ГОСТ 24846).

опорная геодезическая сеть: геодезическая сеть заданного класса (разряда) точности, создаваемая в процессе инженерных изысканий и служащая геодезической основой для обоснования проектной подготовки строительства, выполнения топографических съемок, аналитических определений положения точек местности и сооружений, для планировки местности, создания разбивочной основы для строительства, обеспечения других видов изысканий, а также выполнения стационарных геодезических работ и исследований (по СП 11-104-97, часть I).

основание сооружения: часть массива грунта, воспринимающая нагрузку от сооружения (по СП 50-101-2004).

высотное положение: совокупность высотных координат точек объектов в выбранной системе координат.

подрядная организация: организация, выполняющая работы по наблюдению, фиксации, обработке и хранению результатов мониторинга зданий и сооружений.

строительная подрядная организация: организация, выполняющая строительные-монтажные работы.

фундамент сооружения: часть сооружения, которая служит для передачи нагрузки от сооружения на основание (по СП 50-101-2004).

3. Обозначения и сокращения

В настоящем документе применены следующие обозначения и сокращения:

ДМ - деформационная марка;

ВП - высотное положение;

ОГС - опорная геодезическая сеть.

4. Общие сведения и конструктивные характеристики здания

Здания «Учебно-лабораторного корпуса» расположено по адресу: Республика Татарстан, город Альметьевск, ул. Советская.

Описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта капитального строительства, его пространственной, планировочной и функциональной организации.

Проектная документация разработана для строительства объекта Научно-исследовательский и учебный центр в г. Альметьевск. 10 этап. Учебно-лабораторный и офисный корпус, по адресу: Республика Татарстан, Альметьевский муниципальный район, г. Альметьевск, ул. Советская Проектируемое здание предусмотрено для размещения образовательной организации высшего образования - Альметьевского государственного нефтяного института (АГНИ), а также блока офисов научных сотрудников Татарского научно-исследовательского и проектного института (ТатНИПИнефть).

Здание сложной конфигурации в плане в форме двух зеркально расположенных букв L, повернутых под углом 50° относительно друг друга, с габаритными размерами в осях 124,8м в ориентации север-юг на 106,2м в ориентации запад-восток. В центре здания располагается атриумное пространство с двумя открытыми лестницами. Места сопряжения L-образных объёмов обозначены амфитеатром с северной стороны и волнообразной витражной стеной с южной.

Объект состоит из 4-х блоков:

- 1 блок в осях 4-24/А-П;
- 2 блок в осях 2-10/П-Я;
- 3 блок в осях 1'-11'/Б'-К';
- 4 блок в осях 6'-18'/Б'-Т'.

8-и этажное здание с количеством этажей: 7 надземных этажей, 1 подземный этаж. Количество этажей в здании переменное, под вторым блоком находится подземный технический этаж на отм. -2.850 расположенный смежно с техническим подпольем под остальными блоками на отм. 2.350. Также запроектирован технический чердак на отм. +28.800.

В уровне 2-го этажа на отм. +4,200 с северной и северо-западной сторон к зданию примыкают два надземных перехода, соединяющих проектируемый корпус с зданием общежития и зданием лабораторного корпуса. За относительную отметку ± 0.000 принята отметка чистого пола первого этажа, соответствующая абсолютной отметке +103,250. Высотная отметка по парапету кровли составляет: +33.790.

Максимальная высотная отметка по верху парапета надстроек для выхода на кровлю +34.900. Высота этажей от уровня чистого пола до низа перекрытия:

- Высота подземного технического этажа составляет 2,3 м, высота технического подполья – 1,8м;
- Высота первого этажа составляет - 3,75 м;
- Высота второго этажа составляет - 4,95 м;
- Высота этажей с третьего по шестой составляет - 4,35 м,
- Высота технических помещений на седьмом этаже составляет – 2,8 м, высота технического чердака – 1,8 м.

Конструктивная схема здания – монолитно-каркасная. Материал несущих конструкций – железобетон.

Здание предусматривается не ниже I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С0. Класс функциональной пожарной опасности здания – Ф4.2.

Технико-экономические показатели:

Общая площадь 33879.0 кв.м.

Полезная площадь 29533.6 кв.м.

Расчетная площадь 21575.3 кв.м.

Площадь помещений 30959.0 кв.м.

Строительный объем 203801.4 куб.м., в том числе:

- выше отметки +0.00 190042.6 куб.м;

- ниже отметки +0.000 13758.8 куб.м;

Площадь застройки 8768.6 кв.м.

Этажность 7 эт.

Количество этажей 8, в том числе:

- надземных 7 эт;

- подземный 1 эт.

В части конструктивных решений

Уровень ответственности здания – нормальный, класс сооружения – КС-2 ГОСТ 27751.

Здание запроектировано из 4-х частей (блоков 1-4) и 2-х переходов. Проектом предусмотрено разделение здания деформационным швом.

Конструктивная система здания – монолитная, состоящая из железобетонных колонн, перекрытий, стен, лифтовых шахт и лестничных клеток.

Пространственная устойчивость каркаса обеспечивается совместной работой монолитных железобетонных перекрытий, жестко соединенных в местах сопряжения с монолитными стенами и колоннами, жестко заделанными в фундамент.

Радиус зоны влияния проектируемого здания, согласно п. 9.36 СП 22.13330.2016 составляет 24 м. Существующие здания и сооружения не попадают в зону влияния.

Несущие элементы каркаса блоков запроектированы из бетона класса В25 F75 W2 ГОСТ 26633 (кроме оговоренных), переходов – из бетона класса В25 F150 W6 ГОСТ 26633; армирование предусмотрено отдельными стержнями из арматуры класса А500С, А240 по ГОСТ 34028.

Фундаменты – свайные:

- в 1, 3 и 4 блоках с монолитными железобетонными ленточными ростверками под стены, и столбчатыми ростверками под колонны и пилоны;

- во 2 блоке с монолитными железобетонными ленточными, столбчатыми ростверками, объединенными обвязочной плитой;

- в переходах с монолитными железобетонными столбчатыми ростверками под колонны.

