Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждении высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

На правах рукописи

Муртазаев Имран Саид-Альвиевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ

2.1.7 – Технология и организация строительства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Шеина С.Г.

Грозный – 2025

Оглавление

Введение 4

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ 15

1.1. Современное состояние и перспективы развития монолитного строительства 16

1.2. Возведение монолитных конструкций на основе использования бетонов на техногенном сырье 28

1.3. Применение самоуплотняющихся бетонов в современном монолитном строительстве 32

1.4. Анализ эффективности труда и организационно-технологических факторов в монолитном строительстве 43

Выводы по главе 1 52

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА 54

2.1. Подготовка исходных данных по объекту строительства 57

2.2. Организационно-технологические схемы оптимального моделирования возведения объекта 63

2.2.1. Формирование специализированных строительных потоков 64

2.2.2. Обоснование технологической схемы возведения объекта 67

2.2.3. Выбор параметров захваток 71

2.2.4. Выбор последовательности освоения фронтов работ(захваток) 74

2.2.5. Подбор возобновляемых ресурсов 75

2.2.6. Выбор исходного метода организации работ 75

2.2.7. Составление топологии организационно-технологической схемы строительства и расчет всех ее временных и ресурсных параметров 78

2.2.8. Анализ результатов моделирования организационно-технологической схемы строительства 78

2.3. Оптимизация общей схемы и отдельных технологических переделов строительства 80

Выводы по главе 2 88

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКЦИЙ МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЯ СУБ ТС 90

3.1. Технологические основы получения СУБ ТС для высотного монолитного домостроения 91

3.2. Методика бетонирования конструкций высотных зданий с использованием СУБ ТС 98

3.2.1. Подготовительный этап 102

3.2.2. Проектирование состава СУБ ТС - бетонов 104

3.2.3. Приготовления СУБ ТС для высотного строительства 111

3.2.4. Транспортировка СУБ ТС 112

3.2.5. Возведение высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС 115

3.2.6. Уход за бетоном и контроль твердения 120

3.2.7. Контроль качества и документирование 121

3.3. Оптимизация организационно-технологических решений возведения высотных зданий с применением СУБ ТС 127

Выводы по главе 3 130

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБ ТС 133

4.1. Практическая реализация результатов исследований 134

4.2. Расчет экономической эффективности применения СУБ ТС для устройства монолитных конструкций 141

4.2.1. Расчет экономии от уменьшения геометрических размеров конструкций и уменьшения расхода арматуры 144

4.2.2. Расчет параметров экономии по другим статьям 148

Выводы по главе 4 150

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ 153

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы 157

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 158

ПРИЛОЖЕНИЯ 168

Введение

Актуальность темы исследования. Современное отечественное и мировое состояние монолитного строительства характеризуются все большим нарастанием темпов и объемов его применения за счет использования передовых методов и приемов технологии и организации производства работ, использования современных строительных материалов, включая композиционные, выбора широкого спектра современных опалубочных систем как по материалам, так и по технологии устройства, а также широкого применения современнейших строительно-монтажного оборудования и приспособлений.

Высотное монолитное строительство дополнительно требует инновационных решений ключевых проблем, особенно в области организации и технологии производства работ, что делает эти вопросы приоритетными для всей строительной отрасли. Оптимизация данных аспектов способствует рациональному возведению объектов и обеспечивает стратегический прогресс в технологии бетонных работ, включая применение современных опалубочных систем на основе научно обоснованных критериев их выбора.

Монолитная технология предоставляет проектировщикам широкие возможности в формировании геометрии и функциональной организации зданий, что позволяет сочетать эстетическую выразительность с высоким качеством конструкций, увеличенным сроком эксплуатации и снижением совокупных затрат - как материальных, так и трудовых. Несомненно, комплексу таких требований в настоящее время отвечают самоуплотняющиеся бетоны на техногенном сырье (СУБ ТС), применение которых позволяет не только исключить важнейший технологический процесс - виброуплотнение даже при бетонировании густо армированных конструкций, но и позволяет полноценно внедрить «зеленые технологии» в строительство монолитных зданий и сооружений.

Следовательно, исследования, направленные на оптимизацию

организационно-технологических методов строительства монолитных высотных зданий, являются крайне актуальными.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова" FZNU-2024-0003 "Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения".

Степень разработанности темы исследования: вопросами совершенствования технологии устройства монолитных конструкций высотных зданий занимались известные ученые нашей страны и мира: А.А. Афанасьев, Г.А. Айрапетов, Ю.М. Баженов, А.Х. Байбурин, В.В. Воронин, Д.К-С. Батаев, М.М. Батдалов, А.Н. Бесколыльный, М.С. Будников, Б.А. Крылов, Е.С. Король, Б.М. Красновский, И.Б. Заседателев, Л. Б. Зеленцов, А.А. Лапидус, Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, Л.А. Сулейманова, Р.В. Михалко, С.Н. Максимов, Б.С. Мовчан, В.Я. Мищенко, С.И. Меркулов, Л.Б. Миротина, А.М. Немчин, Г.В. Несветаев, Л.А. Опарина, Ю.П. Панибратов, С.А. Сычев, Д.В. Топчий, Н.А.Тарануха, В.В. Томилов, Д. Форрестер, С.Р. Хачатрян, Е.В. Углова, В.С. Чекалин, Л.М. Чистов, Т.Н. Цай, Х.С. Шахабов, С.А. Шифрин, А.К. Шрейбер, М.С. Шумилов, С.Г. Шеина, А.Ф. Шкляров, Т.А. Хежев и др.

Однако, организационно-технологические вопросы возведения высотных монолитных зданий с использованием самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье требуют более глубокого изучения. Крайне мало информации по вопросам технологических решений применения в высотном строительстве СУБ ТС, как по выбору технологий и материалов, так и рецептурно-технологических оснований для их проектирования.

В связи с этим, современное состояние высотного монолитного строительства требует повышения эффективности применяемых организационно-технологических и материаловедческих решений при устройстве строительных конструкций с применением СУБ ТС.

Монолитная технология предоставляет проектировщикам широкие возможности в формировании геометрии и функциональной организации зданий, что позволяет сочетать эстетическую выразительность с высоким качеством конструкций, увеличенным сроком эксплуатации и снижением совокупных затрат - как материальных, так и трудовых. Несомненно, комплексу таких требований в настоящее время отвечают самоуплотняющиеся бетоны на техногенном сырье (СУБ ТС), применение которых позволяет не только исключить важнейший технологический процесс - виброуплотнение даже при бетонировании густо армированных конструкций, но и позволяет полноценно внедрить «зеленые технологии» в строительство монолитных зданий и сооружений [1]. Кроме того, комбинированное применение самоуплотняющихся бетонов и инвентарных опалубочных систем способствует минимизации скрытых издержек, включая простои при бетонировании и затраты на последующую отделку [2].

Следует учитывать, что стадия непосредственного возведения объекта замыкает весь производственный цикл: именно здесь концентрируются ресурсы, уже вложенные в материалы, конструкции и оборудование, а также текущие затраты строительной площадки [3]. Поэтому повышение эффективности завершающей фазы работ - путём грамотного ресурсного планирования, цифрового мониторинга потоков и интеграции принципов концепции «бережливого строительства» (lean construction) - становится ключевым резервом сокращения календарных сроков и себестоимости строительства [4].

Как показывает опыт поисков путей оптимизации строительного производства, эффективность последнего можно обеспечить только комплексным подходом при выборе различных технологических и организационных решений. Необходимость комплексности заключается не только рассмотрения нескольких (а лучше множества) вариантов принимаемых решений для обеспечения технико-экономической эффективности, но и в невозможности как вырвать отдельный вид

строительно-монтажных работ из объективного потока, так и отделить процесс возведения отдельного объекта из комплексного потока строительства группы зданий или сооружений.

Резкое повышение в стране объемов монолитного строительства базируется на использовании новейших материалов и технологий для устройства конструктивных элементов возводимых объектов и, в первую очередь, современных бетонных композитов. При этом требуется разработка и обоснование наиболее эффективных технологий получения и укладки так называемых высококачественных бетонов, отвечающие самым высоким требованиям по подвижности (удобоукладываемости), прочности, стабильности состава и долговечности. Именно этому комплексу требований в настоящее время отвечают самоуплотняющиеся бетоны (СУБ), применение которых в монолитном строительстве позволяет исключить важнейший технологический процесс - виброуплотнение даже при устройстве сильно армированных конструктивных элементов, включая железобетонные стыки возводимого объекта.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова" FZNU-2024-0003 "Разработка комплекса низкоуглеродных технологий повышения продуктивности и секвестрационного потенциала экосистемы на урбанизированных территориях с получением вторичных композиционных материалов полифункционального назначения".

Научно-техническая гипотеза исследования - совершенствование организационно-технологических решений возведения монолитных высотных зданий с использованием самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье.

Объект исследования – монолитные высотные здания.

Предмет исследования – технология и организация производства монолитных работ для устройства конструктивных элементов высотных зданий с применением СУБ ТС.

Цель работы – разработка способов совершенствования организационно-технологических решений строительства высотных монолитных зданий, возводимых с применением СУБ ТС.

Задачи исследования:

1. Выполнить обзор отечественного и зарубежного опыта возведения монолитных зданий с применением бетонных композитов.

2. Разработать методику оптимального организационно-технологического моделирования возведения объектов монолитного строительства.

3. Разработать методологические основы применения в высотном монолитном строительстве СУБ-бетонов на основе техногенного сырья.

4. Разработать и обосновать методику возведения конструкций высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС.

5. Предложить и обосновать усовершенствованные организационно-технологические решения для возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС.

6. Осуществить практическое внедрение научно-технических разработок и апробацию предложенных решений при возведении высотных монолитных зданий.

Научная новизна исследования

Разработана методика оптимального организационно-технологического моделирования возведения объектов монолитного строительства, позволяющая выбирать рациональные решения на стадии проектирования.

Предложены методы оптимизации общей схемы и отдельных технологических процессов монолитного строительства, обеспечивающие повышение операционной эффективности и сокращение продолжительности работ.

Разработаны методологические основы применения в высотном монолитном строительстве самоуплотняющихся бетонов (СУБ) на основе

техногенного сырья, устанавливающие критерии выбора и использования местных вторичных ресурсов.

Созданы рецептурно-технологические основы получения высококачественных СУБ для высотного монолитного домостроения, обеспечивающие заданные реологические и прочностные характеристики смесей.

Разработаны технико-технологические решения для бетонирования конструкций высотных зданий с применением СУБ, включающие методы транспортировки, укладки и контроля качества.

Предложен комплексный метод строительства высотных монолитных зданий с использованием СУБ, интегрирующий оптимизированные организационные и технологические решения.

Обоснованы усовершенствованные организационно-технологические решения для возведения высотных зданий с применением СУБ, обеспечивающие снижение трудоемкости и повышение качества строительства.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретико-методологических основ строительства высотных монолитных зданий за счет:

разработки методики оптимального организационно-технологического моделирования;

создания методологии применения самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье (СУБ ТС);

формирования комплекса алгоритмизированных решений для совершенствования технологических процессов.

Практическая значимость исследования заключается в научном обосновании, экспериментальной проверке и внедрении разработанных организационно-технологических решений для возведения высотных монолитных зданий, что позволило:

Разработать модель организационно-технологического регулирования строительства и выполнить расчет ее временных и ресурсных параметров.

Определить технологию и составы материалов для возведения высотных монолитных сооружений с применением СУБ ТС.

Получить оптимизированные рецептуры СУБ ТС и разработать технологии их укладки в опалубку.

Усовершенствовать организационно-технологические подходы к возведению высотных зданий с применением СУБ ТС.

Обосновать методику расчета экономической эффективности внедрения СУБ ТС в монолитное высотное строительство.

Методология и методы исследования

Методологическую основу диссертационного исследования составил комплексный подход, интегрирующий теоретические и эмпирические методы. Для решения поставленных задач была разработана многоуровневая методология, включающая следующие методы и научные подходы:

Системный анализ – использован для изучения объекта исследования как комплексной системы, установления взаимосвязей между технологическими, организационными и экономическими факторами при возведении высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС.

Методы математического моделирования и оптимизации – применены для разработки организационно-технологических моделей строительства, позволяющих проводить оценку и оптимизацию временных и ресурсных параметров проекта.

Экспериментальные методы – использованы для проведения натурных и лабораторных исследований свойств самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье (СУБ ТС), включая подбор составов, испытание образцов и апробацию технологий укладки.

Статистические методы обработки данных – применены для анализа результатов экспериментов, установления корреляционных зависимостей и оценки достоверности полученных результатов.

Экспертно-аналитические методы – использованы для сбора и анализа экспертных оценок, верификации разработанных моделей и методик, а также

для выявления ключевых факторов, влияющих на эффективность строительства.

Методы принятия решений – задействованы для обоснования выбора оптимальных организационно-технологических решений и оценки экономической эффективности внедрения СУБ ТС в высотное монолитное строительство.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика оптимального организационно-технологического моделирования возведения объектов монолитного строительства, основанная на системном анализе и критериях оптимизации.
2. Методологические основы применения в высотном монолитном строительстве СУБ на основе техногенного сырья.
3. Рецептурно-технологические основы получения высококачественных СУБ для высотного монолитного домостроения.
4. Методика бетонирования конструкций высотных зданий с использованием СУБ ТС, регламентирующая способы транспортировки, укладки, уплотнения и контроля качества.
5. Методика технико-экономического обоснования эффективности внедрения СУБ ТС для возведения монолитных высотных зданий.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Тема диссертации соответствует пунктам 2, 4, 8 и 11, паспорта научной специальности **2.1.7 - Технология и организация строительства (технические науки)**

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

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

П.8. Разработка **принципов организации строительства сложных и уникальных объектов, развитие поточных методов**, применение сетевых и **других моделей**, совершенствование методов календарного планирования;

П.11. **Влияние технологических процессов на окружающую среду, определение рациональных «зелёных технологий» для среды жизнедеятельности**. Обеспечение безопасности и экологичности технологических и производственных процессов и их результатов.

Степень достоверности и апробации результатов подтверждается применением проверенных методик изучения взаимодействия участников строительного процесса при возведении монолитных высотных зданий, научно обоснованными методами разработки организационно-технологических решений и положительными результатами практического внедрения в соответствии с тематикой исследования.

Результаты диссертационной работы докладывались на:

Международной научно-практической онлайн-конференции «Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика», приуроченной к 60-ти летию член-корреспондента Академии наук ЧР, доктора технических наук, профессора Сайд-Альви Юсуповича Муртазаева, Грозный, 28 апреля 2021 года.

X Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь, наука, инновации», г. Грозный, 28 октября 2021 г.

Международной научно-практической конференции «КАЧЕСТВО ЖИЗНИ: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ, ОБРАЗОВАНИЕ». Иваново, 30–31 марта 2023 г.

XII Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь,

наука, инновации», г. Грозный, 18 октября 2023 г.

Международной научно-практической конференции «Инновации в строительстве – 2023». Брянск, 06–08 апреля 2023 г.

VII Всероссийской научно-практической конференции «Нефтегазовое дело, техносферная безопасность, рациональное природопользование: современные реалии сборник материалов». Махачкала, 2024 г.

IV международного научного конгресса "Современная наука, человек и цивилизация" посвященного 90-летию Х.И. Ибрагимова. Грозный, 25–26 октября 2024 г.

VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (В рамках реализации программы развития передовой инженерной школы "РосГеоТех"). Грозный, 2024 г.

V Международной научно-практической конференции «ОБРАЗОВАНИЕ БУДУЩЕГО». Грозный, 2025г.

Личный вклад автора

Автором лично разработана методика оптимального организационно-технологического моделирования возведения объекта монолитного строительства, предложены методологические основы применения в высотном монолитном строительстве СУБ-бетонов на основе техногенного сырья. С использованием разработанных технологических основ получения высококачественных СУБ ТС предложена методика бетонирования конструкций высотных зданий и сооружений.

Разработанные в ходе исследования методики прошли практическую проверку и были успешно реализованы. В диссертационной работе автор сформулировал основные выводы и наметил направления для дальнейшего развития данной научной области.

Внедрение результатов

Внедрение результатов диссертационной работы произведено при устройстве конструкций высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС на объектах ООО «Дика-Стройпроект» и ООО «ГЛОБАЛСТРОЙ», а также теоретические положения, основные научно-исследовательские результаты работы и результаты внедрения используются в учебном процессе при подготовке студентов в рамках направления подготовки - 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» по специальности «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений», по профилю «Промышленное и гражданское строительство» направления 08.03.01 – «Строительство», студентов магистратуры направление 08.04.01 – «Строительство», по профилю «Промышленное и гражданское строительство

Публикации

Результаты научной работы отражены в 28 публикациях: из них 8 публикаций - 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», 1- коллективная монография, 3 публикации в журналах международной базы цитирования Web of Science (Q1) и 1 - Scopus (Q3).

Структура и объем работы

Диссертация имеет структуру, включающую оглавление, вводную часть, четыре содержательные главы, заключительные выводы, библиографический список и приложения. Общий объем исследования составляет 171 страница печатного текста, содержащего 34 иллюстрации, 12 таблиц и ссылки на 122 литературных источника; работа дополнена 3 приложениями.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Современные подходы к выбору методов и приемов возведения зданий и сооружений базируются на определении стратегических направлений по принимаемым конструктивным, организационно-технологическим и эколога – экономическим решениям. Поэтому при определении направления и тематики предстоящих исследований произведен анализ и обзор отечественного и зарубежного теоретического и практического опыта устройства монолитных конструкций с использованием современных бетонных композитов, получаемых с использованием техногенного и некондиционного природного сырья.

Проведенный анализ позволил оценить современное состояние и перспективы развития монолитного строительства в целом, изучить особенности возведение монолитных конструкций на основе использование бетонов на техногенном сырье (ТС) в виде отходов промышленности и, в частности, продуктов разборки зданий и сооружений в виде строительного лома. В данном контексте рассмотрена современное состояние применения самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье (СУБ ТС) в монолитном строительстве.