Сваи:

- в 1, 3 и 4 блоках – железобетонные марки С90.35-10У по ГОСТ 19804 (бетон В25 F150 W6 ГОСТ 26633);

- во 2 блоке – железобетонные марки С120.35-10У по ГОСТ 19804 (бетон В25 F150 W6 ГОСТ 26633);

- в переходах – в несъемной опалубке из трубы диаметром 325×8 ГОСТ 32931, заполнение полости труб бетоном В25 F150 W6 ГОСТ 26633 с армированием пространственным каркасом из арматуры класса А500, А240 ГОСТ 34028;

- в блоках допустимая нагрузка на сваю – 800 кН при несущей способности сваи по грунту – 1000 кН; в переходах допустимая нагрузка на сваю – 450 кН при несущей способности сваи по грунту – 630 кН.

Расположение свай – кустовое; однорядное.

Основание свайного фундамента (под острием свай) глина твердая, полутвёрдая (ИГЭ 9); песок гравелистый водонасыщенный (ИГЭ 5г).

Ростверки запроектированы из бетона В25 F150 W6, армирование вязаными каркасами из арматуры класса А500С по ГОСТ 34028:

- в 1, 3 и 4 блоках – монолитные железобетонные ленточные высотой 600 мм под стены и отдельно стоящие высотой 800 мм под колонны;

- во 2 блоке – монолитные железобетонные ленточные высотой 600 мм под стены и отдельно стоящие высотой 800 мм под колонны объединены обвязочной (фундаментной) плитой толщиной 300 мм;

- в переходах – монолитные железобетонные отдельно стоящие высотой 1000 мм под колонны;

- из обвязочной (фундаментной) плиты и ростверков предусмотрены арматурные выпуски в тело колонн и стен длиной не менее 50d.

Под ростверками предусмотрена подготовка из бетона класса В7,5 толщиной 100 мм. Сопряжение свай с ростверками принято с заведением сваи в тело ростверка на 50 мм и арматуры на 250 мм. Защитный слой бетона не менее 40 мм.

Связь фундаментов с монолитными колоннами и стенами – за счет выпусков стержней класса А500С по ГОСТ 34028 длиной не менее 50d.

Обвязочная (фундаментная) плита – монолитная, железобетонная, толщиной 300 мм из бетона В25 F150 W6 по ГОСТ 26633. Армирование плиты – у верхней и нижней грани вязаными сетками из арматурных стержней класса А500С.

Колонны – монолитные железобетонные сечением 600×600 мм, 800×800 мм; круглого сечения диаметрами 600 мм, 800 мм и 1000 мм; сечением 250×700 мм и круглого сечения диаметром 700 мм (переходы).

Пилоны – монолитные железобетонные прямоугольного и Г-образного сечения.

Армирование колонн и пилонов предусмотрено продольной симметричной арматурой, расположенной по контуру поперечного сечения, и поперечной арматурой (хомутами) с шагом 200 мм по высоте колонны, охватывающей все продольные стержни.

Перекрытия и покрытие – монолитные железобетонные, толщиной 200 мм, 250 мм; 500 мм (с капителями толщиной 250 мм), с контурными и пролетными балками. Армирование: основное – у нижней и верхней грани плиты с шагом 200 мм в двух направлениях; дополнительное – в местах, определенных расчетом (наибольших усилий), вокруг отверстий. Армирование балок – продольной рабочей арматурой и поперечной (хомутами) с шагом 100 мм, 150 мм, 200 мм по длине балки.

Трибуны (амфитеатр):

- стены – монолитные железобетонные толщиной 250 мм;
- балки – монолитные железобетонные, армирование – продольной рабочей арматурой и поперечной (хомутами) с шагом 200 мм по длине балки;
- ступени – монолитные железобетонные толщиной 250 мм, армирование – у нижней и верхней грани с шагом 200 мм в двух направлениях.

Лестничные площадки и марши – монолитные железобетонные, площадки толщиной 200 мм и 250 мм, марши средней толщиной 200 мм, армирование – у нижней и верхней грани с шагом 200 мм в двух направлениях.

Наружные стены подземного технического этажа и технического подполья – монолитные железобетонные толщиной 250 мм, 300 мм из бетона В25 F150 W6 ГОСТ 26633 с арматурой класса А500С ГОСТ 34028.

Стены лестничных клеток и лифтовых шахт – монолитные железобетонные толщиной 200 мм, 250 мм и 300 мм.

Наружные стены – многослойные:

- 1, 2 этажи: внутренний слой – монолитные железобетонные стены толщиной 300 мм; утепление – толщиной 180 мм; наружный (облицовочный) слой – кладка толщиной 120 мм из клинкерного полнотелого кирпича марки М100 F35 по ГОСТ 530 на растворе М75. Проектом предусмотрено крепление наружного слоя к монолитным железобетонным стенам гибкими связями (не менее 5 шт/кв.м).

- 3-7 этажи: внутренний слой – монолитные железобетонные стены толщиной 250 мм, 300 мм; отделка – сертифицированные композитные кассеты на подсистеме с заполнением утеплителем толщиной 180 мм.

Внутренние несущие стены – монолитные железобетонные толщиной 200 мм, 250 мм, 300 мм.

Армирование стен: основное – вязаными сетками с ячейкой 200×200 мм, расположенными симметрично у боковых сторон стены, соединенных между собой хомутами. Дополнительное армирование предусмотрено в местах расположения дверных проемов, отверстий.

Крыша – плоская с организованным внутренним водостоком. Кровля – рулонная двухслойная.

Утепление наружных стен – минераловатными плитами группы горючести типа НГ толщиной 180 мм (1, 2 этажи), 200 мм (3–7 этажи).

Проектом предусмотрено устройство отмостки вокруг здания.

Проектом предусмотрена антикоррозионная защита стальных и бетонных конструкций в соответствии с СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии».

5. Очередность выполнения работ

Очередность выполнения работы по определению ВП фундаментов:

- анализ рабочей и исполнительной документации для определения существующих на площадке средств мониторинга;

- обследование на предмет наличия существующих ДМ, реперов и их состояния;

- определение перечня ДМ, реперов, необходимых к установке;
- корректировка рабочей документации (при необходимости);
- изготовление, поставка и установка реперов, ДМ;
- инструментальные плановые наблюдения за показаниями средств мониторинга и ведение журналов мониторинга;
- обработка результатов наблюдений;
- подготовка промежуточных и итогового заключений;
- передача используемой системы мониторинга и результатов наблюдений эксплуатирующей организации.

6. Средства мониторинга

6.1 Грунтовые реперы

6.1.1. Требования к организации сети грунтовых реперов

Опорная геодезическая сеть (далее - ОГС) служит основой создания геодезических сетей при выполнении непрерывного мониторинга высотного положения фундаментов зданий.

Система высот условная. (При значительном (более 2 км) удалении пунктов геодезической сети от устанавливаемых реперов допускается принимать условную систему координат и высот. (Согласно ГОСТ 24846-2012).

Высотную привязку центров пунктов опорной геодезической сети следует выполнять с точностью нивелирования N класса. (Согласно ГОСТ 24846-2012).

Высотную привязку следует создавать в виде отдельных ходов, систем ходов (полигонов) и привязываться не менее чем к двум исходным нивелирным знакам (реперам). (Согласно РД-91.020.00-КТН-042-12).

6.1.2 Размещение грунтовых реперов

Для обеспечения требуемой точности измерений и уменьшения трудозатрат для осуществления геодезического контроля опорную геодезическую сеть, предусмотренную проектной документацией на строительство, необходимо дополнить грунтовыми реперами. Местоположение реперов указано в прил. 3.

6.1.3 Изготовление и установка грунтовых реперов

Конструкция

Грунтовый репер (рисунок А.1) состоит из металлической трубы (реперной трубы) диаметром 57х4 мм длиной 11,6 м, реперной головки и бетонного «якоря», устанавливаемого в скважину диаметром 500 мм.

К верхней части реперной трубы приваривается специальная сферическая головка, изготавливаемая из нержавеющей стали со шлифованной сферической поверхностью $R = 25$ мм. В сферической головке выполняется отверстие глубиной 3 мм.

Нижняя часть грунтового репера оборудуется «якорем», для повышения устойчивости и противодействия возможным силам морозного пучения.

«Якорь» изготавливается в заводских условиях из бетона с установкой закладной детали. Закладная деталь выполняется из трубы 57х4 мм и металлического листа 400х400х5 мм согласно с рис. ПЗ-1. «Якорь» с реперной трубой приваркой соединительной трубы 68х5,5 мм длиной 200мм.

Реперная труба защищается от сил морозного пучения с помощью защитной трубы диаметром 89х4 мм с двумя герметизирующими манжетами на концах. Пространство между реперной и защитной трубами заполняется смазкой типа ЦИАТИМ 221 (ГОСТ 9433-80).

Для защиты грунтового репера от уничтожения или повреждения он оборудуется защитным кожухом из металлической трубы диаметром 426х9 мм, заполненной песчаным непучинистым грунтом. Защитный кожух устанавливается в заранее пробуренную скважину диаметром 500 мм. Крышка кожуха выполняется также из трубы диаметром 426х9 и листовой стали толщиной 8 мм. Для плотного прилегания крышки к кожуху после закрытия к внутренней поверхности кожуха привариваются специальные направляющие в количестве 4 шт. длиной 200 мм выполненные из сегментов трубы диаметром 426х9 мм. На верх крышки приваривается специальный опознавательный знак выполняемый из арматуры 14-А-1 длиной 800 мм и металлического листа толщиной 3 мм на котором указывается номер репера, наименование и контактная информация эксплуатирующей организации.

Подсыпка вокруг грунтового репера в радиусе 1,0 м и на глубину максимального сезонного оттаивания (2,5 м) выполняется из непучинистых грунтов (сухим не пылеватым песком). Обратная засыпка производится с послойным уплотнением.

Указания по производству работ

Не допускается погружение грунтового репера в скважины меньшего диаметра с применением ударного воздействия.

Последовательность строитель но-монтажных работ по установке грунтового репера:

1) Сборка деталей грунтового репера в установочные узлы:

I узел - детали 6, 7, 8, 9, 10

II узел - детали 3, 4

III узел - детали 1, «Якорь»

2) Нанесение антикоррозионного покрытия на узлы грунтового репера.

3) Бурение скважины диаметром 500 мм.

4) Разработка грунта площадки размерами 1,0x1,0x2,5 м в месте установки репера.

5) Установка реперной трубы с «якорем».

6) Монтаж защитной трубы диаметром 89x4 мм с заполнением межтрубного пространства смазкой ЦИАТИМ 221.

7) Установка реперной головки с местом установки вехи или нивелирной рейки.

8) Обратная засыпка скважины с послойным уплотнением сухим непучинистым песком и центровкой реперной трубы.

9) Установка кожуха выполненного из трубы диаметром 426x9 мм.

10) Монтаж крышки

Установку репера в скважину выполнить в сроки, исключаящие оплывание или обрушение стенок скважин, и не позднее чем через 4 часа после зачистки скважины (извлечение шнека без вращения).

Последовательность работ по устройству грунтового репера:

- входной контроль конструктивных элементов репера с составлением акта.
- производство работ по сборке и установке грунтового репера (см. прил. 1).
- при производстве работ необходимо руководствоваться требованиями СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 и СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.

После установки репера с целью предотвращения его повреждения необходимо предусмотреть защитно-опознавательное ограждение.

Расположение реперов и ДМ представлено на рисунке А.4.