Представленный в работе анализ эффективности труда и организационно-технологических факторов в монолитном строительстве показал, что совершенствование технологий и механизация производства монолитных работ, а также рациональное использование организационных факторов позволит повысить производительность труда и качество работ. Повышение производительности труда, снижение стоимости работ и энергетических затрат обеспечивается применением современных строительных композитов и внедрением высокопроизводительной технологии, совершенствованием технологии всех переделов, включая без вибрационную укладку СУБ ТС.

1.1. Современное состояние и перспективы развития монолитного строительства

Как известно, в отечественном строительстве очень долго время доминировало сборное строительство в силу своих известных отличительных особенностей. Но сегодняшнее соотношения монолитного строительства и строительства из сборных железобетонных конструкций в мире и в стране явно не в пользу последнего, хотя нужно отметить противоречивость статистических данных, предоставляемых различными организациями, уполномоченными для этого на уровне ООН. Мировые рейтинги использования монолитного бетона для возведения зданий и сооружений также не могут гарантированно обеспечить объективность публикуемых данных по динамике и объемам.

Представленные данные (рисунок 1.1) отвечают за долю применения монолитного бетона и железобетона для устройства конструктивных элементов возводимых объектов строительства в этих странах, т. е. недостающие до 100 доли для каждой страны обеспечивают производство в них сборных ЖБК [5].



Рисунок 1.1. - Соотношение применения конструкций из монолитного бетона и сборного железобетона в современном строительстве [5]

Отдельно следует отметить соотношение сборного и монолитного строительства в КНР. В зависимости от назначения объекта строительства выбора конструктивных решений и геометрических показателей доля использования монолитного бетона может составить от 40 до 100%.

Несмотря на очевидное преимущество возведения зданий из сборного железобетона по таким важным параметрам как трудозатраты и сроки строительства, монолитные здания, как известно, имеют целый ряд несомненных достоинств:

- широкий выбор архитектурно- планировочных решений и возможность проектирования зданий со свободной планировкой помещений;
- высокая стойкость к влиянию техногенных и других негативных факторов от внешней среды;
- высокая сейсмоустойчивость, обеспечивающаяся возможностью создания жестких и прочных стыков в местах соприкосновения конструкций [6].

К другим несомненным достоинствам строительства монолитных зданий следует отнести [7]:

- отсутствие стыков и создание за счет этого гладких поверхностей;
- уменьшение времени строительства зданий и сооружений из монолитного железобетона за счет более гибкого использования поточной организации технологии производства работ;
- увеличение сроков службы зданий и сооружений до 150…200 лет за счет применения современных бетонных композитов и материалов для бетона;
- уменьшение веса монолитных зданий на 15…20 % в сравнении с кирпичными в связи с высокой несущей способностью бетона и создания многослойных конструкций;
- уменьшение стоимости отделочных работ в виду высокой строительной готовности стен и потолков практически сразу после их устройства;

- обеспечение возможности производства работ в холодный период года (при температурах окружающей среды до –25 °С);

- удешевление стоимости устройства опалубочных систем и возведения монолитных конструкций за счет использования современных организационно - технологических подходов и использования передовых технологий производства бетонных работ.

Выраженная пластичность монолитного железобетона, его способность формироваться практически в любых пространственных очертаниях и обеспечивать непрерывность силовой схемы конструкций делают этот материал особенно востребованным при возведении зданий и сооружений сложной архитектурной конфигурации - от плавно изогнутых оболочек концертных залов до высокоштабных ядровых ячеек небоскрёбов [8]. Критически важным преимуществом является и адаптивность технологии к экстремальному природно-климатическому фону: монолитные каркасы успешно применяются как в сухих жарких регионах, где требуются смеси с пониженной усадкой, так и в условиях грунтов вечной мерзлоты Крайнего Севера, где повышенная трещиностойкость обеспечивает долговечность [9].

На этом фоне строительство высотных объектов стало одним из ведущих градостроительных трендов последних двух десятилетий. Согласно отчёту CTBUH, количество зданий высотой более 200 м, сданных в эксплуатацию в мировом масштабе, увеличилось с 23 шт. в 2000 г. до более чем 170 шт. в 2024 г., причём 9 из 10 высоток возводятся именно по монолитной схеме [10]. Таким образом, дальнейшее развитие мегаполисов практически немыслимо без монолитного бетона, позволяющего проектировать гибкие по плану, устойчивые и долговечные вертикальные структуры.

В настоящее время ярким штрихом цивилизованных мегаполисов стали небоскребы − высотные здания, строительство которых вносит отдельный вклад в историю строительной отрасли. Строительство таких зданий это своеобразный вызов инженерам-строителям, которые на протяжении длительного времени вели активный поиск научных познаний с целью

теоретического обоснования и практической реализации концепции высотного строительства на основе всемерного использования новых достижений в области строительного материаловедения, обоснования конструктивных решений и расчета конструкций с использованием современных расчетных цифровых комплексов, использования современных подходов к технологии и организации строительного производства. Разработка таких проектов способствует прогрессу строительной отрасли, которое возможно только на основе широкого применения инновационных технологий по всем направлениям развития отрасли.

Если говорить об используемых материалах, то нужно понимать, что 21 век –это век новых материалов и, прежде всего, бетонов с уникальными свойствами, которые в полной мере должны отвечать требованиям морозостойкости, огневой и ударной стойкости, требуемой долговечности при эксплуатации в условиях агрессивного воздействия. Поэтому, для решения задачи высотного строительства с материаловедческой стороны требуется разработка линейки рецептур бетонов с различными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Безусловно, для дальнейшего расширения высотного домостроения необходима разработка и внедрение новых опалубочных систем с применением в качестве палубы опалубки термостойких, прочных и долговечных материалов, включая и композитные, а также предусматривать эффективные методы механизации бетонных работ с использованием новейших бетононасосов и бетоноукладчиков. Кроме того, в обязательном порядке необходимо предусматривает комплексную механизацию производства бетонных работ и проектировать передовые ускоренные методы устройства конструкций на базе применения поточной организации производства работ возведения здания.

Таким образом, эффективность проектирования высотного здания наряду с экономикой проекта зависит от комплексного решения градостроительных задач, выбора архитектурно-планировочных и

конструктивных решений, а также одновременного учета при этом природно-климатических и геологических условий строительства.

Расширение объемов монолитного строительства вызвало необходимость решения разнообразного комплекса проблем. Причем целый ряд из них требует решения на новом научно-техническом уровне.

С самого начала внедрения монолитного строительства встала проблема унификации опалубки, так как самые различные организации начали изготавливать свои конструкции опалубок. Последнее вело к удорожанию изготовления этих опалубок, не обеспечивало качества их изготовления, затрудняло специализацию заводов на изготовление опалубки, тормозило типовое проектирование, что сражу же ведет к сильному удорожанию проектирования.

Поэтому по всей территории бывшего СССР было разрешено применение для монолитного строительства опалубки только системы «Гражданстрой». Однако, сам комплект чертежей на опалубку этой системы так и не был централизованно выполнен, и организации, продолжая изготавливать свои системы опалубок, просто называли их опалубками системы «Гражданстрой». И только опыт, взаимное общение строителей - «монолитчиков» привели все системы опалубки к определенной степени унификации.

Практически полностью унифицированным по всем странам СНГ можно считать лишь модуль размеров опалубки - 300 мм (размеры опалубки кратны 300 мм).

Унифицированная система переставных опалубок, сочетающая в себе объемно-переставную туннельную, блочную и крупнощитовую опалубки при оборачиваемости до 300 раз, обеспечивает снижение удельных трудозатрат на опалубочные работы на строительной площадке до 0,3-0,4 чел.-ч./м^2 (человеко-часов на один квадратный метр).

Большое значение имеет комплектность опалубки, то есть закрытие подобранным комплектом опалубки всех опалубливаемых поверхностей.

Некомплектность ведет к необходимости или конструирования объемов из крупнощитовой опалубки с трудоемкостью около 1,0 чел.-ч./м^2, или использования мелкощитовой опалубки с трудоемкостью опалубочных работ до 2,5-3,0 чел.-ч./м^2. То есть трудоемкость опалубливания «неукомплектованных» площадей возрастает в 3-10 раз.

Экономическая эффективность внедрения новой, предлагаемой для использования в работе, опалубочной системы должен определяться сопоставлением предлагаемой с наиболее эффективной ранее использованной опалубочной системой. В зависимости от выбранного критерия (сроки строительства, оборачиваемость опалубки, стоимость) выбирается наиболее эффективный или по одному из этих показателей, или по их единовременному учету. Как известно, строительство существенно осложняется в холодный период года, при так называемых зимних условиях производства работ, особенно это касается возведения конструкций зданий и сооружений из монолитного бетона. Как известно, при отрицательных температурах процесс гидратации цемента существенно замедляется или вовсе прекращается и, поэтому и для обеспечения твердения бетона и проектной оборачиваемости опалубки требуется создание температурно-влажностных условий, при которых температура выдерживания была не менее чем + 5 градусов по Цельсию.

При этом требуется достижение к концу регулируемого срока выдерживания бетона достижение необходимой прочности по показателю морозостойкости.

В теплый период года для увеличения сроков оборачиваемости опалубки и уменьшения сроков распалубки также пользуются различными методами ускорения твердения бетона.

Из методов «зимнего» бетонирования и методов ускорения твердения бетона наибольшее распространение имеет тепловая обработка, которая в монолитном строительстве производится часто различными методами электротермии.

Так, например, получила внедрение греющая опалубка с нагревательными элементами - панелями типа ЭОС-02-И1 ЕН-87 и др., уже освоенными промышленностью. Такие греющие опалубки применяются в основном для обогрева тонкостенных конструкций (стен и перекрытий).

Применяются также низкотемпературные нагреватели (типа провода ПОСхВТ). Сущность способа заключается в том, что провод ПОСхВТ, находящийся в бетоне, нагревается при пропускании электрического тока. Провод закрепляется на арматурных стержнях каркасов перед укладкой бетонной смеси. Способ простой, но сложно обеспечить сохранность провода в процессе бетонирования конструкций, особенно вертикальных. Недостатком этого способа является также и то, что необходимо большое количество провода, что ведет к удорожанию работ.

Разработана также термоактивная опалубка с использованием в качестве нагревателя кабеля ПНСФЭ.

Получил применение электрообогрев бетона в греющей опалубке с использованием греющих панелей из керамзитобетона. Недостатком здесь является то, что эти нагреватели имеют значительную массу, а их нормативный коэффициент теплопередачи теплоизоляционного слоя превышает 3,5 Вт/(м^2°С). Кроме того, высокая температура на металлической поверхности палубы, а также неравномерный обогрев приводят к тому, что на поверхности бетона образуются белые пятна, что является результатом дегидратации гидрата окиси кальция.

Для тепловой обработки монолитных конструкций, возводимых в туннельной опалубке, часто применяют камерный обогрев, использование которого в сочетании с применением горячих бетонных смесей позволяет производить бетонирование монолитных конструкций в зимний период при температуре наружного воздуха до -25°С. При этом продолжительность тепловой обработки может составлять около 12-16 часов.

При наличии приобъектных полигонов наряду с другими способами используется и тепловая обработка железобетонных изделий за счет

солнечной энергии [11,12] путем укрытия поверхности изделия СВиТАП (световоспринимающим и теплоаккумулирующим покрытием). Такая гелиотермобработка может совмещаться с дублирующим источником тепла, как, например, с электронагревателями, вмонтированными в поддоны форм для изготовления железобетонных изделий.

Так как солнечная радиация в течение суток меняется от нуля и до максимума, а сроки распалубки и момент укладки бетонной смеси могут попасть на любое время суток, то для повышения гибкости гелиотермообработки ее применяют и с теплоаккумулятором, который, как правило, располагается в поддоне формы для изготовления изделия. Теплоаккумулятор может использоваться как при наличии дублирующего источника тепла, так и без него. В качестве теплоаккумулятора могут служить парафинсодержащие вещества: гач или парафиновый дистиллят, вода, бетон или другие материалы, способные аккумулировать в себя значительное количество тепла при большой активности солнца, а затем медленно отдавать тепло.

Помимо тепловой обработки, как для зимнего бетонирования, так и просто для ускорения твердения бетона могут применяться химические добавки. Часто добавки применяют параллельно с тепловой обработкой.

Использование химических добавок сокращает время выдерживания бетона на 10-12%. В связи с тем, что добавки в бетон являются самым универсальным, технологичным и эффективным средством для повышения производительности труда и улучшения качества бетона, ожидается дальнейшее расширение применения различных химических добавок для тяжелых и легких бетонов.

Одним из больших преимуществ монолитного строительства при существующей организации работы стройиндустрии является, как уже отмечалось выше, незначительная зависимость (или почти полная независимость) строительной площадки от заводов железобетонных изделий. Это является одним из существенных факторов, которые позволяют получить

большую выработку в «монолите». И строительные организации, не желая терять эту «автономию», часто используют приобъектные полигоны, где изготавливают конструкции, формование которых «на месте» осложнено или невозможно по технологии или организации производства работ. Иными словами, на этих полигонах стараются изготавливать все необходимые им сборные конструкции и изделия.

При рассмотрении вопроса комплектации опалубкой различных конструкций в любом здании легко просматриваются конструкции (лестничные марши, вентблоки и т.д.), изготовление которых усложнено в монолитном исполнении. Здесь встает вопрос оптимального сочетания монолитных и сборных конструкций, а также вопрос о месте изготовления последних: на приобъектном полигоне или на заводе железобетонных изделий (ЖБИ).

Большие резервы повышения общей эффективности строительного производства содержатся в правильном учете возможностей заводов и строительных площадок монолитного домостроения.

Но камнем преткновения в повышении эффективности работы заводов ЖБИ является большая номенклатура изделий, как главная причина, порождающая ненадежную работу заводов, срывов последними сроков поставки на площадки сборных конструкций и изделий. Здесь при хорошем взаимодействии заводов и площадок монолитного домостроения заводы могли бы снизить номенклатуру, поставляя площадке только те конструкции, которые выгоднее получать с заводов и монтировать, чем делать в «монолите». А для площадки появилась бы возможность свободнее выбирать варианты сочетания сборных и монолитных конструкций и избегать необходимости создания приобъектных полигонов, особенно когда это осложнено климатическими условиями, ограниченностью площадей на стройплощадке или параметрами конструкций. Кроме того, это дало бы большие возможности в выборе объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений.

Основа дальнейшего развития монолитного строительства состоит в постоянном совершенствовании технологии и организации строительного производства. При возведении монолитных зданий и сооружений резко возрастает по сравнению со сборным строительством объем работ на строительной площадке, и поэтому выбор технологии и организации работ на площадке приобретает особую роль и, в конечном счете, определяет эффективность монолитного строительства.

При наличии соответствующих мощностей эффективно параллельное возведение комплекса монолитных зданий, то есть организация поточного производства с комплексными потоками, так как в этом случае можно обеспечить оптимальную организацию бетоносмесительных узлов и эффективное использование бетононасосов, применение которых на отдельно строящихся объектах не обеспечивает их достаточной загрузки.

С другой стороны, перенос в «монолите» центра тяжести бетонных работ на строительную площадку и многофакторность при этом задачи оптимизации процесса возведения здания или сооружения требуют большой самостоятельности строительных управлений в выборе организационных и технологических решений по конкретным объектам и в оперативном управлении производством.

Необходимо отметить, что эффективность монолитного домостроения может быть обеспечена только при создании специализированных на «монолите» организаций с оснащением их необходимым комплектом технологического оборудования. При этом особую специфику приобретает снабжение опалубкой. Последняя, как отмечалось выше, в оптимальном случае должна привязываться к каждому конкретному объекту и иметь при этом максимальную оборачиваемость (амортизация 100 т опалубки составляет около 20 тысяч рублей в год в ценах 1984 года). Эти два требования одновременно могут быть решены лишь в том случае, когда опалубка будет сосредотачиваться в одной организации, обеспечивающей комплектацию

опалубкой объектов нескольких (или нескольких десятков) подрядчиков, которые будут арендовать опалубку.

Гарантированное обеспечение требуемых характеристик бетона на всех этапах - от замеса до эксплуатации - представляет собой краеугольный камень технологии монолитного строительства. Одним из самых ответственных переходных моментов является распалубка, то есть снятие опалубочных щитов и передача части эксплуатационных или монтажных нагрузок на свежеуложенный бетон. Параметры этого перехода определяются множеством взаимосвязанных факторов: температурно-влажностным режимом внутри сечения, временем и способом предварительного прогрева (или, наоборот, охлаждения) смеси, скоростью испарения капиллярной влаги с поверхности, фактической динамикой набора прочности цементного камня и конструктивным положением элемента в общей силовой схеме здания [13].

Особенно критичен период сразу после распалубки, когда наружные слои бетона, ещё не набрали достаточной прочности, оказываются под воздействием внешней среды. При одновременном сочетании солнечной радиации, ветровой силы и низкой относительной влажности воздуха процесс обезвоживания может приводить к резкому росту усадочных деформаций и снижению окончательной прочности на 5–10 % [14]. Поэтому в передовых зарубежных стандартах (EN 13670:2022, ACI 347 R21) распалубка жёстко увязана с онлайн моделями зрелости бетона, тогда как отечественные нормативы (СП 70.13330 2018) до сих пор оперируют единым минимально допустимым порогом 70 % от проектной прочности для большинства условий.

Возросший объём «монолита» обнажил экономическую несостоятельность единой величины: каждый процент дополнительной прочности, «выращиваемой» искусственным теплом, эквивалентен 2–2,5 кВт·ч электроэнергии на кубометр смеси, а в масштабе всего 25 этажного секционного дома это выражается более чем в 150 МВт·ч [15]. Ряд исследователей предлагают многоступенчатую шкалу распалубочной прочности с учётом:

- класса бетона (B25–B60);
- вида цемента (портландцемент, композиционный, пуццолановый);
- длительности паротепловой обработки или режима естественного созревания;
- ожидаемых монтажных нагрузок и схемы поддержек перекрытий;
- проектной влажностной усадки.