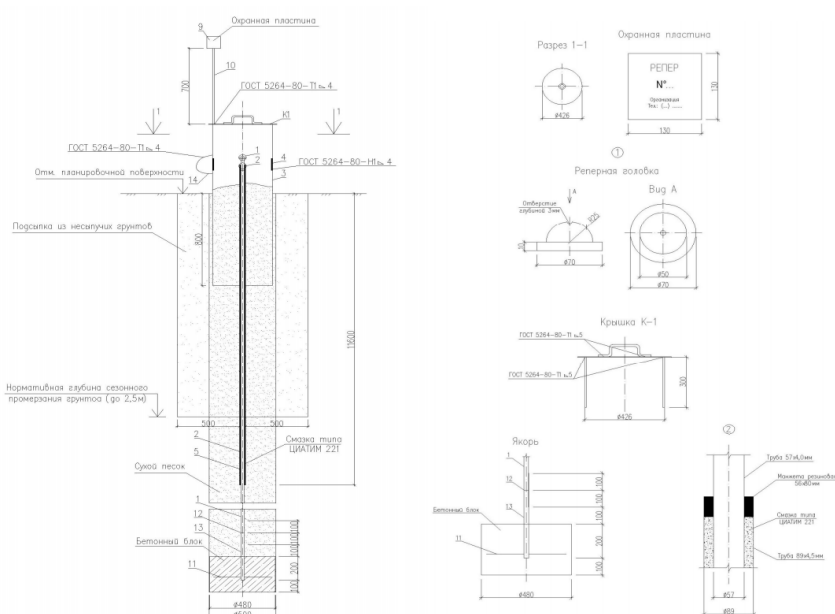


Рис А.1 – Грунтовой репер. 1-труба 57х4,0х11500мм, 2-труба 89х4,5х4000мм, 3-труба 426х9х1000мм, 4-труба 426х9х200мм, 5-манжета резиновая, 6-труба 426х9х300мм, 7-металлический лист 500х500х3мм, 8-прокат круглый $\varnothing 12$ мм $l=480$ мм, 9-металлический лист 130х130х3мм, 10-арматура 16-А-III $l=800$ мм, 11-металлический лист 400х400х5мм, 12-труба 68х5,5х200мм, 13-труба 57х4,0х400мм, 14-металлическая цепь $l=2000$ мм

6.2 Деформационные марки и реперы на зданиях

Для наблюдений за возможными вертикальными перемещениями фундаментов необходимо установить деформационные марки.

Типы ДМ:

Тип 1 и тип 2 - на боковой поверхности наружных стен здания (рисунки А.2, А.3).

Деформационная марка Тип 1

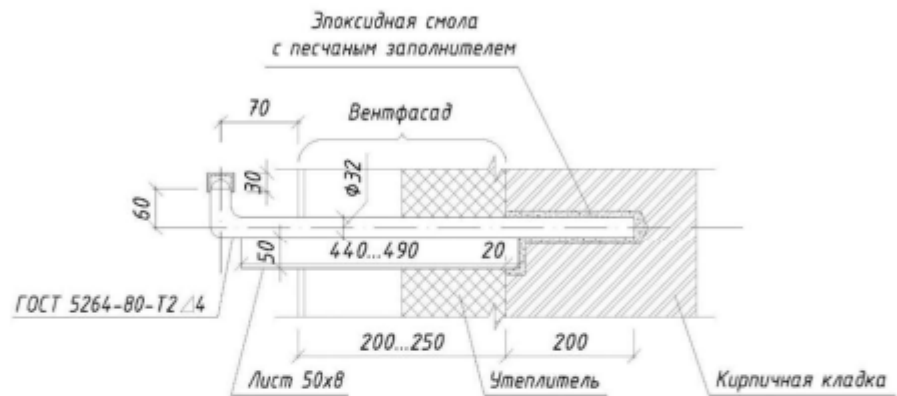


Рисунок А.2 – Конструкция ДМ типа 1

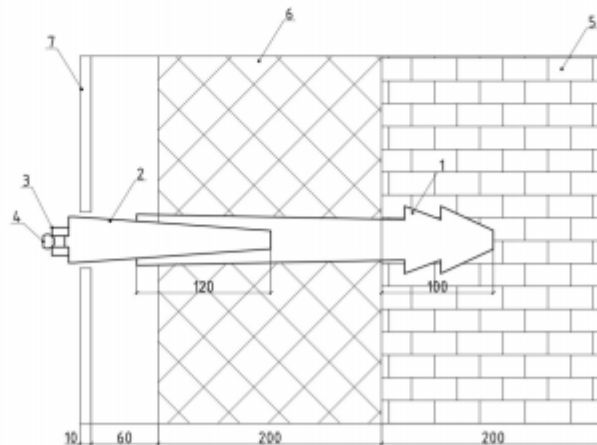


Рисунок А.3 – Универсальная ДМ типа 2

Около каждой ДМ наклеивается опознавательная карточка с порядковым номером ДМ (начиная с единицы).

Все установленные опознавательные марки окрашиваются в красный цвет.

В процессе установки ДМ оформляется полевой журнал установки ДМ.

Для каждой устанавливаемой ДМ заполняется карточка ДМ. Из заполненных карточек ДМ формируется журнал с приложением, содержащим план-схему фундамента с расположением и обозначением на нем ДМ.

При необходимости перезакладки ДМ выполнить перенос координат с существующей ДМ на вновь закладываемую ДМ для сохранения информации об изменении ВП фундаментов с момента начала наблюдений. Фактические координаты ДМ вносятся в соответствующую карточку ДМ. В случае замены ДМ ее номер сохраняется.

По окончании наблюдений в период строительства составляется акт сдачи ДМ на наблюдение за сохранностью представителю Заказчика.

Расположение реперов и ДМ представлено на рисунке А.4.

7. Обследование здания

7.1 Визуальное обследование здания

До выполнения мониторинг ВП необходимо выполнить визуальное обследование здания и по характерным внешним признакам установить наличие повреждений и дефектов строительных конструкций, их количественные и качественные характеристики, отклонения фактических значений параметров фундаментов от нормативных, а также вероятные причины их возникновения. В состав визуального обследования рекомендуется включить следующие работы:

-ознакомление с проектной, исполнительной и технологической документацией;

-визуальный осмотр конструкций фундаментов для выявления возможных повреждений и дефектов (повреждений защитного слоя бетона, сколов, вертикальных, горизонтальных и наклонных трещин, деформации плиты

фундамента), а также отступлений от проектных или нормативных значений эксплуатационных характеристик;

- по выявлению отступлений от проектных геометрических размеров, конструктивных и расчетных схем;

- по измерению параметров, характеризующих дефекты и повреждения (повреждений защитного слоя бетона, сколов, вертикальных, горизонтальных и наклонных трещин, деформации свай и плиты фундамента);

- по фиксации выявленных дефектов и повреждений путем фотографирования, выполнения эскизов, составления карт и ведомостей дефектов и повреждений;

- по оценке технического состояния здания по характерным внешним признакам повреждений;

- по составлению заключения о техническом состоянии здания.

Помимо визуального обследования необходимо проводить наблюдения за прилегающей территорией и грунтовой поверхностью на предмет развития негативных процессов (застаивание воды на поверхности, эрозионные процессы, снежные заносы, пучение грунта и т.д.) для последующего анализа причин изменения температурного режима грунтов или деформаций.

Оценка технического состояния конструкций выполняется по ГОСТ 31937-2011 и СП 13-102-2003.

7.2 Инструментальные измерения

Конструкции здания в период строительства должны находиться под систематическим наблюдением инженерно-технических работников, ответственных за сохранность этих объектов.

Организация обследования фундаментов возлагается на специализированную организацию. Обследование высотного положения фундаментов проводится специально обученным персоналом (геодезистами) или специализированной организацией.

В процессе измерений деформаций должны быть определены вертикальные перемещения (осадки, просадки, подъемы по ГОСТ 24846).

Наблюдения за деформациями следует производить в следующей последовательности:

- подготовка к проведению обследования;
- анализ результатов проведенных ранее геодезических наблюдений за фундаментом;
- выбор оптимального приборного оснащения для проведения работ;
- требования к организации грунтовых реперов;
- определение мест, изготовление и установку грунтовых реперов;
- определение мест, изготовление и установку деформационных марок;
- требования к точности и достоверности результатов при определении высотного положения фундаментов;
- выбор способа измерений перемещений контрольных марок зданий;
- периодичность измерения высотного положения фундаментов;
- требования к обработке результатов измерений, фиксации информации.
- камеральная обработка результатов обследования;
- выдача заключения по результатам работ.

При проведении работ допускается применение только средств измерения, на которые имеются действующие свидетельства о поверке. Геодезические приборы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 53340, ГОСТ 10528 и ГОСТ 10529.

В соответствии Таблицей 1 с ГОСТ 24846 выделяются четыре класса точности измерений, в зависимости от которых выбирается приборное оснащение (таблица А.1).

Учитывая динамику деформаций фундаментов зданий, измерения вертикальных перемещений фундаментов необходимо осуществлять один раз в неделю. Кроме того, замеры необходимо выполнять в период загрузки фундаментов и на момент сдачи объекта в эксплуатацию.

Первый цикл измерений принимается за «нулевой». Дальнейший анализ деформаций сооружений необходимо производить относительно «нулевого» цикла.

Таблица А.1 – Рекомендуемое приборное оснащение в зависимости от класса точности измерений

Класс точности измерений по ГОСТ 24846-2019	Допускаемая погрешность измерений перемещений, мм		Рекомендуемое приборное оснащение	Рекомендуемая периодичность измерений
	Вертикальных	Горизонтальных		
I	1	2	Лазерный трекер	Не более 20 дней
II	2	5	Тахеометр	Не более 1 месяца
III	5	10	НЛС	Не более 1 месяца
IV	10	15		

При мониторинге зданий выбираются неподвижные точки на фасаде здания, расположенные в характерных местах, в которых устанавливаются универсальные неподвижные геодезические марки (рисунок А.3). Для удобства проведения синергетической проверки результатов мониторинга, расположение марок рекомендуется выполнять в горизонтальных и вертикальных плоскостях.

В качестве реперных точек используются заранее установленные репера в количестве не менее трех. Репера могут располагаться на неподвижном здании (вне объекта мониторинга), либо вне здания по специальной конструкции (рисунок А.1).

Точки расположения реперных объектов и деформационных марок представлены на рисунке А.4.

Разработанная общая последовательность представлена в виде блок-схемы алгоритма работы с приборами при выполнении мониторинга зданий сооружений на рисунке А.5.