Однако до настоящего времени отсутствует унифицированная методика, позволяющая проектировщику и производителю работ оперативно выбрать безопасное и одновременно экономичное время снятия опалубки. Экспертное сообщество видит решение в комбинации трёх подходов: (а) установлении дифференцированных нормативных значений для различных технологий бетона (в том числе СУБ и УБК), (б) широком применении датчиков зрелости и встроенных чипов RFID для фиксации температуры/влажности внутри сечения, (в) цифровом моделировании процесса гидратации с использованием полевой обратной связи [16].

Таким образом, вопрос оптимизации распалубочной прочности остаётся открытым и требует дальнейших экспериментально аналитических исследований, особенно в контексте распространения высокопрочных бетонов с низким водоцементным отношением и добавками наноструктурированных минералов.

Эта проблема уже поднималась относительно изготовления сборных конструкций с применением для тепловой обработки возобновляемых источников тепла (в первую очередь солнечной энергии). Для монолитного же строительства этот вопрос особенно актуален, так как распалубочная прочность бетона является здесь определяющим параметром в технологии и организации производства работ. Именно от ее величины зависят и сроки распалубки (а значит и общие темпы работ, и оборот опалубки), и затраты на ускорение твердения бетона.

Однако, рациональное решение, как последнего отмеченного вопроса, так и доминирующего большинства других, невозможно вне общей

организационно-технологической схемы производства работ на объекте, то есть без учета общей технологии и организации работ по возведению всего объекта. Невозможно вырвать отдельный вид строительно-монтажных работ из объектного потока и отделить процесс возведения отдельного объекта из комплексного потока строительства группы зданий или сооружений.

Таким образом, процесс возведения современных монолитных зданий, включая и высотные, требует обеспечения соблюдения комплекса организационно-технологических мероприятий, направленных на оптимизацию сроков выполнения работ, снижение трудовых и материальных затрат на их устройство, обеспечение требуемого качества возводимых конструкций, с одновременным определением наиболее эффективных вариантов по стоимости. Нужно понимать, что в настоящее время все этапы проектирования жизненного цикла (проектирования, строительство и эксплуатация) высотных зданий представляют собой решение сложного комплекса архитектурно-технических задач, которые требуют всестороннего учета разнообразных факторов, непосредственно влияющих на прочность, устойчивость и красоту высотного здания. По мере развития строительной мысли появляются ранее неизвестные возможности в архитектурно-строительных решениях, в конструировании, совершенствуется и расширяется перечень применяемых материалов и средств оснащение, что в целом способствует выходу монолитного высотного строительства на ранее не достижимые высоты.

1.2. Возведение монолитных конструкций на основе использования бетонов на техногенном сырье

Бетон остаётся доминирующим строительным материалом: по оценке Global Cement & Concrete Association совокупный выпуск в 2024 г. превысил 4,1 млрд м³ и демонстрирует устойчивый прирост порядка 2 % в год [17]. Более половины этого объёма приходится на монолитное домостроение; именно монолитный железобетон сегодня опережает все альтернативные материалы

как по абсолютным объёмам, так и по темпам внедрения в жилищном, общественном и индустриальном секторе [18]. Практический опыт подтверждает, что в ряде случаев интегральные технико-экономические показатели «монолита» превосходят решения из кирпича или сборного ЖБК: экономия стали достигает 10–15 %, энергозатраты снижаются до 30 %, единовременные вложения в производственную базу — на 20–30 %, суммарная трудоёмкость падает на четверть, а календарные сроки строительства укорачиваются примерно на 10 % [19]. Дополнительным преимуществом является меньший удельный расход цемента — в среднем на 8–10 кг на кубометр смеси - за счёт оптимизированного зернового скелета и плотной структуры композита [20].

Особенно ощутима выгода монолитного бетона там, где сложные геологические условия, повышенная сейсмичность, слаборазвитая дорожная сеть или нехватка предприятий полносборного домостроения. В таких регионах мобильные бетоносмесительные узлы и переставные опалубочные системы оказываются более рентабельными, чем доставка крупногабаритных панелей [21].

Если говорить о техногенном сырье как о резерве эффективности, то можно заметить, что рост объёмов «монолита» актуализирует вопрос рационального использования вторичных минеральных ресурсов. Для Чеченской Республики проблема стоит особенно остро: плановый снос устаревших зданий, последствия вооружённых конфликтов и стихийных бедствий сформировали значительные скопления лома бетона и железобетона. По данным Минстроя ЧР [22], к 2024 г. накоплено свыше 3 млн т таких отходов, что эквивалентно ресурсу на 200 000 м³ повторно приготовленного бетона класса не ниже В25. Локальное вовлечение этого материала в ремонтно-восстановительные и новые стройки снижает транспортное плечо и сокращает стоимость кубометра смеси на 12–14 %.

Второй крупный техногенный источник региона - золошлаковые накопители теплоэлектроцентралей, работающих с 1929 г.; мощность отвалов

местами превышает 10 м, а общий объём оценивается в 18 млн. т. [23]. Хотя использование золы уноса и шлаков в цементно-бетонной отрасли давно известно, унифицированные методики подбора составов с учётом химико-минералогической вариабельности этих отходов пока не стандартизированы. Современные технологии тонкого дробления, активации поверхности и применения высокоэффективных суперпластификаторов (на основе поликарбонатов) позволяют кардинально расширить «оконную область» пригодных составов. Экспериментальные серии Института строительных материалов РАН показали, что введение 25 % активированной золы уноса вместо цемента в самоуплотняющемся бетоне сохраняет подвижность S6 и позволяет достичь прочности 46–48 МПа на 28 сутки [24].

Переходя к специфике заполнителя из дроблёного бетона, принципиальное отличие вторичного щебня от природных горных пород - наличие на поверхности зёрен слоя цементного камня, а иногда и цельных фрагментов раствора. Количественная доля этой «растворной» составляющей возрастает по мере уменьшения размера фракции: если для щебня 20-40 мм она близка к исходной доле цементного камня, то в фракции 5-10 мм достигает 70 % и более, что обусловлено характером разрушения бетона на дробилке [25]. Наличие пористого корочного слоя увеличивает водопоглощение, дробимость и изнашиваемость щебня, а также ведёт к росту расхода воды в тяжёлых бетонах до 15 %, а в растворах мелкозернистого состава - до 13 % относительно природных заполнителей [26].

Для компенсации этих эффектов предложены следующие приёмы:

- многостадийное селективное дробление с отсевом слабосцементированных фракций;
- введение модифицированных поликарбоксилатных водоредуцирующих добавок с повышенным сорбционным сродством к C S H фазам;
- предварительное насыщение вторичного щебня технической водой либо суперпластификаторным раствором (техника «предварительного замачивания щебня»).

Комплексное применение указанных методов позволяет уменьшить водопотребность на 9–11 %, повысить морозостойкость бетона до F200 и снизить истираемость при циклическом трении на 15 % - до уровня, приемлемого для конструкций наружного каркаса и дорожно-аэродромных плит [27].

Существующая методика устройства монолитных конструкций на основе использования бетонов на техногенном сырье включает в себя следующие технологические переделы: подготовительные работы, производство бетонной смеси, опалубочные работы, армирование, бетонирование, выдерживание, уход за бетоном и контроль качества работ.

Подготовительные работы включают анализ техногенных материалов и разработку рецептуры бетона. В рамках анализа проводят лабораторные испытания золошлаковых смесей, дробленого бетона и металлургических шлаков, определяют их активность, зерновой состав и содержание вредных примесей. Разрабатывают оптимальное соотношение компонентов бетона: цемент составляет 20-25%, техногенные заполнители — 50-65%, добавки — по необходимости. Также подбирают суперпластификаторы для достижения требуемой подвижности (П5-П6).

Производство бетонной смеси осуществляется с учетом технологических особенностей: перемешивание в два этапа - сначала сухие компоненты, затем добавление воды и добавок; контроль температуры смеси не выше +30°С; используют автоматизированный дозирующий комплекс с погрешностью не более 1%. Транспортировка осуществляется с помощью миксера с термоизоляцией, время доставки не должно превышать 90 минут.

Опалубочные работы требуют усиленной герметизации стыков (давление до 80 кН/м²) и применения разделительных составов на минеральной основе. Контроль геометрии выполняется лазерным сканированием с точностью 0,5 мм и сопоставляется с BIM-моделью.

Армирование включает использование композитной арматуры, совместимой с техногенными бетонами, а также автоматизированную вязку

каркасов роботизированными комплексами. Контроль осуществляется ультразвуковым методом для проверки защитного слоя и визуальным осмотром узлов сопряжений.

Бетонирование проводится по технологии послойной укладки высотой не более 50 см при скорости 10-15 м³/час. Используются глубинные вибраторы с ограничением времени обработки (20-40 секунд). В процессе укладки устанавливаются датчики температуры внутри бетона и контролируется давление на опалубку.

Уход за бетоном включает термовлажностную обработку: укрытие поверхности пленкой или геотекстилем, поддержание влажности не менее 95% в первые 72 часа, а при температуре воздуха ниже +5°С — прогрев. Твердение контролируется методом зрелости бетона и ультразвуковым тестированием прочности.

Контроль качества включает испытания на прочность (испытание кубов размером 15×15 см), проверку водонепроницаемости и морозостойкости. Документирование ведется через электронный паспорт конструкции и внесение протоколов испытаний в BIM-систему.

Технико-экономические показатели показывают экономию цемента на уровне 15-20%, снижение себестоимости на 12-18%, уменьшение углеродного следа на 35-40% и повышение скорости строительства на 20-25%. Эта технология особенно эффективна для массивных фундаментов, стеновых конструкций и вертикальных несущих элементов. Перед применением обязательно проводят предварительные испытания каждого вида используемого техногенного сырья.

1.3. Применение самоуплотняющихся бетонов в современном монолитном строительстве

Самоуплотняющийся бетон (СУБ-бетон) появился как ответ на две взаимосвязанные тенденции - сокращение рабочей силы на стройплощадках и

усложнение железобетонных конструкций, требующих идеальной однородности материала даже при густом армировании [28, 29]. Первые опыты с «литой» смесью высокой удобоукладываемости датируются концом 1960-х годов: норвежцы применили нафталин формальдегидный суперпластификатор при отливке опор платформы «Ekofisk» [30]. Одновременно британские инженеры экспериментировали с подобными смесями на Северном море [31]. Высокая подвижность достигалась, но через час транспортирования конус осадки резко «садился», а при прокачивании на дистанции свыше 200 м смесь расслаивалась и теряла прочность поверхности [32].

В 80 - х годах прошлого века задачи усложнились: пролёт подвесного моста «Акаси Кайкё» в Японии превысил пятьсот метров, в Нидерландах бетонировали гигантские охранные дамбы в дельте Рейна, а подземные транспортные узлы Швеции нуждались в быстром наборе прочности без виброуплотнения [33, 34]. Научная группа Хаджами Окамуры в Токио предложила радикальное решение: вместо повышения водосодержания добавить в смесь крупную дозу тонкомолотого «порошка» - цемент плюс минеральный микрофиллер, а жидкость удерживать «щёточными» поликарбоксилатными цепями сверхпластификатора [35, 36]. Полученная композиция с водоцементным отношением около 0,30 сама стекала вокруг арматуры и не выделяла воду.

Промышленное применение не заставило себя ждать. При сооружении бетонной преграды «Ояма» (1998) в западной Японии строители сократили календарный график на четыре месяца и уменьшили численность бригад втрое [37]. Следом шведские дорожные фирмы заливали 17 километровый «Södertälje link» составом прочностью 60 МПа, а индийские подрядчики возводили скоростную эстакаду в Мумбаи бетоном класса 75 МПа с добавкой микрокремнезёма [38; 39]. К началу XXI века объёмы СУБ в Западной Европе превысили миллион кубометров в год, и организации EFNARC, RILEM и ISO создали рабочие группы по регламентации его свойств [40, 41].

Материалу приписывают «три S»: self-flowing, self-passing и self-levelling (саморастекающийся, самопроникающийся и самовыравнивающийся бетон). Практически это означает, что расплыв бетонной смеси по конусу достигает 600–800 мм, время истечения через V воронку лежит в пределах 6–25 с, а соотношение h_2/h_1 в испытательном ящике L-образной формы превышает 0,80. Смеси, расплывающиеся ближе к нижней границе, подходят для плит и слабого армирования; «верхний» диапазон используют при шаге стержней 60 мм и менее [42, 43, 44].

Важна и вязкость: слишком «жидкая» смесь теряет заполнители до завершения укладки; слишком «вязкая» перестаёт огибать каркас. Баланс достигают комбинацией крупнозернистого песка, щебня 5–10 мм с минимальной лещадностью и 150–200 кг микропорошка на кубический метр бетонной смеси [45, 46].

Современный состав российского СУБ - 60 включает: 400 кг цемента CEM I 52,5 H, 80 кг известняковой муки и 60 кг золы уноса, 825 л среднего намывного песка, 300 кг диабазового щебня, 150 л воды и ≈ 5 кг поликарбоксилатного ЭКО ПЦ СП. Такой материал растекается до 700 мм за три секунды, не расслаивается и набирает 64 МПа к 28-му дню [47, 48].

Преимущества очевидны. Отсутствие вибраторов экономит до 40 % трудозатрат и снижает акустическое воздействие на окружающих; заполнение формы собственным весом исключает каверны на стенках и улучшает сцепление с арматурой [49]. Благодаря плотной структуре коэффициент диффузии хлорид ионов уменьшается почти вдвое, что критично для причалов и метромостов [50]. Сокращение обустройства защитного слоя до 15 мм даёт возможность использовать стеклопластиковую арматуру или встроенные кабель-каналы без утолщения стенок [51]. Кроме того, СУБ успешно «зеленеет»: в программе Horizon 2020 «Eco SCC» до 60 % портландцемента заменили гранулированным шлаком и золой при прочности 70 МПа [52].

Область применения самоуплотняющегося бетона стремительно расширяется. Например, при строительстве атомных объектов использование

СУБ помогает избежать образования пустот и полостей («гнёзд») монолитных конструкциях; в мостовом строительстве этот бетон прекрасно подходит для укладки на большие расстояния по трубопроводам до 400 метров; в промышленных полах высокая начальная подвижность позволяет использовать СУБ как самовыравнивающуюся стяжку. Даже технологии 3D-печати уже используют СУБ: китайские инженеры, например, напечатали арку длиной девять метров, используя бетон, модифицированный гидросиликатом алюминия [53].

Ключевым преимуществом технологии самоуплотняющегося бетона (СУБ) является её высокая адаптивность. Путём незначительной корректировки дозировок микропорошков и суперпластификаторов возможно варьировать реологические свойства смеси в широком диапазоне (таблица 1.1).

Таблица 1.1 Составы бетонных смесей для СУБ, применяемых в различных странах мира

№№ пп	Компоненты СУБ	Расход составляющих на 1 м^3 самоуплотняющейся бетонной смеси, применяемой в различных странах			
		Япония	Евросоюз	США	Индия
1	Вода, кг	175	190	180	163
2	Портландцемент, кг	530	280	357	330
3	Наполнитель, кг	70 (зола)	245 (известняк)	119 (гранулированный шлак)	150 (высоко кальциевая зола)
4	Мелкий заполнитель, кг	751	865	936	917
5	Крупный заполнитель, кг	789	750	684	764
6	Добавка суперпластификатор, кг	9	4,2	2,5	2,4

Так, выпускаются как текучие составы типа SF3, предназначенные для конструкций с плотным армированием, так и более вязкие смеси типа VF2, применяемые, в частности, для декоративных элементов и тонкостенных архитектурных форм. При этом водоцементное отношение поддерживается в стабильных пределах 0,28–0,38, что обеспечивает долговечность изделий вне зависимости от их геометрии и условий эксплуатации. Отечественная промышленность активно следует за научными разработками: производители

сухих строительных смесей уже предлагают поликомпонентные «СУБ-концентраты», в которых микрофиллеры, суперпластификаторы и вспенивающие агенты подбираются с учётом характеристик местного минерального сырья. На строительной площадке необходимо лишь дозировать щебень и воду. В настоящее время исследователи ТГТУ и НИУ МГСУ изучают возможность введения в состав СУБ тонкодисперсных карбонатных отходов сульфатного калиевого производства. Параллельно, специалисты из Сколтеха прогнозируют перспективное использование наноцеллюлозы в качестве реологических модификаторов, способных ограничивать сегрегацию при сверхвысоких значениях расплыва.

Несмотря на сравнительно высокую стоимость пластифицирующих добавок, в частности поликарбоксилатов, данный недостаток компенсируется экономией в потреблении цемента и сокращением трудозатрат. Например, при прочности 60 МПа, расход вяжущего в СУБ может быть на 15–20% ниже по сравнению с традиционными виброуплотняемыми бетонными смесями аналогичного класса, а цикл укладки сокращается примерно на треть. Таким образом, самоуплотняющийся бетон утрачивает статус «экзотической» технологии и становится рациональным выбором для массового монолитного строительства, особенно в тех случаях, когда качество поверхности и долговечность конструкции имеют приоритетное значение перед минимизацией стоимости одного кубического метра смеси.

Бетонная смесь для самоуплотняющегося бетона характеризуется низким водоцементным отношением 0,38…0,4, при этом достигая очень высокого показателя удобоукладываемости до 70 см (таблица 1.2). Прочность получаемого материала составляет до 100 МПа.