Рисунок А.4 – Схема расположения реперов и геотехнических марок на плане



Рисунок А.4.1 – Расположение марок на фасаде по оси Т-А

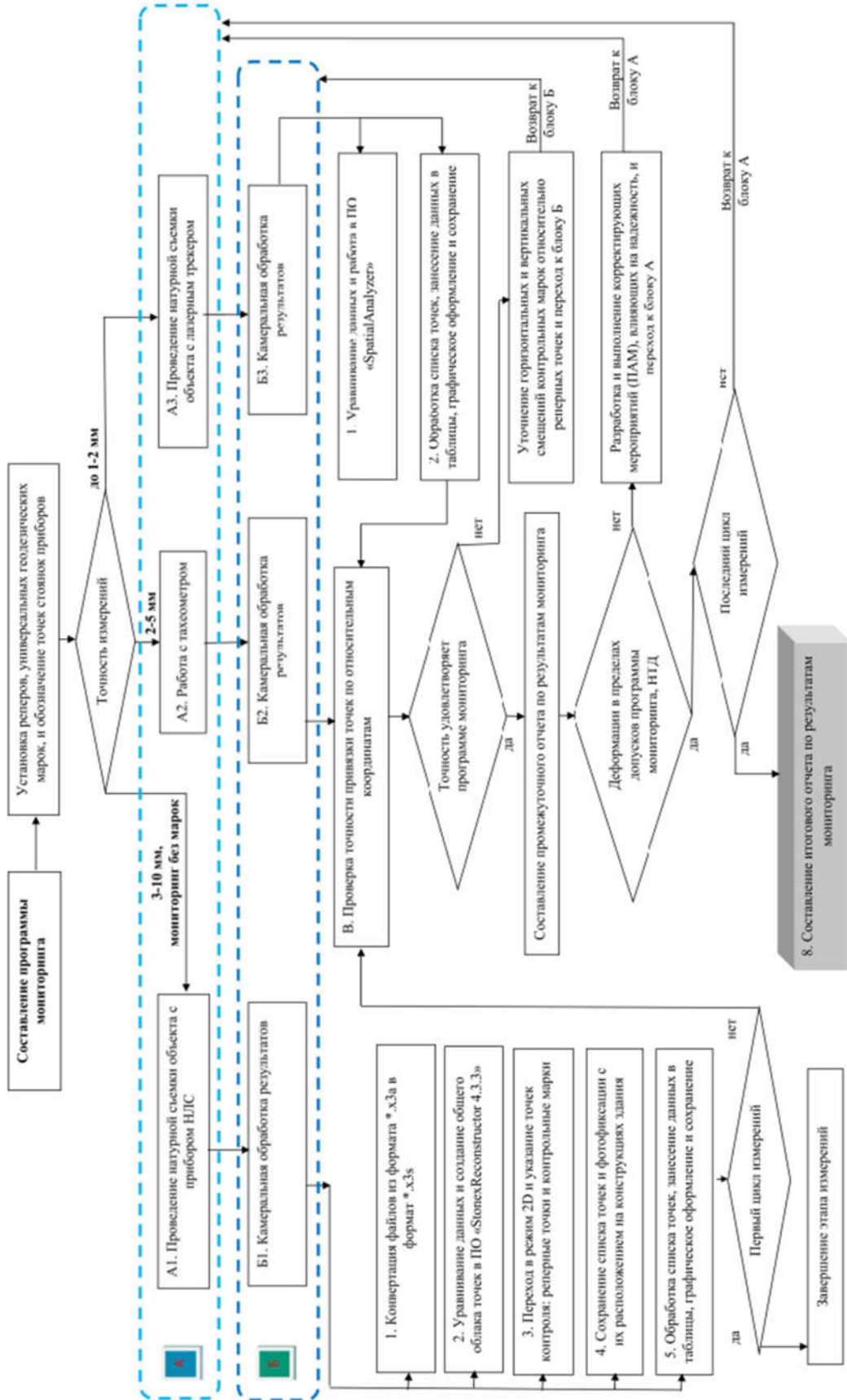


Рисунок А.5 – Блок-схема алгоритма работы с приборами НИС при выполнении мониторинга зданий сооружений

7.2.1 Инструментальные измерения с применением тахеометра

Инструментальные измерения с применением тахеометра необходимо выполнять при заданном классе точности измерений II в соответствии с программой работ, руководством по эксплуатации прибора и действующими нормативными документами: РД-91.200.00-КТН-380-09, РД-03.100.50-КТН-272-10, ГОСТ 24846-2019, ГОСТ 31937-2011, СП 126.13330.2017, СП 22.13330.2016 и др.

Алгоритм работы с тахеометром и используемое программное обеспечение представлены в виде блок-схемы на рисунке А.6.



Рисунок А.6 – Алгоритм работы с тахеометром

7.2.2 Инструментальные измерения с применением приборов НЛС

Инструментальные измерения с применением приборов НЛС необходимо выполнять при заданном классе точности измерений III и IV.

С помощью лазерного сканирования обычно решаются две основанные задачи – контроль качества или контроль геометрии различных объектов, и вторая задача – реверс-инжиниринг или обратная задача, когда на основании существующего объекта создается его трехмерная цифровая модель.

Алгоритм работы с приборами НЛС и используемое программное обеспечение представлены на блок-схеме на рисунке А.7.



Рисунок А.7 – Алгоритм работы с 3d-сканером

Как и при работе с тахеометром, для получения максимально точных результатов сканирования и мониторинга, на объекте либо в зоне сканирования рекомендуется предварительная установка неподвижных марок.

Натурное сканирование объекта

На площадке места стоянки прибора НЛС определяются таким образом, чтобы перекрытие двух соседних точек было не менее 30-40% и исследуемый объект находился в хорошем поле зрения прибора с максимально перпендикулярным падением лазерных лучей на поверхность объекта. При последовательном сканировании на каждой станции оператор задает название станции, качество сканирования, фотографирование и, при необходимости, вводит корректировки в настройки.

Критериями выбора (места расположения) точек и места стоянки прибора являются:

- угол падения лазерных лучей должен быть максимально перпендикулярным к поверхности объекта и реперных точек;
- дальность расположения сканера до объекта должна быть не более 50 м;
- объекты должны быть светлые (для лучшего отражения лазерного луча);
- точку стоянки прибора также рекомендуется позиционировать по ранее выполненной привязке.

Поле зрения сканера «Stonex X300» составляет 90° по вертикали и 360° по горизонтали. Плотность вертикального сканирования сканера почти неизменна, плотность горизонтального сканирования задается за счет угла вращения сканера. Расходимость (дивергенция) луча 0,37 мрад (миллирадиан) (0,37 мм на 100 м) (степень расширения самого лазерного пучка с увеличением расстояния, или, при попадании луча на дальние объекты, их границы могут оказаться менее четкими). Точность измерения – менее 6 мм при измерении до 50 м (1 sigma). Дальность сканирования – 300 м. Однако с повышением дальности сканирования точность сканирования снижается до 40 мм.

При проведении полевых работ выбираются максимальные параметры сканирования.

Камеральная обработка результатов

Выполняется выгрузка файлов из сканера с расширением *.x3a; запускается программа «X300 Manager» и конвертируются файлы в формат *.x3s, где в общей папке также сохраняются фотографии.

На этом этапе есть возможность предварительно посмотреть результаты сканирования. Файл архива состоит из файлов сканирования, файла калибровки и фотографий.