Таблица 1.2 – Классификация бетонных смесей для производства самоуплотняющихся бетонов

Наименование бетонной смеси	Обозначение	Назначение и области применения самоуплотняющихся бетонов

Высокоподвижная (FlowabilitySlump-flow)	SF1 (550…650 мм)	Неармированные или низкоармированные бетонные конструкции – плиты перекрытий, трубопроводы, облицовки туннелей, фундаментов.
	SF2 (660…750 мм)	Большинство обычных сооружений – колонны, стены.
	SF3 (760…850 мм)	Вертикальные элементы, густоармированные конструкции сложных форм, торкретирование.
Вязкая (Viscosity)	VS1/VF1(вязкость менее 8 секунд)	Конструкции и изделия, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и не требующие дополнительной обработки.
	VS2/VF2 (вязкость 9…25 секунд)	Конструкции невысокого класса прочности. Ввиду повышенной расслаиваемости тиксотропные свойства быстро изменяются за небольшой промежуток времени, что ограничивает расстояние транспортировки.
Легкоформуемая (Passingability)	PA 1	Вертикальные сооружения, домостроение, конструкции, армированные с шагом от 80 до 100 мм.
	PA 2	Инженерные сооружения, армированные с шагом от 60 до 80 мм.
Устойчивая к расслоению (Segregation resistance)	SR1(расслаиваемость не более 20%)	Высотные элементы, за исключением тонких балок, вертикальные сооружения, армированные с шагом до 80 мм. Максимальное расстояние транспортировки менее 5 метров.
	SR2(расслаиваемость не более 15%)	Стены и тонкостенные профили, армированные с шагом свыше 80 мм. Максимальное расстояние транспортировки более 5 метров.

Чтобы иллюстрировать описанные выше свойства СУБ, на рисунке 1.2 показана визуальная аналогия: густой мёд и высокоподвижная цементно-песчаная суспензия свободно вытекают, демонстрируя схожую вязко пластическую реологию.



Рисунок 1.2. – Сравнение реологии самоуплотняющегося бетона

На рисунке 1.3 зафиксирован стандартный тест «расплыв по конусу Абрамса».

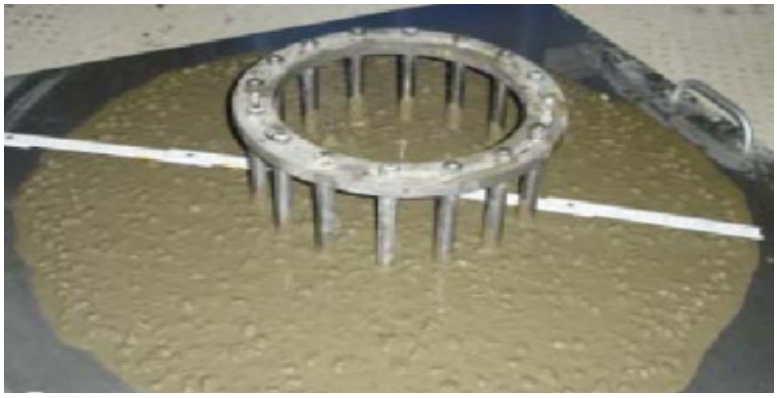


Рисунок 1.3. – Подвижность самоуплотняющегося бетона

Кольцо ограничитель удалено, и самоуплотняющаяся смесь равномерно растекается до круглого пятна без сегрегации, что подтверждает класс SF2/SF3 и отсутствие блокирования щебня в каркасе. Эти изображения подчёркивают ключевое преимущество материала: сочетание низкого сопротивления течению с высоким сопротивлением расслоению, что обеспечивает полное заполнение формы без вибрации даже в густоармированных зонах.

Отказ от виброуплотнения при использовании самоуплотняющегося бетона (СУБ) существенно повышает безопасность и снижает уровень шума на строительной площадке.

Кроме того, высокая степень формообразования позволяет получать поверхности с зеркальной гладкостью, что практически устраняет необходимость в дополнительной отделке, такой как шпатлевание или шлифовка.

Бетонная смесь обладает устойчивостью к длительной транспортировке, сохраняя подвижность до двух часов, что особенно важно при бетонировании удалённых участков высотных сооружений [54].

Оптимизация технологических операций - таких как вибрирование, устранение дефектов и вырубка каверн - приводит к сокращению общего цикла монолитных работ в среднем на 15–20 %, а численность полевой рабочей бригады может быть уменьшена практически вдвое [55]. Универсальность самоуплотняющегося бетона подтверждена при реализации масштабных инженерных проектов: например, при строительстве моста Акаси Кайкё в Японии, шведской скоростной магистрали «Сёдра Лэнкен», а также эстакады «Бандра–Уорли» в Мумбаи, где СУБ с добавлением микрокремнезёма обеспечил достижение ранней прочности 75 МПа и расплыв по конусу до 700 мм [56].

Высокая плотность структуры и минимально развитая капиллярная сеть значительно снижают проницаемость бетона для углекислого газа, ионов хлора и сульфатов, что существенно замедляет процессы коррозионного разрушения арматуры. В связи с этим СУБ широко рекомендуется для не только возведения монолитных колонн и плит перекрытий (рисунок 1.4), но и для изготовления также крупноформатных железобетонных изделий, устройства бесшовных промышленных полов, проведения торкрет-ремонта плотин и усиления конструкций с пониженной несущей способностью [57].



Рисунок 1.4. - Возведение железобетонных конструкций из самоуплотняющихся бетонных смесей

Области применения СУБ-бетона:

- густоармированные конструкции, с низким просветом арматуры;
- конструкции сложной формы;
- высокие конструкции и блоки бетонирования;
- сверхмассивные монолитные ж/б конструкции;
- конструкции с высокими требованиями к качеству лицевой поверхности;
- высокопрочные конструкции;
- при производстве ЖБИ.

Прочностные характеристики и долговечность самоуплотняющегося бетона (СУБ) в значительной степени зависят от морфологии макропор и свойств контактной зоны между цементным камнем и зернами заполнителя. Именно границы между зернами заполняющего материала и матрицей формируют микроструктурные прослойки, в которых процессы гидратации протекают по-иному, чем в основном объёме материала. В результате действия адсорбционных и капиллярных сил в этих зонах происходит локальное обеднение водой, а миграция гидроксида кальция ($Ca(OH)_2$) приводит к формированию кристаллитных структур в виде своеобразных

«ободков» толщиной порядка 10–15 мкм. Прочность данных переходных зон в плотных бетонах может быть в 4-5 раз ниже прочности основного цементного камня, вследствие чего именно здесь возникают очаги микротрещинообразования [58].

Одним из эффективных решений данной проблемы является комплексная модификация бетонной смеси с использованием ультрадисперсных минеральных добавок (в том числе золы-уноса, микрокремнезёма и металлургических шлаков) в сочетании с поликарбоксилатными гиперпластификаторами. Мелкодисперсные частицы эффективно уплотняют структуру контактной зоны, снижая её пористость, а пуццолановая активность этих компонентов способствует связыванию свободного $Ca(OH)_2$, негативно влияющего на коррозионную стойкость арматуры. Поддержание водоцементного отношения на уровне ≤0,35, возможное благодаря использованию гиперпластификаторов последнего поколения, приводит к формированию более плотного и мелкозернистого геля C–S–H, сокращая средний диаметр капиллярных пор в 1,5–2 раза [59, 60].

Результаты экспериментальных исследований композитных составов, содержащих 10 % комбинированной минеральной добавки (микрокремнезём + зола ТЭС), продемонстрировали увеличение прочности на 28 сутки до 105 МПа. Кроме того, коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания/оттаивания возрос на 25 % по сравнению с контрольным образцом. Существенное снижение тепловыделения в процессе гидратации позволяет использовать такие составы при устройстве массивных монолитных блоков, где критически важно снижение риска температурного растрескивания [61].

Золы-уноса в качестве минеральной добавки является сегодня, пожалуй, идеальным вариантом и должны стать непременным атрибутом современной технологии изготовления тяжелых бетонов и особенно СУБ.

В отличие от других добавок зола уноса оказывает положительное воздействие на свойства бетона и особенно на СУБ.

Как и другие инертные добавки, она выполняет роль наполнителя, что делает бетон более плотным, прочным, повышает морозостойкость и водонепроницаемость.

Зола уноса, особенно высококремнистая, обладает пуццолановыми вяжущими свойствами и способна заменить часть цемента.

Шарообразная форма частичек, особенно высококремнистой золы с содержанием 40,0% и более SiO_2, придает ей свойство, получившее название «шарикоподшипниковый эффект», благодаря которому улучшается скольжение цемента и песка по стекловидной поверхности частичек золы.

Подобное реологическое влияние существенно улучшает пластифицирующие свойства бетонной смеси.

Это позволяет уменьшить количество воды затворения бетонной смеси, что при оптимальном количестве цемента способствует получению самоуплотняющегося бетона с высокими свойствами, такими как плотность и прочность.

При использовании золы уноса для производства самоуплотняющихся бетонов с равной подвижностью бетонной смеси обнаруживаются следующие преимущества:

– Увеличение подвижности бетонной смеси до П5, ОК=28 см, РК (расплыв конуса) 65-70 см без снижения прочности бетона.

– Повышение прочности бетона на 30% и более.

– Снижение расхода цемента до 30% и более.

– Получение бетонов с повышенной водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Улучшение сцепления СУБ с закладной арматурой в 1,2 – 1,4 раза.

Сокращение времени и энергозатрат на тепловлажностную обработку бетона.

Возможность заполнения опалубки железобетонных изделий без виброуплотнения.

Увеличение оборачиваемости форм.

Как видно, эффективность применения золы-уноса при производстве тяжелых бетонов не вызывает сомнений, особенно для СУБ.

1.4. Анализ эффективности труда и организационно-технологических факторов в монолитном строительстве

Технология монолитного строительства представляет собой не просто совокупность приёмов укладки бетонных смесей, но и ключевой инструмент, формирующий экономику всего инвестиционно-строительного проекта. Сокращение длительности производственного цикла и снижение себестоимости достигаются за счёт оптимизации поточных графиков, применения разборно-переставной опалубки с высокой оборачиваемостью, а также за счёт использования самоуплотняющегося бетона (СУБ), не требующего трудоёмкой виброуплотняющей обработки [62].

Сравнительный анализ трудозатрат показывает, что при равных производственных ресурсах использование СУБ позволяет снизить объём трудозатрат в 1,6–1,8 раза. Это, в свою очередь, способствует увеличению коэффициента фондоотдачи капитальных вложений до уровня 0,28 руб./руб., тогда как для традиционного виброуплотняемого бетона данный показатель не превышает 0,19 руб./руб. [63].

Дополнительные экономические и организационные преимущества обеспечиваются за счёт внедрения технологий информационного моделирования (BIM). Виртуальная симуляция процессов бетонирования позволяет выявить узкие места в логистике до начала строительных работ, что обеспечивает возможность предварительной оптимизации расстановки бетононасосов, складов инвентаря и маршрутов подачи материала без потери производственного ритма. Согласно отчёту ООО «Монолит Инжиниринг» (2023 г.), использование цифровых технологических карт в рамках проекта делового центра «Балтийский квартал» в Санкт-Петербурге позволило сократить продолжительность бетонных работ на 18 календарных дней [64, 65].

Для обеспечения эффективности строительного производства необходимо обеспечить выход в единицу времени готовой высококачественной продукции при одинаковых затратах, т.е. когда темпы роста объема строительной продукции опережают темпы роста совокупности затрат труда. Для решения этой задачи необходимо реализация комплекса экономических, организационно-технических и технологических мер при планировании, проектировании, ресурсном обеспечении и возведении зданий и сооружений.

В реальных условиях непрерывного роста капитальных вложений без существенного прироста численности работающих перевод строительного производства на интенсивный путь развития является не только необходимым, но и единственно возможным условием для решения поставленных задач [66].

Анализируя, в общем, развитие сборного и монолитного железобетона, необходимо отметить опережающее развитие строительной индустрии по производству сборного железобетона. Его применение увеличило объемы строительно-монтажных работ с 9,5 млрд. руб. в 50-х годах прошлого столетия до 70 млрд. руб. к середине 80-х гг., что позволило вводить в эксплуатацию, начиная с 1990 г., более 500 млн. м2 жилой площади в каждую пятилетку [67].

В наши дни монолитный железобетон превратился в универсальный «конструктор» для большинства отраслей. Статистика профильных ведомств показывает (рис. 1.5), что 40 % всех объёмов литых конструкций расходуются на промышленное и специальное строительство, ещё 35 % — на жилищно-гражданские объекты, 10 % - на транспортную инфраструктуру и 15 % — на сельскохозяйственные сооружения [68].

Высокая доля промышленных работ объясняется возможностью формировать массивные безшовные оболочки сложной геометрии, тогда как в жилом секторе ценится свобода планировочных решений и энергоэффективность сплошных стен. Литые технологии позволяют отказаться от дорогостоящих шовных соединений: сравнение ленточных

фундаментов показало, что монолитная схема дешевле сборной на 30 %, при этом расход стали снижен на 16–25 %, цемента - на 8-19 % [69].

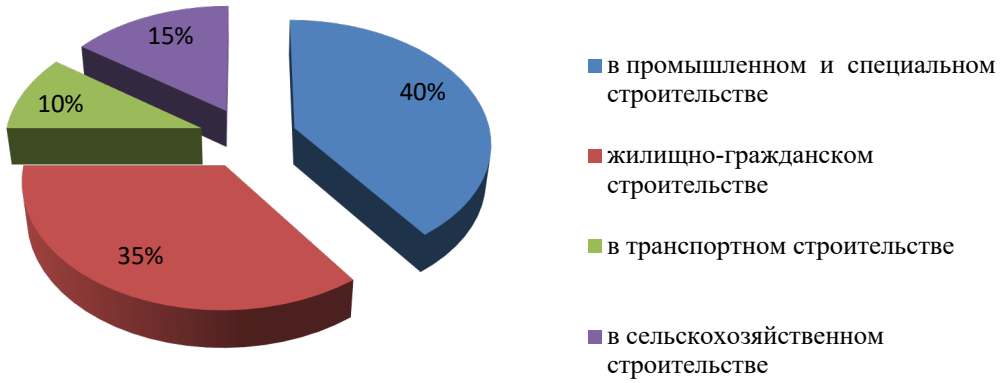


Рисунок 1.5. - Динамика применения монолитного бетона и железобетона в различных отраслях строительсва

Создание собственной панельной базы требует крупных капиталовложений, тогда как для монолита достаточно арендного парка многооборотной опалубки и одной автоматизированной РБУ, поэтому единовременные затраты на производственную инфраструктуру уменьшаются на 30-40 % [70].

Архитекторы получают полный простор для свободных планировок: ядра жёсткости и безбалочные плиты дают любой шаг колонн, а отсутствие монтажных швов улучшает теплотехнику и акустику [71].

Особенно важно сократить трудовые затраты. Паспорт трудоёмкости типового жилого каркаса (таблица 1.3) показывает, что свыше 60 % ручного труда приходится на опалубку и укладку смеси; внедрение самоуплотняющихся составов (СУБ) и лёгких щитовых систем уменьшает эти значения почти вдвое [72].

Ускорение работ достигается четырьмя группами резервов [73]:

– Совершенствование предметов труда - рациональные схемы армирования, мобильные опалубки, высокоподвижные смеси.

– Совершенствование орудий труда - бетононасосы с распределительной стрелой, краны манипуляторы, цифровые RFID метки для отслеживания щитов.

Таблица 1.3 Численность рабочих и распределение их по категориям труда в монолитном строительстве

Технологические процессы	Численность рабочих, %	Категория труда		
		с использованием машин	с использованием ручных машин	ручной труд
Приготовление бетонной смеси	8,7	8,1	—	0,6
Доставка бетона	5,7	4.9	—	0,7
Распределение и укладка бетонной смеси	36,3	5,6	13,4	17,4
Уход за бетоном	7,1	—	—	7,0
Изготовление арматурных изделий	7,2	3,9	1,4	2,0
Установка арматуры	4,6	0,4	0,6	3,7
Изготовление опалубки	5,9	1,2	1,9	2,8
Установка и разборка опалубки	24,5	0,2	0,4	23,9

- Оптимизация организации производства - поточные графики, параллельная работа захваток, модульные инженерные сети.

– Организация труда - современные формы оплаты, комфортные бытовки, постоянное обучение.

Исследования зарубежных авторов показывают: каждые 10 % роста производительности снижают себестоимость объекта на 4–5 % [74]. На

реконструкции терминала «Port East» (Нидерланды) внедрение СУБ и опалубочных башен сократило график на 26 дней и сэкономило 18 тыс. чел·ч [75].

Экологическая составляющая также важна: современные РБУ с рекуперацией тепла барабана [72] снижают удельный расход энергии на 12–15 %, а замена 20 % клинкера зольным комплексом уменьшает углеродный след на 90 кг CO_2 экв. на 1 м³ бетона без потери прочности (45 МПа на 28 суток, В/Ц = 0,5).

В ближайшие годы доля монолита в надземных частях (сейчас 20–25 %) будет неуклонно расти. При реконструкции промышленных корпусов литой каркас позволяет надстроить этаж, не демонтируя существующих балок, а в жилом секторе обеспечивает свободные планировки и исключает «звенящие» стыки.

Общая доля механизированного труда составляет менее 25 %, 18% работ выполняется с использованием ручных электрических и пневматических машин, но характер труда этой части рабочих может быть классифицирован как тяжелый с неблагоприятными воздействиями вибрации и шума и большими физическими нагрузками.

Отечественные статистики и эксперты объектов пилотов давно заметили: если вести литые работы «как привыкли», без тщательной подготовки графиков и без модернизации оборудования, трудоёмкость на площадке растёт, а календарная продолжительность затягивается. Впрочем, методические опросы показали, что даже при нынешнем техническом уровне можно достичь ощутимого прогресса, сосредоточив усилия на слабых звеньях процесса [76, 77].

Из таблицы 1.4 видна приоритетность трёх направлений: опалубка, поставка/укладка смеси и организация работ. Именно здесь «дешёвые» резервы могут дать наибольшую отдачу [78].

Таблица 1.4 Эффективность монолитного строительства

Показатель	Шкала рангов, %	
	Промышленное и гражданское строительство	Монолитное домостроение
Механизация циклов «приготовление → доставка → укладка»	18,6	27,6
Заводская заготовка арматурных изделий	10,2	13,4
Индустриальность опалубочных операций	20,8	15,7
Конструктивная «технологичность» проектных решений	17,3	12,3
Методы ускоренного твердения (ЭТО, СВЧ, СУБ)	11,4	10,7
Организационные факторы (логистика, графики, кадры)	21,7	20,6

Статистическая оценка уровня технологии ведения работ в монолитном строительстве по затратам рабочего времени (трудоемкость работ) согласуется с результатами экспертных оценок и составляет: на опалубочных работах 21…24%, приготовление бетона - 7…10%, арматурных работах 11…16%, транспортирование и укладку бетонной смеси - 52…60%.