Файлы загружаются в программу «Stonex Reconstructor 4.3.3». Выполняется конвертирование файлов через импорт сырых данных сканирования и перерегистрация. Перерегистрация – это грубое совмещение данных сканирования. Далее выбирается тип объекта «Строительство» и запускается процесс математической обработки, данные импортируются, в этих данных происходит

выделение различных нормалей и плоскостей, по которым производится уравнивание.

Необходимо выбрать один из трех способов уравнивания: автоматическое, и два вида ручного уравнивания: настройка позиционирования по координатным осям и привязка по общим точкам.

Работу с точками рекомендуется выполнять в родном ПО, так как при этом повышается точность выходных данных. В данном режиме необходимо определить репера и марки в виде точек. При этом, рекомендуется первую точку выбрать вне области измерений, так как нумерация точек начинается с нуля. Затем отмечаются три реперные точки и точки на контрольных марках. Каждой точке присваивается свой порядковый номер. Выполняется команда «добавить и сохранить список точек». Список точек появится в рабочей области. Выделяются точки и выполняется команда «Экспорт точек». Задается необходимая точность измерений. В нашем случае задаем не более 5 мм (при расстоянии от места стоянки прибора до реперной точки не более 50 м) для реперных точек, относительная разница измерений ограничена 0,05%.

Используя инструменты программы, определяются относительные расстояния между заданными точками. На первом шаге выполняется проверка корректности привязки реперных точек, путем проверки расстояний между ними.

Предельно допустимая невязка в показаниях, $\Delta L_{\max}=5\text{мм}$.

Далее производятся аналогичные действия с иными реперными точками и вычисляется среднеквадратическое отклонение точности привязки двух этапов сканирования.

В случае превышения величины невязки более 5 мм необходимо вернуться к облаку точек объекта и уточнить правильность привязки точек.

При наличии нескольких контрольных марок, аналогичные действия выполняются для остальных марок. На следующем цикле наблюдений, аналогичным способом проверяются расстояния по трем направлениям до контролируемой марки.

7.2.3 Инструментальные измерения с применением лазерного трекера

Инструментальные измерения с применением лазерного трекера необходимо выполнять при заданном классе точности измерений I.

При выполнении уникальных работ, затрагивающих несущие конструкции в процессе реконструкции здания, рекомендуется геодезический мониторинг с повышенной точностью. Одними из таких приборов являются лазерные трекеры с погрешностью измерений до 0,5 мм. Последовательность работы лазерного трекера представлена в виде блок-схемы на рисунке А.8.

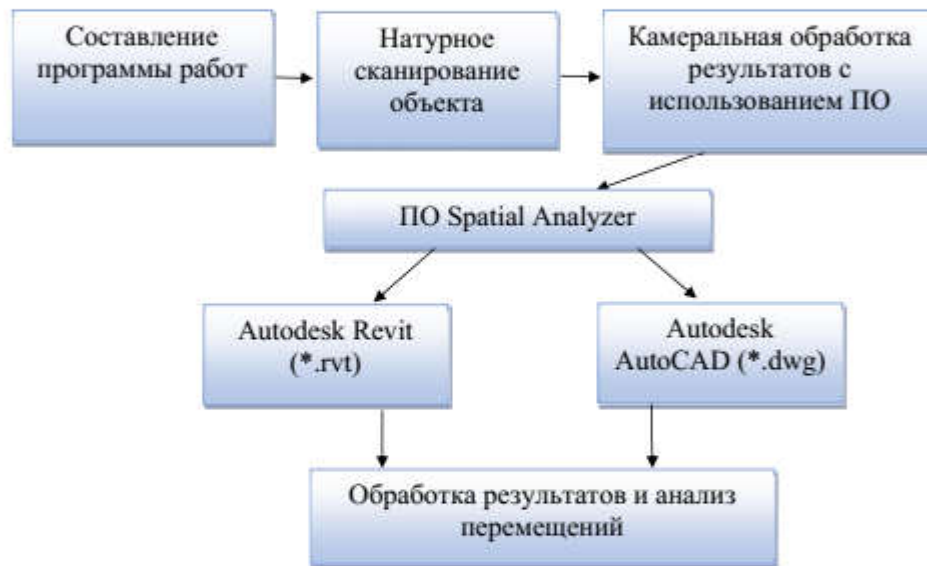


Рисунок А.8 – Алгоритм работы с лазерным трекером

Обработка результатов мониторинга выполнялась в программном обеспечении «Spatial Analyzer».

Инструменты программного обеспечения позволяют выполнять анализ величины и направления перемещений контрольных точек относительно первоначального положения.

Ввиду более высокой точности измерений трекеров, при выполнении работ с их использованием необходимо учитывать также температурный режим измерений на объекте и коэффициент температурного расширения материала несущего

каркаса здания, так как при значительной протяженности объекта данные свойства могут влиять на точность геодезических измерений. В связи с этим, для минимизации погрешности результатов измерений, рекомендуется располагать геодезические марки в цокольной части зданий по возможности ближе к земной поверхности. По данным маркам целесообразно определять неравномерность осадок разных частей здания. При определении кренов здания и горизонтальных деформаций, замеры необходимо выполнять по дополнительным маркам, расположенным в парапетной части здания, в основном в вертикальной проекции цокольных маяков.

Величины коэффициентов линейного расширения α_t кладки либо другого материала следует принимать по соответствующим справочникам, либо нормативной документации. Размерность коэффициента расширения м/(м•°C) или 1/град (К-1).

В результаты геодезических наблюдений необходимо вводить поправочный коэффициент температурного расширения по формуле (А.1):

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

где $\Delta(x_i^2-x_i^1)$ – 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 – коэффициентов линейного расширения кладки либо другого материала стены; L – длина здания по стороне измерений; b – расстояние от центра здания до марки.

8. Оформление, обработка и хранение результатов измерений

В процессе работ по измерениям деформаций фундаментов должна выполняться камеральная обработка полученных результатов: составление ведомостей отметок деформационных марок, установленных на фундаментах, по каждому циклу наблюдений; оценка точности проведенных измерений, включая сравнение полученных погрешностей (или невязок) с допускаемыми для данного метода и класса точности измерений.