На передовых стройках монолитного домостроения трудоемкость отдельных видов работ характеризуется более высокими показателями [78]:

монтаж опалубки…….. 24,2

армирование…….. 8,8

бетонирование……... 17,3

демонтаж опалубки…….. 17,4

Специализация производства, и частичная индустриализация работ даже на современном этапе позволяют существенно перераспределить трудозатраты на отдельных видах работ. Так, трудоемкость бетонирования

может быть снижена в 1,5. . .2 раза. Показатели трудозатрат во многом зависят от уровня технологии и степени механизации. Для передовых строек зарубежных стран затраты ручного труда составляют, %: на арматурных работах — 6; опалубочных - 22; на транспортирование и укладку бетона — 8. Общие затраты ручного труда достигают 40. . .45, т.е. на 15. . .20 % ниже, чем в нашей стране.

Совершенствование технологий и механизация работ, а также рациональное использование организационных факторов позволит повысить производительность труда и качества работ. Повышение производительности труда, снижение стоимости работ и энергетических затрат связано с внедрением высокопроизводительной технологии, совершенствованием технологии всех переделов.

Повышение технического уровня монолитного строительства позволит снизить себестоимость работ на 15. . .20 %, а трудоемкость на 20...35 %.

К основным факторам роста производительности труда следует отнести:

повышение уровня индустриализации монолитного строительства;

повышение уровня механизации, комплексной механизации и автоматизации производства;

совершенствование технологии и организации строительного производства;

совершенствование организации труда и управления.

Из перечисленных факторов определяющими являются: совершенствование технологии ведения бетонных работ с соответствующим повышением уровня технологичности механизации и индустриализации процессов, а также организационные факторы. По данным исследований, на современном этапе развития предпочтение отдается организационному фактору. На его долю прирост производительности труда может достигать 30-40 %, в то время как технические и технологические решения позволяют поднять производительность труда в пределах 20-25% [79].

Практика показывает, что экономить ресурсы без дополнительных инвестиций удаётся прежде всего за счёт организационной специализации [80]. Проектировщики, технологи и производственники работают как единая цепочка:

– на этапе ППР все литые процессы разбиваются на логические переделы;

– под каждый передел формируется узкопрофильная бригада (бетонная, арматурная, опалубочная);

– графики синхронизируются так, чтобы смесь прибывала в момент готовности арматуры и опалубки;

– контроль ведётся по BIM модели с ежедневным «слайс обновлением».

Подобная схема апробирована при возведении жилого комплекса «Север Park» (М.О.): при том же фонде машин и людей длительность цикла одного этажа сократилась с 11 до 8 суток, расход смеси на непроизводительные проливы упал на 5 % [81].

Неудовлетворительная эксплуатация специализированной техники в большинстве строительных организаций ведет к снижению выработки и увеличение простоев, что вызвано неритмичностью монолитного строительства и слабой подготовкой постоянного фронта работ. Средняя годовая выработка бетононасосов. В зависимости от уровня организации работ, колеблется от 1,25 до 7,1 тыс. м^3, автобетоносмесителей - 1,2. . .7,7 тыс. м3, бетоновозов и самосвалов - 2,1...4,2 тыс. м^3.

Рациональное использование техники подразумевает её интеграцию в единый машинный комплекс. «Ведущей» принято считать машину, которая задаёт темп (чаще всего это бетононасос или кран манипулятор). Остальные агрегаты - растворопроводы, виброрейки (если применяются), панели переставной опалубки, нагревательные маты - синхронизируются по пропускной способности и времени цикла [82].

Переход от разрозненных механизмов к комплексу дал следующие результаты на экспериментальной площадке Мос-ГЭС-2:

- выработка бетононасоса увеличилась с 38 до 52 м³/ч;
- простой кранов сократился на 27 %;
- расход дизтоплива уменьшился на 14 % за счёт стабилизации темпа.

Помимо экономии, комплексная схема упрощает техобслуживание: вся техника обслуживается одним ППР участком, запчасти унифицированы, а штат сервис бригад сокращён почти на треть [83].

Создание специализированных строительных подразделений существенно повысит производительность труда и качество работ, снизит потери материальных и энергетических ресурсов при условии стабильного материально-технического снабжения.

В условиях специализации повышается выработка на 1 рабочего: при приготовлении бетона до 1000 $м^3$/чел, при доставке бетона до 4060 $м^3$/год; при укладке и уплотнении - 675 $м^3$/год; на арматурных работах до 240 т/год; на опалубочных работах - 2217 $м^2$/год. В то же время для неспециализированных организаций эти показатели в 1,2...1,5 раза ниже.

Производство бетонных работ силами специализированных подразделений может обеспечить снижение численности рабочих на 5...11% при относительном увеличении численности машинистов на 1,5...2%. При этом уровень ручного труда снизится на 1,5...3%. Один из путей совершенствования организации индустриального монолитного домостроения лежит в создании мощных технически оснащенных генподрядных организаций (строительных управлений и трестов), имеющих в своем составе строительно-монтажные и отделочные подразделения, а также проектно-технологические группы. Это позволит более оперативно влиять на качество работ и маневрировать ресурсами.

Дальнейшее развитие монолитного строительства должно базироваться на широком использовании прогрессивных технологий с использованием новых опалубочных систем, механизированных средств укладки и уплотнения, энергосберегающих технологий ускоренного твердения бетона.

Выводы по главе 1

1. Изучение состояния и перспектив развития монолитного строительства показал, что процесс возведения современных зданий, включая и высотные, требует обеспечения соблюдения комплекса организационно-технологических мероприятий, направленных на оптимизацию сроков выполнения работ, снижение трудовых и материальных затрат на их устройство, обеспечения требуемого качества возводимых конструкций с одновременным определением наиболее эффективных вариантов по стоимости. Установлены ранее неизвестные возможности в архитектурно-строительных решениях, в конструировании, совершенствуется и расширяется перечень применяемых материалов и средств оснащение, что в целом способствует выходу монолитного высотного строительства на ранее не достижимые высоты.

2. Выполненный литературный обзор состояния проблемы использования СУБ- бетонов в монолитном строительстве свидетельствует, что это инновационный материал, решающий ключевые проблемы современного строительства. Его разработка была вызвана необходимостью сокращения трудозатрат, повышения качества укладки в густоармированных конструкциях и снижения влияния человеческого фактора. Благодаря высокой подвижности, плотной структуре и способности заполнять формы без вибрации СУБ обеспечивает ускорение строительных процессов, улучшение механических свойств бетона (прочность, водонепроницаемость, морозостойкость) и снижение эксплуатационных расходов.

3. Минеральные заполнители и наполнители природного и техногенного происхождения - эффективные компоненты для СУБ, улучшающая его технологические и эксплуатационные характеристики. Применение минеральных заполнителей (зола-уноса) позволяет увеличить подвижность смеси без потери прочности, снизить расход цемента (до 30%), повысить долговечность бетона (водонепроницаемость, морозостойкость) и улучшить сцепление с арматурой. Её шарообразные частицы работают как

микроскопические подшипники, облегчая текучесть смеси, а пуццолановая активность способствует образованию плотной и прочной структуры. Это делает золу - уноса незаменимым компонентом в производстве высококачественного самоуплотняющегося бетона.

4. Анализ эффективности труда и организационно-технологических факторов в монолитном строительстве показал, что пути совершенствования организации индустриального монолитного домостроения лежит в создании мощных технически оснащенных генподрядных организаций (строительных управлений и трестов), имеющих в своем составе строительно-монтажные и отделочные подразделения, а также проектно-технологические группы. Это позволит более оперативно влиять на качество работ и маневрировать ресурсами. Дальнейшее развитие монолитного строительства должно базироваться на широком использовании прогрессивных технологий с использованием новых опалубочных систем, механизированных средств укладки и уплотнения, энергосберегающих технологий ускоренного твердения бетона.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА

Моделирование процесса строительства является основой поиска оптимальных проектных решений. Полнота и надежность используемой модели определяют возможности пользователя в проектировании и управлении строительством с помощью этой модели. Полнота модели характеризуется степенью отражения в ней всех свойств процесса. Надежность определяется точностью прогноза по модели ожидаемых результатов и приспособляемостью модели к изменяющимся во времени условиям строительного производства.

Моделирование организационно-технологической схемы строительства является задачей динамического (так как поиск решений и их оптимумов осуществляется во времени) и стохастического (так как имеем дело с вероятностной системой) программирования. А так как включаемые в общую схему для ее полноты функциональные модели имеют в основном нелинейный характер, то имеем задачу нелинейного программирования. Это все, естественно, усложняет процесс моделирования схемы строительного производства.

Различными авторами рассмотрен целый ряд принципов и способов решения данной задачи, пути упрощения ее решения, обеспечения точности и устойчивости получаемой модели строительства. В настоящей работе рассматриваются в основном три принципа, которые используются для моделирования организационно-технологических схем строительства.

Первый принцип определяет необходимость комплексности модели, так как без этого не обеспечивается точность и устойчивость моделей строительного производства. То есть все отдельные свойства моделируемого объекта должны быть увязаны в единую модель. Преимущества таких комплексных моделей можно оценить, проведя аналогию с многофакторными эмпирическими моделями. Последние в отличие от однофакторных (или

«малофакторных») моделей прослеживают не только зависимость исследуемого выхода (результата того или иного процесса) от каждого отдельного фактора, но и устанавливают взаимосвязь влияний всех включенных в модель факторов на выход. А это в свою очередь означает, что влияние каждого фактора на результат просматривается не в одной какой-то ситуации, а во множестве (при различных сочетаниях значений всех других факторов).

Второй принцип предполагает наличие обратной связи для возможности более полного участия пользователя в самом процессе. Сначала составляется один вариант модели, а затем уже идет его корректировка и оптимизация с возвратом на разные ступени моделирования. При этом последнее не исключает изменения и всех первоначальных параметров организационно-технологической схемы, то есть составления полностью новой модели.

Некоторая оптимизация показателей полученной организационно-технологической схемы может быть выполнена и на готовой модели (после получения модели), но, как будет показано ниже, эффект от такой оптимизации весьма незначителен по сравнению с оптимизацией в процессе моделирования. Возможности поиска оптимальных решений имеются и на этапе первоначального моделирования, но здесь пользователь может еще не «чувствовать» модели из-за многофакторности задачи, вследствие чего тяжело надежно спрогнозировать результаты с первого шага или с первых шагов.

Этот принцип дает особенно большой эффект при применении ЭВМ. Здесь пользователь, являясь специалистом — строителем, работая с ЭВМ в «диалоговом» режиме, имеет возможность обеспечить точность и оптимальность получаемой модели при всей многочисленности влияющих на нее факторов. Диалоговая система выработки решений может быть ориентирована на управленческий персонал строительного управления, участка. Она дает возможность лицу, принимающему решение, работать в контурах регулярного и ситуационного управления. Использование ЭВМ в контуре ситуационного управления направляется на автоматизацию ряда процедур выработки решений, что позволяет в условиях неполной и нечеткой

информации сосредоточить внимание на выполнении наиболее сложного элемента управления - принятия решения.

Третий принцип - это движение от простого к сложному, или же, по-другому, составление сложного из простого с целью максимальной унификации исходных данных для различных вариантов моделей строительства. В настоящей работе предлагается организационно-технологическую схему (общую модель) создавать из двух отдельных схем: технологической и организационной, захватку составлять из ячеек и ярусов, потоки создавать объединением отдельных частных видов работ, то есть рассматривать не один какой-то, может быть хорошо обыгранный на практике, вариант составов потоков, а просмотреть разные случаи.

Можно сказать, что все так и делается при подготовке таблицы работ и ресурсов сетевого графика строительства. Только в нашем случае предлагается все это делать в процессе моделирования конечной общей схемы строительства. То есть при создании сетевой модели предлагается: оперировать не общей топологией, а отдельными ее составляющими; ресурсы при подготовке исходных данных распределять не по захваткам, а по ее «возможным» составляющим; говорить на подготовительном этапе не о потоках, а об отдельных частных видах работ, позволив объединять их в потоки пользователю на стадии составления общей организационно-технологической схемы.

Все это во многие тысячи раз повышает вариабельность принимаемых решений, возможности их изменения и оптимизации. Это же, естественно, увеличивает объем расчетов, которые приходится делать в процессе непосредственного моделирования. Но расчеты, переложенные на современную ЭВМ, не создадут проблем для пользователя.

В работе организационно-технологическая схема разделена на две составляющие части: технологическую схему взаимосвязей потоков и схему организации работ (определение размеров и последовательности освоения фронтов работ). Эти две части выбираются или составляются пользователем в

диалоговом режиме с ЭВМ, а объединяются они в одну организационно-технологическую схему строительства (то есть моделируется последняя) полностью самой ЭВМ.

В настоящей работе при моделировании процесса строительства предлагается рассматривать три ступени:

- подготовка исходных данных по строительному объекту;
- моделирование организационно-технологической схемы строительства;
- оптимизация модели строительства.

При разработке системы моделирования строительства с одновременной разработкой программного комплекса объединяются достоинства всех форм моделей. Так, сетевые графики использованы только для самого процесса моделирования как аппарат для объединения технологической и организационной схем в общую модель строительства и ее обсчета с соблюдением всех связей. Результаты же представляются в виде линейных графиков и циклограмм.

2.1. Подготовка исходных данных по объекту строительства

При разработке системы подготовки исходных данных по возводимому объекту или группе объектов использовался изложенный выше третий принцип, позволяющий максимально унифицировать исходные данные. Другими словами, однажды подготовленные исходные данные, должны служить (без их переработки) для создания всех возможных моделей строительства. Известно, что таблица работ и ресурсов, составляемая при моделировании схемы строительства с помощью сетевых графиков, практически полностью меняется (ее приходится полностью переделывать) при изменении размеров захваток или при изменении составов строительных потоков. При изменении последовательности работы потоков на захватках или при перемене последовательности освоения фронтов работ меняется полностью топология сетевой модели.

В работе исходные данные по возводимому объекту разделены на 2 части (рис. 2.1):

-данные по объемно-планировочным характеристикам объекта, которые должны в последующем служить для определения размеров захваток и их местоположений в пространстве;

-данные по ресурсоемкости объекта.



Рисунок 2.1. - Схема выбора исходных данных для возводимого объекта

По первой части весь строящийся объект (или группа объектов) делится по вертикали на ярусы и по горизонтали - на ячейки причём по горизонтали деление может быть по одной (плоская задача) или двум (если членение объекта на захватки делается и в глубину, то есть по третьей пространственной оси) осям. Так как в реальном строительстве членение объекта на захват вглубь имеет место весьма редко, то в данной работе будет рассматриваться плоская задача, то есть деление объекта по вертикали и по одной оси по горизонтали.

Согласно исходному принципу, за ярус принимается минимально возможный размер захватки по вертикали, а ячейку минимально возможный размер захватки по горизонтали. При этом должна обеспечиваться кратность ярусов и ячеек в захватке. То есть для обеспечения этого условия за ярус или ячейку может быть взята и величина, меньшая, чем соответствующий

минимальный раз мер захватки. Другими словами, размер любой захватки (при любом варианте деления объекта на захватки) должен определяться входящими в него ярусами и ячейками. Так, для объекта, представляющего собой 5-этажный 8-секционныи жилой дом (рис. 2.2) ярусом может служить этаж, так как по вертикали меньший размер захватки в строительстве обычно не берут, а по горизонтали - секция или полсекции, как это имеет место в монолитном строительстве в зависимости от комплекта опалубки. Сразу заметим, что хотя дом и 5-этажный, но ярусов будет в данном примере 6 так как нулевой цикл представляет собой обязательную составляющую строительно-монтажных работ при возведении объектов.

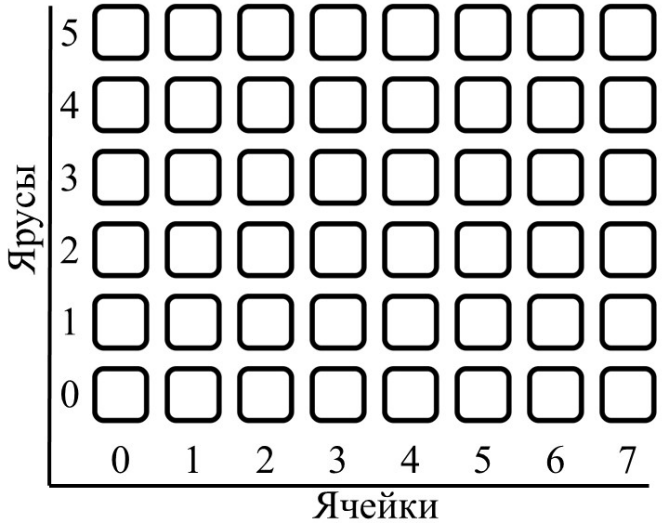


Рисунок 2.2. - Деление объекта на ярусы и ячейки

Такое описание объекта позволяет, привязав к нему ресурсы, менять варианты формирования захваток без изменения данных. Это описание подходит и для моделирования комплексных потоков на строительстве группы объектов. При этом достаточно принять один отдельный объект за ячейку, а количество ярусов принять равным единице. При одинаковых размерах ярусов и ячеек процедура такого описания объекта совсем упрощается и сводится лишь к тому, что пользователь только указывает число ярусов и ячеек объекта, а дальнейшее перекладывается на ЭВМ.

Вторая часть исходных данных – ресурсоемкость объекта. Так как при анализе организационно-технологических схем производства работ

рассматриваются не только ресурсы, поглощаемые объектом, но и привлекаемые людские ресурсы и оборудование в предлагаемой системе все ресурсы разделены на две группы, невозобновляемые и возобновляемые.

Невозобновляемые — это ресурсы, вкладываемые безвозвратно в возводимый объект. Это трудозатраты на объект, затраты машинного времени, расход строительных материалов и конструкций, затраты электрической энергии и т.д. (рис. 2.3.).