Результаты измерений заносятся в журнал замеров вертикального и горизонтального перемещения фундаментов (см. Приложение А.1).

По результатам измерения ВП фундаментов рассчитывается крен фундаментов зданий. Крен здания определяется как отношение разности отметок противоположных точек фундамента к расстоянию между ними.

Результаты измерений ВП фундаментов, крены (относительные разности осадок) фиксируются в журнале результатов измерений в соответствии с прил. 8.

К журналу замеров высотного положения фундаментов прикладываются схемы расположения, размеры и описание конструкций установленных реперов, опорных и ориентирных знаков, деформационных марок.

Оформленные результаты измерений передаются Заказчику с периодичностью 1 раз в месяц, а также при выявлении значительных деформаций фундаментов.

На основе полученных результатов натурных наблюдений уточняют прогнозы, в частности, изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вносят коррективы в режим эксплуатации зданий, планируют проведение ремонтов, а также разрабатывают в необходимых случаях противоаварийные и защитные мероприятия.

Приложение 1
Форма журнала замеров вертикального
перемещения ДМ фундаментов

ЖУРНАЛ ФИКСАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИОННЫХ МАРОК
«Научно-исследовательский и учебный центр в г. Альметьевск.
«Учебно-лабораторный корпус «ТатНИПИнефть»»

Начат «_____»_____20__г.

Закончен «_____»_____20__г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения результатов исследования

«СОГЛАСОВАНО»
 Проректор ФГБОУ ВО КГАСУ
 Р.А. Садыков
 «04» 10 2017г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «УК «Капитал Плюс»
 Д.М. Овечкин
 «04» 10 2017г.



А К Т

внедрения устройства нового фундамента под реконструируемое здание

Мы, нижеподписавшиеся, от КазГАСУ канд. техн. наук, заведующий кафедрой ТСП Р.А.Ибрагимов, канд. техн. наук, доцент И.И.Мустафин, инженер Галиев И.Х.; от технического заказчика директор ООО «ПК «СтройМирРеконструкция» И.Р.Сафиуллин составили акт следующего содержания.

Настоящий акт составлен о том, что в период с июля 2015 года по май 2016 года на объекте «Реставрация, реконструкция и приспособления объекта «Дом купца С.Д. Лисицина - В.Д. Емелина, во флигеле которого 1(13)февраля 1873г. родился певец Ф.И.Шаляпин», расположенном по адресу: г. Казань, ул. Пушкина 10, выполнялись технологические работы, разработанные в рамках диссертационного исследования Галиева И.Х., и реализованные при реконструкции вышеупомянутого объекта (устройство новых более заглубленных фундаментов под частью здания), при этом в образовавшемся объеме выполнено устройство дополнительных полезных помещений.

Перед производством работ проводились мероприятия по повышению жесткости конструктивной системы всего здания, а именно: в уровнях перекрытий выполнялись монолитные пояса, связанные между собой дисками перекрытий. Поверх фундаментов вывешиваемой части здания на безусадочном растворе в специальную штрабу устанавливался металлический пояс из швеллеров №30, стягиваемые между собой сквозными шпильками.

Второй этап производства работ связан с устройством временных вывешивающих конструкций. Для этого на расстоянии от 0,9 м до 1,5 м от стен здания выполнялись буронабивные армированные сваи на глубину 8,5 м, по верху свай устраивался монолитный железобетонный ростверк. Непосредственно под металлическим поясом в пробуренные сквозные отверстия с шагом около 1 м ус-

танавливали двутавровые балки 40Б1, подпирающие через швеллер №30 несущую стену, а их опорами служил ростверк. После подклинивания всех конструкций, сварки и набора прочности тяжелого бетона, приступали к разработке грунта внутри здания, а также под фундаментами до отметки -3.800 м, при этом демонтировались старые фундаменты и рыхлые участки кирпичных стен.

Под контуром вывешенных стен из мелкозернистого бетона устраивался новый монолитный железобетонный фундамент мелкого заложения до полной заливки металлического пояса. После набора прочности бетона фундамента приступали к поэтапному демонтажу временных конструкций, при этом происходила передача нагрузки от здания на вновь выполненные фундаменты.

В процессе производства технологических работ, за несущими строительными конструкциями выполнялся мониторинг со стороны ФГБОУ ВО КГАСУ, в ходе которого в характерных местах были установлены специальные приспособления и маяки для измерения вертикальных и горизонтальных смещений элементов здания. В ходе работ производились постоянные измерения и анализ их показаний. По результатам мониторинга составлен научно-технический отчет, с выводом о том, что в ходе мониторинга за деформациями конструктивных элементов здания от воздействия демонтажных, строительных работ в процессе реконструкции, отсутствуют критические и развивающиеся крены при замерах горизонтальных и вертикальных отклонений стен по каким-либо параметрам.

В результате проведенных работ выполнено опирание части здания на новые более заглубленные фундаменты, при этом устроены дополнительные полезные площади внутри существующего здания. По итогам мониторинга доказана возможность реализации вышеуказанных мероприятий с минимальными относительными деформациями и без повреждений несущих строительных конструкций реконструируемого здания.

Директор ООО «ПК «СтройМирРеконструкция»

И.Р.Сафиуллин

Зав. кафедрой ТСП КазГАСУ

Р.А. Ибрагимов

Канд. техн. наук, доцент

И.И.Мустафин

Инженер КГАСУ

И.Х. Галиев

соответствующей дисциплины и дипломном проектировании обучающихся соответствующего профиля.

Внедрено:

ассистент каф. ТСП



И.Х. Галиев

СОГЛАСОВАНО:

и.о. директора ИС

к.т.н., доцент



С.В. Степанов

к.т.н., доцент

доцент каф. ТСП



Д.Г. Имайкин

Зам. зав. кафедрой ТСП

к.т.н., доцент



А.Р. Мавлюбердинов