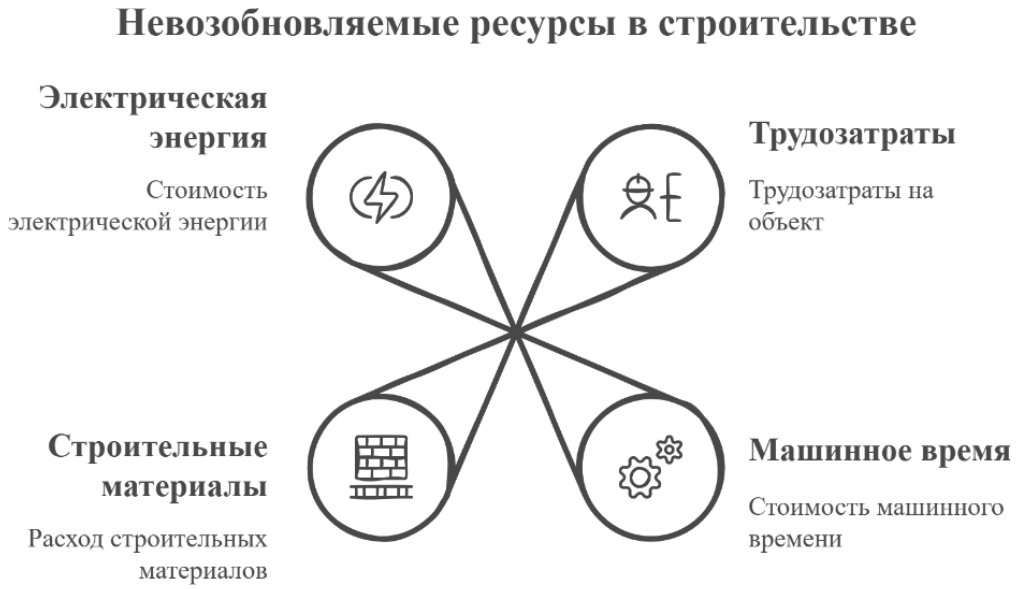


Рисунок 2.3. - Невозобновляемые ресурсы в строительстве

Эти ресурсы определяются в основном объемно-планировочными и конструктивными решениями строящегося объекта. Часть невозобновляемых ресурсов определяется принимаемыми технологическими решениями, то есть и здесь возможны некоторые корректировки в пределах допускаемых технологией вариаций.

Возобновляемые ресурсы — это людские ресурсы и используемый комплект технологического оборудования. В этих ресурсах может быть большое число вариантов, хотя есть ограничения, связанные со структурой технологических схем и возможными ограничениями в схемах организации работ. Возобновляемые ресурсы подбираются и рассматриваются уже на этапе

моделирования организационно-технологических схем, а на этапе подготовки исходных данных рассматриваются только невозобновляемые ресурсы.

В предлагаемой системе исходные данные по ресурсам привязываются к базовым элементам объемно-планировочных характеристик объекта, то есть к ячейкам по ярусам. Это позволяет при изменениях размеров захваток весь последующий за этим пересчет ресурсов по захваткам и потокам переложить на ЭВМ без вмешательства пользователя.

В системе для обеспечения возможности оперирования различными составами потоков предлагается привязать ресурсы к отдельным частным видам работ, из которых могут формироваться потоки. Так, в качестве примера предложено (см. п. 2.2.1) 19 частных видов работ, которые могут включаться в те или иные потоки. Последнее несколько усложняет систему ввода, но увеличивает возможности при моделировании. Пользователь может и отказаться от этих возможностей, если он не собирается при моделировании использовать возможность изменения составов потоков.

Для решения задачи такого описания ресурсов при подготовке исходных данных необходимо или определить в абсолютных величинах ресурсоемкость каждой ячейки каждого яруса для всех видов работ по каждому виду невозобновляемых ресурсов, или распределить с помощью пропорций суммарную ресурсоемкость объекта по частным видам работ (первый уровень распределения), по ярусам объекта (второй уровень) и по ячейкам (третий уровень) (рис. 2.4).

Первый путь лучше при реальном проектировании строительного производства. В учебных целях или для ориентировочных оценок в реальном производстве лучше второй путь. Возможен и третий, смешанный путь.



Рисунок 2.4. - Пропорциональное распределение ресурсов

Здесь, идя первым путём, можно определить в абсолютных величинах распределение ресурсов между специализированными потоками, а дальше (на втором уровне распределения) перейти на второй путь - к распределению ресурсов с помощью пропорций. Аналогично переход на второй путь может быть и только на третьем уровне распределения.

Характер распределения ресурсов с помощью пропорций между частными видами работ, ярусами или ячейками представляется балльными оценками. Все математические расчёты ресурсов перекладываются на ЭВМ. При этом «по умолчанию» предлагается самый распространенный вариант распределения, и пользователю остается или согласиться с предложенным вариантом, или внести свои изменения. Подготовленные таким образом исходные данные универсальны для всех вариантов потоков и захваток, формируемых в процессе моделирования организационно - технологических схем.

2.2. Организационно-технологические схемы оптимального моделирования возведения объекта

Моделирование организационно-технологической схемы строительства включает следующие этапы (рис. 2.5):



Рисунок 2.5. - Этапы планирования строительных проектов

1. Формирование потоков.
2. Подбор или формирование технологической схемы (схем) производства строительно-монтажных работ.
3. Выбор параметров захваток.
4. Выбор последовательности освоения фронтов работ (захваток).
5. Подбор количества возобновляемых ресурсов.
6. Выбор исходного принципа организации работ.

7. Составление топологии организационно-технологической схемы строительства и расчет всех ее временных и ресурсных параметров.

8. Анализ результатов моделирования организационно-технологической схемы строительства.

2.2.1. Формирование специализированных строительных потоков

В качестве конечной цели моделирования рассматривается планирование работы объектного потока (по аналогии, как отмечалось выше, может моделироваться и комплексный строительный поток).

Началом моделирования объектного потока является формирование специализированных строительных потоков. В специализированный строительный поток могут включаться один или несколько частных видов работ.

Формирование тех или иных составов потоков зависит от характеристик строящегося объекта (объектов), от структуры организации подрядчика или одновременно работающих нескольких подрядчиков, от количественного и качественного состава рабочих бригад. Но состав потоков практически полностью определяет все возможные технологические взаимосвязи между потоками и возможности дальнейшего формирования организационно-технологической схемы строительства. Последнее обстоятельство особенно важно, когда стоит вопрос о полной формализации всех технологических и организационных регламентов и взаимосвязей, что, как уже отмечалось, необходимо при перекладывании процесса моделирования строительного производства

Формирование тех или иных составов потоков зависит от характеристик строящегося объекта (объектов), от структуры организации подрядчика или одновременно работающих нескольких подрядчиков, от количественного и качественного состава рабочих бригад. Но состав потоков практически полностью определяет все возможные технологические взаимосвязи между

потоками и возможности дальнейшего формирования организационно-технологической схемы строительства. Последнее обстоятельство особенно важно, когда стоит вопрос о полной формализации всех технологических и организационных регламентов и взаимосвязей, что, как уже отмечалось, необходимо при перекладывании процесса моделирования строительного производства на ЭВМ.

В качестве примера в работе рассмотрены возможные варианты объединения в потоки 19 следующих частных видов работ:

0. Подготовительные работы;
1. Земляные работы;
2. Устройство фундаментов;
3. Устройство монолитных железобетонных стен и перекрытий;
4. Монтаж сборных железобетонных конструкций;
5. Устройство стен и перегородок из штучных материалов,
6. Устройство кровли;
7. Заполнение оконных и дверных проемов;
8. Остекление;
9. Устройство полов;
10. Внутренняя отделка;
11. Наружная отделка;
12. Неучтенные работы;
13. Сантехнические работы;
14. Электромонтажные работы;
15. Устройство вентиляции;
16. Монтаж специального оборудования;
17. Благоустройство территории;
18. Сдача объекта.

Иерархическое их представление приведено на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6. - Иерархия строительных работ

Возможный при таких видах специализированных строительно-монтажных работ вариант организации потоков приведен в таблице 2.1 и на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7. - Вариация для организации потоков частных видов строительно-монтажных работ

Приведенное формирование составов потоков несколько формально и преследует цель показать больше саму методику моделирования, не претендуя на оптимальность и полную объективность.

2.2.2. Обоснование технологической схемы возведения объекта

Под технологической схемой любого процесса понимается взаимосвязь ее отдельных составляющих. В строительстве это взаимосвязь отдельных технологических переделов в едином строительном процессе. В более обобщенном виде в строительном производстве технологическая схема выступает как взаимосвязь специализированных строительных потоков в едином объектном.

В строительстве чаще используется термин «Организационно-технологическая схема», а не отдельно: «Технологическая схема» и «Организационная схема». Это связано с тем, что на практике тяжело разделить многие организационные и технологические параметры, так как они сильно взаимоувязаны и постоянно переплетаются.

Но при поиске путей оптимизации организационно-технологических решений и вообще строительного производства следует разделять эти два понятия. Так, технологическая схема - это более жестко завязанная структура, которая обычно допускает весьма ограниченное число вариаций. Организационная схема определяется, как правило, исполнителем (как он организует работу), и здесь имеет место гораздо большее число возможных вариантов. И если отклонение от той или иной организационной схемы (выполнение работ по другой организационной схеме) чаще ставит вопрос об эффективности работ (экономичность, ресурсоемкость, продолжительность), то отклонение от технологической схемы ставит сразу вопрос вообще о возможности выполнения данного процесса. Поэтому при рассмотрении различных вариантов организации работ, то есть при выборе организационной

схемы процесса, пользователь должен следить за тем, чтобы принимаемые им решения не нарушали технологическую схему.

В данной работе и технологические схемы, и схемы организации работ предлагается представлять в виде сетевых моделей или в виде матриц (таблиц). При этом для изображения сетевых цепочек используется второй способ (рис. 2.8) представления сетевого графика.

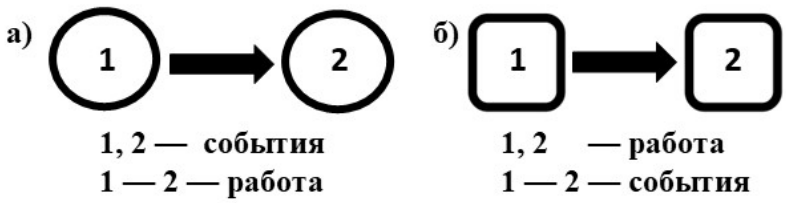


Рисунок 2.8. - Способы изображения сетевых моделей:

а) событие — событие -> работа; б) работа — работа -» связь

Сетевые цепочки используются для ввода технологических схем и для их просмотра. Во всех других случаях (представление организационной схемы, моделирование организационно технологической схемы и ее обсчет) представления технологических схем используются матрицы.

При моделировании организационно-технологических схем используются правила составления и обсчета сетевых графиков, но результаты расчета представляются в виде линейных графиков, циклограмм, столбчатых диаграмм и таблиц результатов моделирования и обсчета. То есть графическое представление организационно-технологической схемы в виде сетевого графика не используется.

Как отмечалось выше, возможные варианты технологических схем определяются содержанием потоков, взаимосвязь между которыми и будет представлять собой технологическую схему.

Для потоков на примере рисунка 2.8, согласно их составам (видам включенных работ), можно предложить варианты технологических схем, показанные на рисунке 2.9. Здесь схема а) определяет строго определенную (один вариант) последовательность работы потоков. В схеме же б) показано, что потоки 2 и 3 технологически не зависят друг от друга.

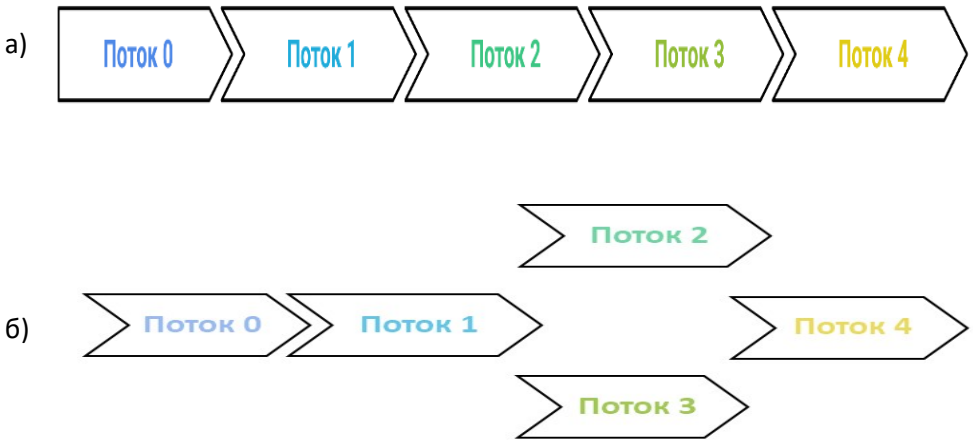


Рисунок 2.9. - Возможные варианты технологических схем для потоков

В организационно-технологической схеме строительства при одинаковых размерах захваток в различных потоках и при одинаковой последовательности работы других потоков на захватках потоки 2 и 3 не могут одновременно начать работу на одной захватке, так как работают фронтальные связи (на одной захватке не могут одновременно работать два потока).

Однако, схема на рисунке 2.10 дает, во-первых, возможность выбирать: какой поток пускать после 1-го потока — 2-й или 3-й (рис. 2.10). Во-вторых, при наличии свободных захваток схема б) позволяет одновременное начало работы потоков 2 и 3 на разных захватках, что возможно или при неодинаковых размерах захваток в различных потоках, или при неодинаковой последовательности работы потоков на захватках. То есть схема б) более гибкая и дает больше возможностей варьировать.



Рисунок 2.10. - Альтернативные варианты технологических схем для потоков

Варианты последовательности работы потоков (рис. 2.9) можно использовать также в сбойных ситуациях, когда по каким-либо причинам очередной (предполагаемый пользователем) поток не может приступить к работе. Схема на рисунке 2.10 более жесткая, так как дает только один вариант последовательности работы потоков. Поэтому она и более уязвима, менее надежна. При задании технологических схем необходимо стараться делать их как можно более гибкими, вариабельными, не накладывать без необходимости связи между потоками.

Представление в виде матриц (таблиц), показанных на рис. 2.10 технологических схем приведено в таблицах 2.1 и 2.2. Здесь приведены номера потоков по горизонтальным рядам и по вертикальным столбцам. Если на пересечении соответствующего ряда и столбца стоит «О», то это означает, что потоки с соответствующими номерами технологически взаимно независимы (или номера ряда и столбца совпадают, то есть это один и тот же поток). Число -«1» означает, что поток с номером, соответствующим номеру ряда, в технологической схеме является «входящим» в поток с номером, соответствующим номеру столбца, то есть последний может приступить к работе только по завершении первого. Число «1» означает обратную отмеченной зависимость между потоками.

Таблица 2.1.Табличное (матричное) представление схемы

Номера потоков	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
0	0	-1	0	0	0
1	1	0	-1	0	0
2	0	1	0	-1	0
3	0	0	1	0	-1
4	0	0	0	1	0

Таблица 2.2 Табличное (матричное) представление схемы

Номера потоков	0	1	2	3	4
0	0	-1	0	0	0
1	1	0	-1	-1	0
2	0	1	0	0	-1
3	0	1	0	0	-1
4	0	0	1	1	0

2.2.3. Выбор параметров захваток

Деление объекта на захватки преследует цель: обеспечить поточность производства строительно-монтажных работ. Без членения объекта на захватки можно организовать только известный последовательный метод организации строительства, когда работы выполняются в строгой последовательности одна за другой.

Захватки определяются, исходя из объемно-планировочных и архитектурно-строительных решений объектов строительства и технологических требований с тем, чтобы обеспечить оптимальные условия производства работ и максимально совместить во времени работу разных специализированных потоков на разных захватках.

Известно, что, чем больше период установившегося потока, тем лучше организация строительного производства, так как в этот период работают все специализированные потоки одновременно, идет равномерное использование всех видов ресурсов.

Кроме того, период установившегося потока имеет место только тогда, когда количество захваток равно или больше числа специализированных потоков, и, чем больше захваток, тем длительнее период установившегося потока.

То есть, чем больше количество захваток, тем лучше. Однако, минимальные размеры захваток, а значит и максимальное их число

ограничивается «разумными» пределами, то есть требованиями обеспечения оптимальных условий работы отдельных специализированных потоков.

Конкретнее, это требование обеспечения необходимого фронта работ для этих потоков на отдельных захватках. Здесь необходимо учитывать, что переходы потоков с одной захватки на другую связаны не только с перемещениями людей, но и необходимостью перемещения всего оборудования, необходимого для выполнения строительно-монтажных работ, подключением соответствующих коммуникаций и т.д., то есть подготовкой к работе соответствующих исполнителей на каждой захватке.

При определении размеров захваток стараются по возможности обеспечить максимально одинаковые по потокам объемы работ на захватках. Это необходимо для обеспечения ритмичности специализированных и объектных потоков или максимального приближения к этому.

При перекладывании процесса моделирования организационно-технологической схемы строительства на ЭВМ необходима полная формализация как процедуры определения размеров захваток, так и их местоположения в пространстве. Автором предлагается использовать следующий способ.

При представлении объемно-планировочного решения объекта строительства в соответствии с принятой методикой (матрица 2.1), размер и местоположение любой захватки можно определить матрицей:

$$Z(j)= \begin{bmatrix} \underline{\text{Нижний ярус}} & \text{Верхний ярус} \\ \text{Левая ячейка} & \text{Правая ячейка} \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

где j — номер захватки, а элементы матрицы показывают входящие в эту захватку ярусы и ячейки. Например, выражение

$Z(1) = [\frac{0.....5}{0.....0}]$ означает, что в первую захватку входят с 0-го по 5-й ярусы 0-ой ячейки, а выражение $Z(1) = [\frac{2.....4}{4.....6}]$ означает, что в 1-ую захватку входят 2, 3 и 4 ярусы 4, 5 и 6-й ячеек.

Представление захваток в таком виде позволяет в процессе моделирования принимать для различных видов работ (потоков) разные размеры захваток. В таких случаях зависимость (2.1) правильнее будет представлять в виде:

$$Z(i,j) = \begin{bmatrix} \underline{\text{Нижний ярус Верхний ярус}} \\ \text{Левая ячейка Правая ячейка} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

,

где i — номер специализированного строительного потока, а j — номер захватки.

Данные матрицы (2.2) дают возможность определять пересечения в пространстве захваток различных видов потоков и таким образом формировать модель строительства с соблюдением принципов поточности (в одном месте в пространстве не может одновременно работать больше одного потока).

Предложенное представление захваток позволяет также формировать общую модель строительства без какой-либо привязки к номерам захваток. То есть номер захватки определяет только ее размеры и местоположение в пространстве, но никак не последовательность ее освоения строительными потоками. Последняя для различных потоков может быть разная, и это обстоятельство, давая больше возможностей в выборе оптимальных вариантов размеров захваток, предъявляет требование определять размеры захваток в различных потоках с учетом конкретных ситуаций (принимаемых размеров

фронтов работ) как в смежных, так и вообще во всех потоках, задействованных на объекте.

2.2.4. Выбор последовательности освоения фронтов работ(захваток)

Последовательность освоения фронтов работ (последовательность работы строительных потоков по захваткам) можно отнести к организационным решениям, но в ряде случаев может жестко определяться технологическими регламентами. Как, например, при возведении коробки здания и при поэтажном формировании захваток, где, естественно осваивать захватки по одной вертикали можно только снизу-вверх.

Оптимальность выбора последовательности освоения захваток может существенно влиять на производительность труда. Правильный выбор может обеспечить оптимальное использование ресурсов, минимальные затраты на перемещение оборудования, максимально исключить простои рабочих и механизмов и достичь минимальной общей продолжительности строительно-монтажных работ по возведению объекта.

Очень важным и существенным является правильный (оптимальный) выбор последовательности работы на захватках при возведении монолитных конструкций. Ранняя загрузка последних (установка сверху опалубки на другой захватке или производство других работ с загрузкой монолитных конструкций) может потребовать обеспечения достижения бетоном более высокой распалубочной для данных условий прочности в ранние сроки.

Практически все методы выбора оптимальной последовательности работы потоков на захватках заключаются в простой переборке всех возможных вариантов. Только принцип Джонсона является теоретически обоснованным методом определения последовательности освоения захваток, обеспечивающих минимальную общую продолжительность строительно-монтажных работ [84, 85]. Во всех других случаях круг поиска может быть сужен только за счет опыта и интуиции пользователя.

2.2.5. Подбор возобновляемых ресурсов

Важным звеном в обеспечении эффективности организационно-технологических решений в строительстве является подбор количества возобновляемых ресурсов. Как описано в п. 2.1, к возобновляемым относятся людские ресурсы (количество рабочих), механизмы и другое оборудование, определяющие производительность, а значит и продолжительность работ. Здесь же можно условно рассматривать и сменность работы, так как это тоже характеризует интенсивность потребления возобновляемых ресурсов и соответственно продолжительность выполнения работ. При подборе количества возобновляемых ресурсов в первую очередь должно обеспечиваться соблюдение технологии производства работ и удобство их выполнения. Затем, регулируя в рациональных пределах количеством этих ресурсов, нужно стремиться к ритмичности объектного или комплексного потока, то есть к максимально эффективной организационно-технологической схеме строительства.

2.2.6. Выбор исходного метода организации работ

Производство строительно-монтажных работ по возведению объекта или группы объектов может быть смоделировано по различным методам [84, 85].

Первое — это метод критического пути (рис. 2.11). При этом методе работа каждого потока на захватке начинается при первой же возможности. То есть строительный поток приступает к работе на данной захватке, как только он освобождается с предшествующей захватки (соблюдается ресурсная связь) и данная захватка освобождается от предшествующего по технологической схеме строительного потока (соблюдается фронтальная связь). Данный метод обеспечивает минимальные общие сроки выполнения строительно-монтажных работ, возможные для данной организационно технологической схемы при принятых количествах возобновляемых ресурсов и при данных размерах захваток и последовательности производства работ на них.



Рисунок 2.11 - Метод критического пути

Но при таком методе организации работ для неритмичных и разноритмичных потоков тяжело обеспечить равномерное потребление ресурсов или непрерывное освоение фронтов работ.

Второй метод — это организация производства работ с непрерывным потреблением ресурсов. При этом методе обеспечивается непрерывная работа каждого потока. Последнее дает большую равномерность потребления ресурсов, но при этом во многих случаях сроки производства работ увеличиваются по сравнению с методом критического пути (рис. 2.12).

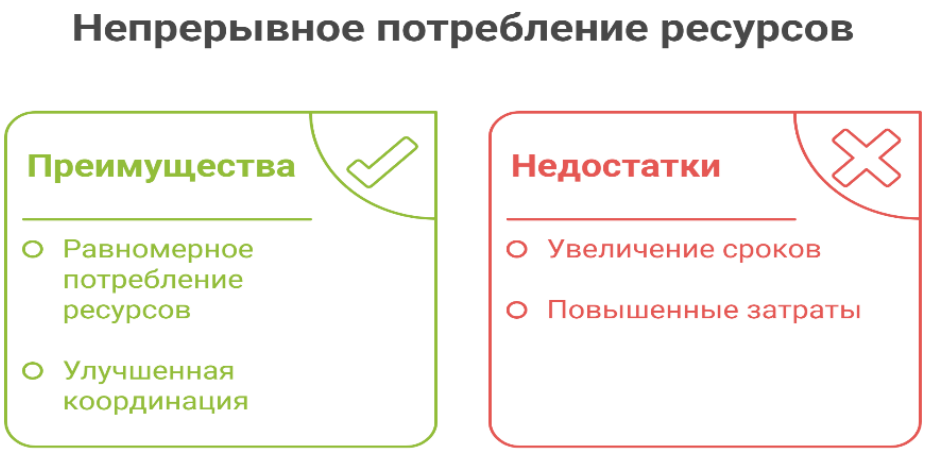


Рисунок 2.12. - Организация производства работ с непрерывным потреблением ресурсов

Третий метод - с непрерывным освоением фронтов работ (рис. 2.13). При этом методе обеспечивается непрерывное производство работ на каждой захватке, начиная с первого по технологической последовательности потока и до последнего. Необходимость такой организации работ может определяться или специфическими условиями (например, при устройстве тепляков в зимних условиях), или со специфическими технологическими требованиями (например, устройство насыпей с послойным уплотнением грунта с оптимальной влажностью), или требованиями к организации работ, когда ограничены сроки производства работ на захватках (например, когда это связано с перекрытием дорог, или отключением коммуникаций), или другими условиями (например, использование в работе потоков дорогостоящего и дефицитного оборудования). При этом способе организации работ может не обеспечиваться минимальная продолжительность работ и равномерное потребление ресурсов.

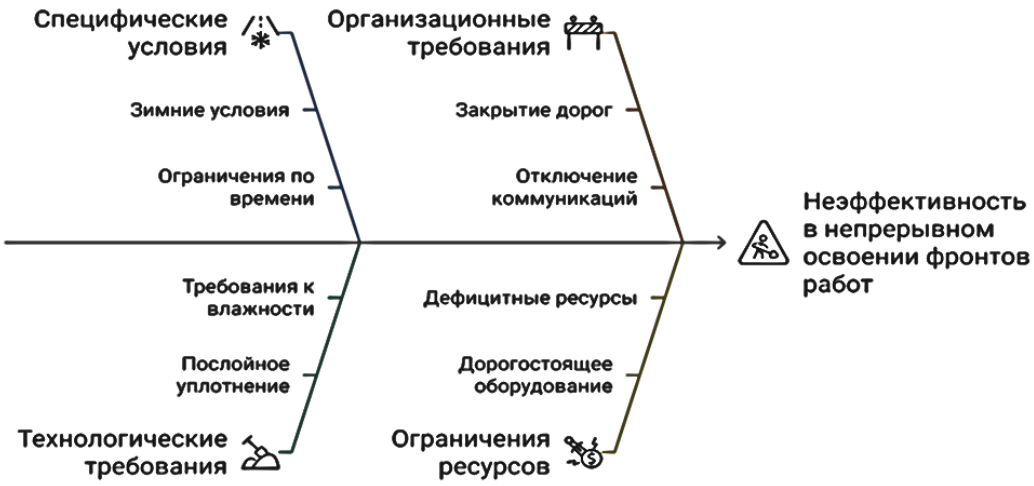


Рисунок 2.13. - Метод с непрерывным освоением фронтов работ

В ряде случаев результаты моделирования по двум или даже всем трем приведенным методам организации работ могут совпадать. Так, для ритмичного объектного или комплексного потока будет один результат для всех трех отмеченных методов.

Существуют и другие исходные принципы (методы) организации работ [84, 85, 88, 89]. В данной работе рассмотрены лишь изложенные три, как имеющие наиболее существенное содержание.

На первом шаге моделирования при наличии возможности выбора, то есть отсутствии жестких технологических или других ограничений, требующих строго определенного метода организации работ, за исходный принцип предпочтительнее принимать метод непрерывного использования ресурсов. Имея результаты по этому методу, можно посмотреть, что даст метод критического пути, какие при этом могут быть сокращения сроков строительства и каковы негативные последствия, а именно: каковы будут при этом методе простои ресурсов, и каких ресурсов.

2.2.7. Составление топологии организационно-технологической схемы строительства и расчет всех ее временных и ресурсных параметров

Этот этап является наиболее трудоемким и здесь много расчетов. Поэтому для обеспечения многовариантности и гибкости создаваемой модели строительства данный этап необходимо полностью переложить на ЭВМ. Разработанная для этого программа, как правило, имеет довольно сложную структуру, особенно на этапе составления топологии сетевой модели. Она позволяет выполнить данный этап при любых вариантах правильного (без ошибок) выполнения, предшествующих шести этапов. К ошибкам относятся такие, как неправильное задание технологической схемы, когда не все связи между потоками отражены, задание нулевых людских ресурсов (такие работы, естественно, не могут выполняться и при расчете их продолжительности будет иметь место деление на ноль) и т.д.

2.2.8. Анализ результатов моделирования организационно-технологической схемы строительства

Для анализа результатов, полученных при моделировании организационно-технологической схемы, необходимо просмотреть показатели по срокам строительства, отдельные технико-экономические показатели,

графики выполнения строительно-монтажных работ, потребность в различных видах ресурсов во времени, максимально необходимое количество ресурсов в единицу времени, равномерность их потребления, простои ресурсов или захваток.

В результате анализа (рис. 2.14) полученных по модели данных могут иметь место три случая:

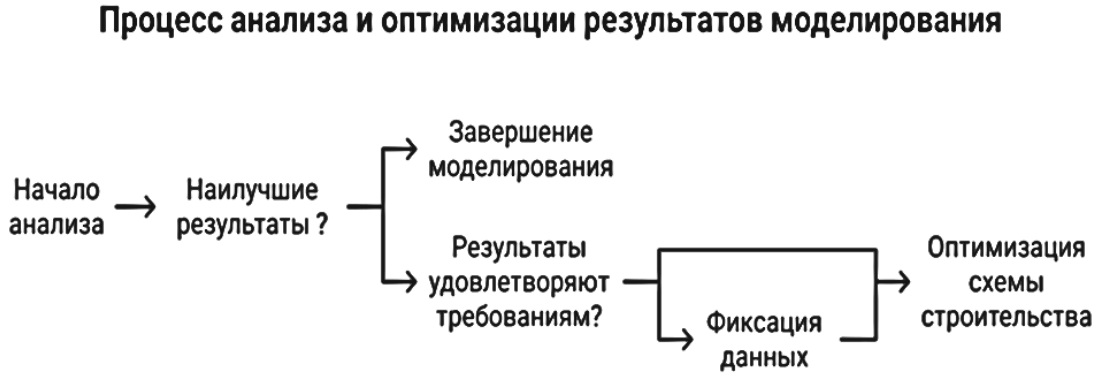


Рисунок 2.14 - Процесс анализа и оптимизации результатов моделирования

1. Результаты - наилучшие из всех просмотренных вариантов, полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям, и более хороших результатов не предполагается. В этом случае моделирование может быть завершено.

2. Результаты не удовлетворяют предъявляемым требованиям по каким-либо причинам: не выдерживаются сроки производства работ, требуется слишком большое количество ресурсов какого-нибудь вида (такого количества может не быть у исполнителя), нарушаются специфические регламенты технологии производства работ (например, сроки распалубки конструкций) и др. В этом случае приступают к третьей ступени моделирования: к оптимизации организационно-технологической схемы строительства.

3. Результаты удовлетворяют предъявляемым требованиям, они проходят по всем имеющимся для него ограничениям (сроки выполнения работ, необходимые ресурсы и т.д.). Но просмотрен один или небольшое число

вариантов и предполагается возможность наличия более совершенных решений. В этой ситуации полученные данные фиксируются и также приступают к третьей ступени моделирования.

2.3. Оптимизация общей схемы и отдельных технологических переделов строительства

Можно выделить три этапа блока по получению максимально эффективной организационно-технологической схемы производства строительно-монтажных работ. Первый - это при подготовке исходных данных по объекту строительства и выборе параметров для моделирования процесса строительства. Второй - в процессе создания варианта организационно-технологической схемы строительства. Третий - работа над оптимизацией тех или иных параметров полученной модели строительства. Принципы работы на первых двух этапах описаны выше. Эффективность выполнения этих этапов существенно снижает трудоемкость достижения цели конечной (на третьем этапе) оптимизации. Но, как отмечалось выше, при отсутствии каких-либо ещё результатов по полной модели сложно двигаться целенаправленно к конечному оптимуму.

Третий этап предполагает и возможность возврата ко второму и реже — к первому этапу.

К третьему этапу пользователь приступает уже после анализа первых результатов, то есть дальше работа идет более целенаправленно. Но и здесь может понадобиться еще немало шагов (циклов) для достижения конечной цели. Но ЭВМ позволяет быстро и с небольшими трудозатратами обыгрывать различные варианты моделей, так что иногда имеет смысл идти по пути простых переборок без затрат времени и труда на глубокий анализ получаемых результатов.

Оптимизацию здесь условно можно разделить на работу с общей моделью строительства и работу с его отдельными технологическими

переделами, то есть с одной или несколькими работами в смысле их понимания в сетевом планировании (работа в сетевом графике есть процесс задействования одного строительного потока на одной захватке). Деление - это условно, так как, затрагивая отдельные элементы общей модели, мы работаем с последней. Поэтому под работой с отдельными технологическими регламентами будем понимать процесс, когда мероприятия, проводимые с отдельными элементами организационно-технологической схемы строительства, никак не затрагивают общую топологию модели (схему взаимосвязей всех работ) и параметры других работ.

Можно привести и другое деление способов оптимизации полученных результатов. Здесь первый способ - это общая оптимизация за счет возврата на любой из первых шести этапов формирования организационно-технологической схемы строительства, приведенных в п. 2.2 настоящей главы. При этом могут измениться сроки строительства, и может поменяться критический путь сетевой модели. И второй способ — без изменения общих сроков строительства и положения критического пути оптимизировать полученную модель строительства за счет частных и общих резервов времени отдельных работ (опять же в их понимании в сетевой модели). Здесь при оптимизации может добавиться еще один или несколько критических путей, но первоначальный критический путь (пути) сохранится.

Характерной чертой, разделяющей эти два способа, можно отметить то, что при первом способе модель, представленная в виде сетевого графика, пересчитывается (рассчитывается заново), а при втором способе - нет.

Для оптимизации организационно-технологической схемы строительства должна быть поставлена цель этой оптимизации, то есть должен быть определен критерий оптимизации и его значения, которые необходимо обеспечить. В качестве критерия оптимальности выбирается один или несколько параметров, остальные при решении задач оптимального синтеза могут входить в число ограничений.

К критериям оптимизации могут быть отнесены (рис. 2.15):

•достижение минимума общего времени проведения строительных работ на объекте;

•достижение максимально возможной равномерности потребления заданных ресурсов во времени;

•исключение простоев возобновляемых ресурсов определенных видов;

•обеспечение непрерывной работы на определенных захватках;

•обеспечение в общей модели необходимого времени на выполнение отдельных работ (например, бетонирование и выдерживание бетона);

•обеспечение выполнения работ определенных потоков в оптимальные периоды времени.

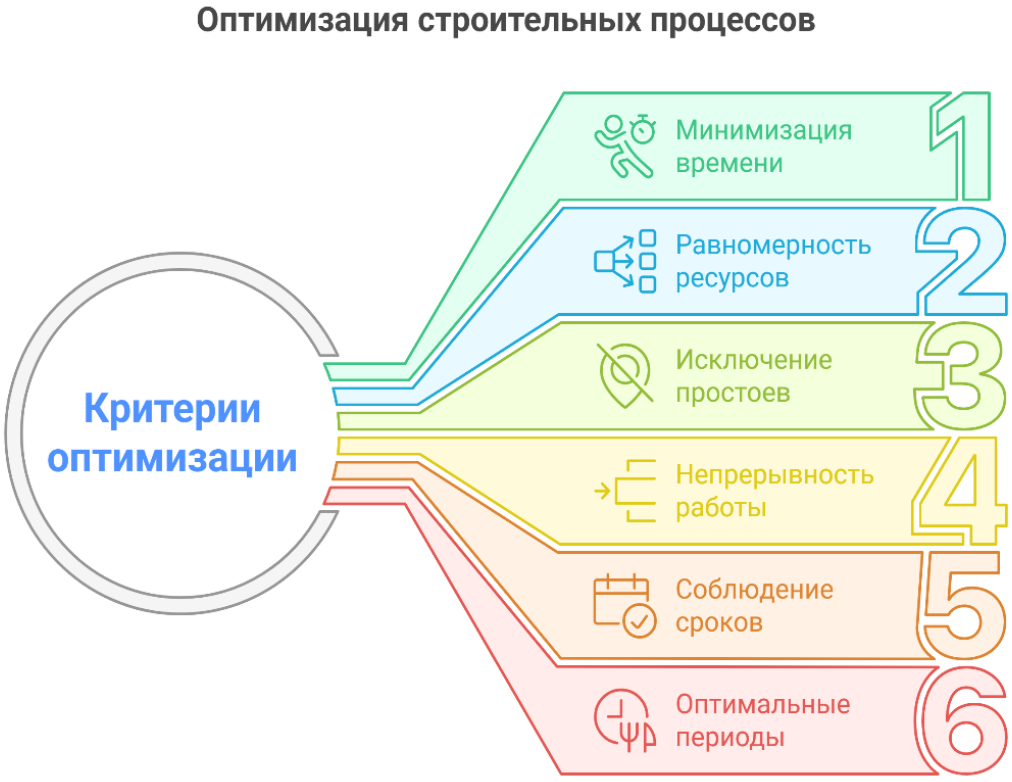


Рисунок 2.15. - Оптимизация строительных процессов

Параметрами, входящими в число ограничений, могут быть (рис. 2.16):

• время, отводимое на возведение конкретного (заданного) объекта строительства;

• время, отводимое на выполнение отдельных работ (например, сроки ухода за бетоном3);

• ограничения на потребление одного или нескольких видов ресурсов в течение определенного промежутка времени или в течение всего строительства;

• невозможность выполнения отдельных видов работ в определенные периоды времени.



Рисунок 2.16. - Ограничения строительных процессов

Отметим сразу, что второй способ оптимизации мало эффективен по сравнению с первым и может служить лишь для небольших доработок результатов моделирования. Он подробно излагается в целом ряде источников [83, 86, 87].

Несравненно большие возможности имеет первый способ. Здесь в предлагаемой методике используются возможности, заложенные в систему моделирования согласно второму принципу ее функционирования (п. 2.2 настоящей главы), то есть наличие обратной связи. Поэтому в целях оптимизации имеющейся модели строительства пользователь может вернуться на любой из первых шести этапов формирования организационно-технологической схемы строительства.

1.Формирование специализированных строительных потоков заново, то есть изменение состава включаемых в потоки отдельных частных видов работ, может не просто изменить конечную модель возведения того или иного

объекта, но и обусловить необходимость существенных корректировок и на всех других шагах составления организационно-технологической схемы. Здесь, конечно, в первую очередь может измениться технологическая схема производства работ. Поэтому возврат при оптимизации к первому этапу моделирования и его корректировку можно назвать приёмом радикального изменения модели.

2.Формирование новой технологической схемы при имеющихся составах специализированных потоков, как правило, мало возможно. Выполнение всех частных видов строительно-монтажных работ, а значит и работа потоков, состоящих из этих видов, имеют в большинстве случаев строгую последовательность, а значит и жесткую технологическую схему.
Но и здесь могут быть варианты. Например, многие литературные источники рекомендуют сначала устанавливать сантехнику, а затем производить штукатурные работы. Однако при необходимости эту последовательность можно изменить на наоборот, так как никаких особых нарушений это не обусловит. Может несколько осложниться выполнение некоторых операций, но при определенных обстоятельствах новая последовательность выполнения указанных работ может оказаться даже и удобнее.

Изменение технологической схемы, конечно же, меняя топологию (взаимосвязь работ) модели в корне меняет всю конечную модель. Поэтому корректировку организационно-технологической схемы строительства на этом втором этапе также можно назвать радикальным изменением.
Выполнение следующих четырех этапов формирования общей схемы строительства можно назвать моделированием схемы организации строительно-монтажных работ, то есть второй составляющей организационно-технологической схемы строительства. И поэтому здесь у пользователя, как при моделировании, так и при оптимизации, много возможностей.

3.Изменение параметров захваток, если оно существенно, также может вести к полному изменению топологии модели строительства и всей конечной

модели. При незначительных изменениях параметров захваток топология общей схемы может сохраниться, и вся модель может измениться незначительно. То есть последствия оптимизации на этом этапе зависят от степени вмешательства пользователя в имеющуюся организационно-технологическую схему строительства.

Кроме того, корректировки параметров захваток могут быть зависимы от других этапов. Например, размер захватки при возведении коробки монолитного здания или сооружения строго увязан с количеством опалубки в комплекте и с числом комплектов опалубки, то есть с количеством возобновляемых ресурсов данного вида (опалубкой).

4. Оптимизация последовательности работы на захватках может дать как сокращение сроков строительства, так и оптимизацию потребления ресурсов во времени. Последнее может включать или получение более равномерного использования ресурсов, или обеспечение их потребления в определенные промежутки времени в пределах имеющихся ограничений. Необходимость оптимизации на данном этапе или её целесообразность будет подсказываться пользователю результатами обсчета имеющейся модели.

То есть, просматривая полученные линейный календарный график производства работ, циклограммы и графики потребления ресурсов, можно наблюдать слабые (неэффективные или недопустимые) места заложенной схемы строительства.

5. Корректировка количества возобновляемых ресурсов должна осуществляться в технологически допустимых для каждого потока пределах. Изменение этого количества может сократить сроки строительства, сблизить ритмы потоков, обеспечить большую равномерность потребления ресурсов и помочь уложиться в имеющиеся ограничения по невозобновляемые ресурсам.

6. В п. 2.2 рекомендовалось даже при первом шаге моделирования организационно-технологической схемы строительства просматривать как минимум два метода организации работ. Это же следует делать и при любых изменениях общей модели производства работ по каким-либо другим

причинам (при оптимизации на других этапах моделирования).

Рассмотрим оптимизацию схемы строительства за счет частных и общих резервов времени сетевой модели, то есть способ оптимизации без пересчёта сетевого графика.

Существует три способа оптимизации за счет использования частных резервов (в некоторых источниках их называют «свободными» резервами) времени:

– в пределах частного резерва времени работы могут быть изменены сроки ее выполнения при том же количестве возобновляемых ресурсов, задействованных на выполнении данной работы;

– в пределах свободного (частного) резерва времени работы может быть изменена продолжительность ее выполнения за счет уменьшения количества выполняющих эту работу рабочих (уменьшения сменности или др.) при условии постоянства ее трудоемкости;

– в пределах частного резерва времени работы могут применены оба предыдущих способа: часть резерва используется для изменения продолжительности выполнения работы, другая часть — для изменения ее сроков.

Работы, не имеющие свободного (частного) резерва, могут участвовать в оптимизации по общим резервам времени, если он у них есть.

Рассмотрим возможности оптимизации за счет общих резервов времени. Как отмечалось выше, такая оптимизация также не требует пересчёта сетевой модели. Однако, если использование частных резервов времени какой-то работы никак не затрагивает никаких параметров других работ, то при использовании общего резерва времени рассматривается целая цепочка работ. Рассматривая общий резерв времени, можно говорить о совокупности работ, лежащих на цепочке, начиная от конкретно рассматриваемой работы и до критического пути.

Общий резерв работы будет равен сумме ее частного резерва (если таковой есть) и частных резервов времени работ, лежащих на цепочке от

данной работы до критического пути. Если таких цепочек несколько, то общий резерв данной работы равен минимальной сумме частных резервов работ таких цепочек (такие суммы для каждой цепочки рассчитываются отдельно). При оптимизации по общему резерву времени использование последнего в пределах частного резерва рассматриваемой работы идёт как описано выше. Но общий резерв времени или равен частному, или больше него. И при использовании общего резерва работы сверх величины ее частного резерва происходит уже с изменением параметров других работ. Конкретнее, в этом случае операции с параметрами данной работы осуществляются за счет частных резервов времени работ, лежащих на отмеченных выше пеночках от данной работы и до критического пути.

Здесь оптимизация более сложная, так как возникает множество вариантов, а иногда и изменений параметров многих работ. Сложность проявляется и в том, что фактически отсутствует алгоритм целенаправленного решения данной задачи. Решение этой задачи переборкой и анализом различных вариантов не оправдывает себя, потому, как вся эта оптимизация мало эффективна. Малый эффект определяется и тем, что все эти резервы (и частные, и общие), по сути, простои ресурсов, а мы и при начальном моделировании стремимся исключить их или свести к минимуму.

Корректировка параметров отдельных технологических переделов или общей организационно-технологической схемы бывает необходима и из-за наличия в общем комплексе строительно- монтажных работ отдельных частных видов работ с жесткими технологическими регламентами. В монолитном строительстве - это бетонные работы, при проектировании которых кроме их трудоемкости необходимо учитывать температурно-влажностные условия и сроки выдерживания бетона.

Дело в том, что при моделировании процесса строительства продолжительность производства всех видов работ, в том числе и бетонных, определяется исходя из трудоемкости и машиноемкости выполнения работ и количества привлекаемых ресурсов. Однако, для достижения бетоном

отпускных или распалубочных свойств необходимы не только определенные температурно-влажностные условия, но и соответствующие этим условиям сроки выдерживания. И, если последние превышают значение продолжительности, определенную по трудозатратам, то нужно или скорректировать ее, приравняв к необходимым срокам выдерживания, или изменить параметры условий выдерживания (например, повышение температуры выдерживания, использование химических добавок и др.), или внести корректировку в общую организационно-технологическую схему производства работ.

Выводы по главе 2

1. Определены основные принципы, используемые для моделирования организационно-технологических схем строительства в целом, сводящиеся к определению необходимости комплексности модели, обеспечению наличия обратной связи для возможности более полного участия пользователя в самом процессе и выбору таких подходов, которые предусматривают составление сложного из простого с целью максимальной унификации исходных данных для различных вариантов моделей строительства.

2. Предложена методика выбора универсальных исходных данных для всех возможных вариантов формируемых потоков и захваток, создаваемых для моделирования организационно - технологических схем возведения зданий и сооружений.

3. Разработаны организационно-технологические схемы оптимального моделирования возведения объекта, предусматривающие формирование специализированных строительных потоков, обоснование технологической схемы возведения объекта, выбора параметров и последовательности освоения фронтов работ(захваток) и определение требуемых ресурсов для обеспечения предложенной схемы.

4. Рассмотрены различные подходы к выбору исходного метода организации работ - метод критического пути, организация производства работ с непрерывным потреблением ресурсов и с непрерывным освоением фронтов работ. Установление, что эффективность применения того или иного подхода определяется требованиями к формированию потока и конечному ожидаемому результату.

5. Для оптимизации запроектированной организационно-технологической схемы определены критерии оптимизации и их значения, которые необходимо обеспечить. В качестве критерия оптимальности выбирается один или несколько параметров, остальные при решении задач оптимального синтеза включают в число ограничений.

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКЦИЙ МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЯ СУБ ТС

Современные индустриальные подходы строительства высотных монолитных зданий и сооружений базируются на применении высококачественных бетонных смесей, опалубочных систем заводского изготовления с оборачиваемостью 100 и более циклов, металлических предварительно подготовленных арматурных элементов в виде каркасов (сеток), а также отдельных рифлёных стержней для надежного сцепления с бетоном.

При возведении конструктивных элементов таких зданий применяются современные машины и механизмы, обеспечивающие транспортировку бетона с места изготовления на строительную площадку и его укладку в конструкцию опалубки. Каждый технологический передел этого комплексного процесса должен быть тщательно выверен как по применяемым компонентам бетонирования, так и по используемым способам и приемам возведения конструкции.

Мировые тренды настоящего времени свидетельствуют о неуклонном росте объемов применения монолитного бетона для возведения конструктивных элементов объектов строительства. Из многочисленных отечественных и зарубежных источников литературы [90-94] и данных статистических отчетностей видно, что ежегодное мировое производство цемента выросло на более чем в полтора миллиардов тонн, причем это только клинкерные вяжущие, но при этом необходимо еще учитывать все возрастающее применение бесклинкерных вяжущих и различных органических вяжущих. Ситуация, когда одни клинкерные цементы обеспечивают десятимиллиардный объем производства бетона в мире, немножко искажена, неучетом производимых бетонов на других вяжущих.

Возведение монолитных зданий сегодня во всем мире является доминирующим как по скорости увеличения его использования, так и практическим результатам применения. Свидетельством этого являются

показатели душевого применения объема монолитного бетона ($м^3$) для разных стран (Россия-0,35; Италия — 1,1, Япония-1,2; Германии - 0,8; США - 0,75; Франция — 0,5; Израиль - 2,0; Турция - 0,15-0,2) [91].

При этом применение высококачественных бетонов, включая СУБ ТС, становится, как правило, обязательной нормой в высотном монолитном строительстве. Поэтому, для обеспечения эффективности применения СУБ ТС в высотном монолитном строительстве необходимо разработать технологические основы их получения.

3.1. Технологические основы получения СУБ ТС для высотного монолитного домостроения

Развитие высотного строительства сместило акцент с обычных тяжёлых бетонов на композиции с повышенной прочностью, реологической стабильностью и минимальной усадкой. Практика показала, что достигнуть указанных требований возможно только при целенаправленном введении активных минеральных фаз и скоординированной работе химических модификаторов. Национальные стандарты развитых зарубежных стран (ASTM C1240, ДСТУ EN 13263-1:2019, JIS A 6207) прямо ограничивают диапазон удельной поверхности, содержание аморфного кремнезёма и долю примесей, что автоматически минимизирует разброс свойств готового бетона.

Совмещение микрокремнезёма, метакаолина и высокоатомарного алюмосиликатного золошлака с современными суперпластификаторами (поликарбоксилаты гребневидного строения, модифицированные сложными эфирами) позволяет удерживать водоцементное отношение вблизи 0,30 при расплыве «обратного» конуса 60–70 см и фиксировать раннюю прочность на уровне половины проектной уже через сутки выдерживания. На мировом рынке зафиксированы более полусотни высотных сооружений, где использованы такие системы прочностью 80–160 МПа; среди последних объектов - «The Lotus Tower» (Шри-Ланка, 2019 г.) и «Merdeka 118» (Малайзия, 2023 г.).

Микрокремнезём, как побочный продукт ферросилицевого производства, содержит 80-98 % аморфного SiO_2; сферическая форма частиц (диаметр 0,1 мкм) реализует так называемый «шарикоподшипниковый» эффект, понижая внутреннее трение суспензии. Однако этот же фактор повышает склонность к хрупкому разрушению при быстром нагреве. Устранить недостаток позволяет дозированное введение полипропиленовых волокон длиной 12 мм: при росте температуры волокно плавится, образуя каналы для вывода паров, и исключает взрывной сполз бетона со стержней арматуры.

Перспективным признан метакаолин, получаемый термоактивацией каолинитов при 700-800 °C. Он формирует безусадочную матрицу даже на известняковом щебне, а высвобождаемое при гидратации алюминат-кальциевое тепло компенсирует «холодные» зоны массивов в зимний период.

Максимальная уплотняемость скелета достигается оптимизацией зерновой кривой. Для крупного заполнителя величина объёмной пустотности должна находиться в узком коридоре 37–39 %; это достигается подбором двух фракций - 5–10 и 10–20 мм - в соотношении 2:3. Песок распределяют по модулю крупности: 70 % фракции 2,8 и 30 % фракции 1,8 (или 1,6 при необходимости улучшить насосную подачу). При введении 15 % высокодисперсного заполнителя (каменная мука, микрокремнезём) повышается контактная зона «заполнитель–цемент», однако бетон становится более чувствителен к термическим нагрузкам. Поэтому для объектов высотой> 300 м в рецептуру дополнительно вводят безводные сульфоалюминаты кальция, способные рассеивать тепловой пик за счёт эндотермического образования эттрингита.

Стабилизацию смеси против расслоения чаще всего выполняют полисахаридными эфирами целлюлозы и оксиэтилированными крахмалами. Эти вещества создают слабую трёхмерную сеть, которая при сдвиговых нагрузках разрывается, но мгновенно восстанавливается после прекращения

движения. Такая ревERSивная тиксотропия востребована при многочасовой рециркуляции смеси по вертикальным магистралям.

Регуляторы сроков схватывания на базе органических солей глюконовой кислоты и неорганических солей натрия/лития позволяют вести многосменную круглосуточную укладку без холодных швов. При ярусной схеме литья это сокращает общий график возведения несущего ядра практически вдвое - с 12 до 6- 7 месяцев для зданий 60–70 этажей.

Таким образом, современный высокотехнологический многокомпонентный бетон, к которому относится и СУБ ТС, представляет собой не просто «текучий» аналог обычного бетона, а сложную научно - обоснованную многокомпонентную систему, в которой каждая фаза ответственна за конкретный функциональный эффект: дисперсный пуццолан - за уплотнение матрицы и химическую стойкость, полимерный пластификатор - за гравитационное течение, полипропиленовое волокно - за огнестойкость, а стабилизаторы и регуляторы твердения - за управляемость процесса укладки. Комплексное использование этих компонентов выводит на новый уровень не только строительную механику высотных каркасов, но и экологическую устойчивость, так как совокупный углеродный след сокращается в среднем на 30 % благодаря частичной замене цемента минеральными побочными продуктами промышленности.

Современные научные школы бетоноведения располагает обширным теоретическим фундаментом, однако промышленное распространение модифицированных и особенно самоуплотняющихся высокопрочных бетонов остаётся фрагментарным. По данным Национального объединения строителей, доля бетонов с комплексными добавками ныне не превышает 25 % от общего объёма товарной продукции, тогда как в странах Европейского союза показатель стабильно держится выше 95 %. При этом в абсолютном производстве доля высокопрочных бетонов (выше класса B60) в обеих экономиках измеряется единицами процентов, что подчёркивает: дело не в

массовости, а в целенаправленном применении материала там, где он даёт максимальный эффект.

Опыт Соединённых Штатов показывает, что только системный подход, включающий нормативную базу, образовательные модули и государственно-частное партнёрство, способен вывести высококачественные бетоны (ВКБ) из разряда лабораторных разработок в регулярную стройплощадочную практику. Поэтому в рамках выполнения настоящего диссертационного исследования разработана технология получения СУБ ТС для высотного строительства с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья, отвечающая вышеизложенным требованиям (Рисунок 3.1).

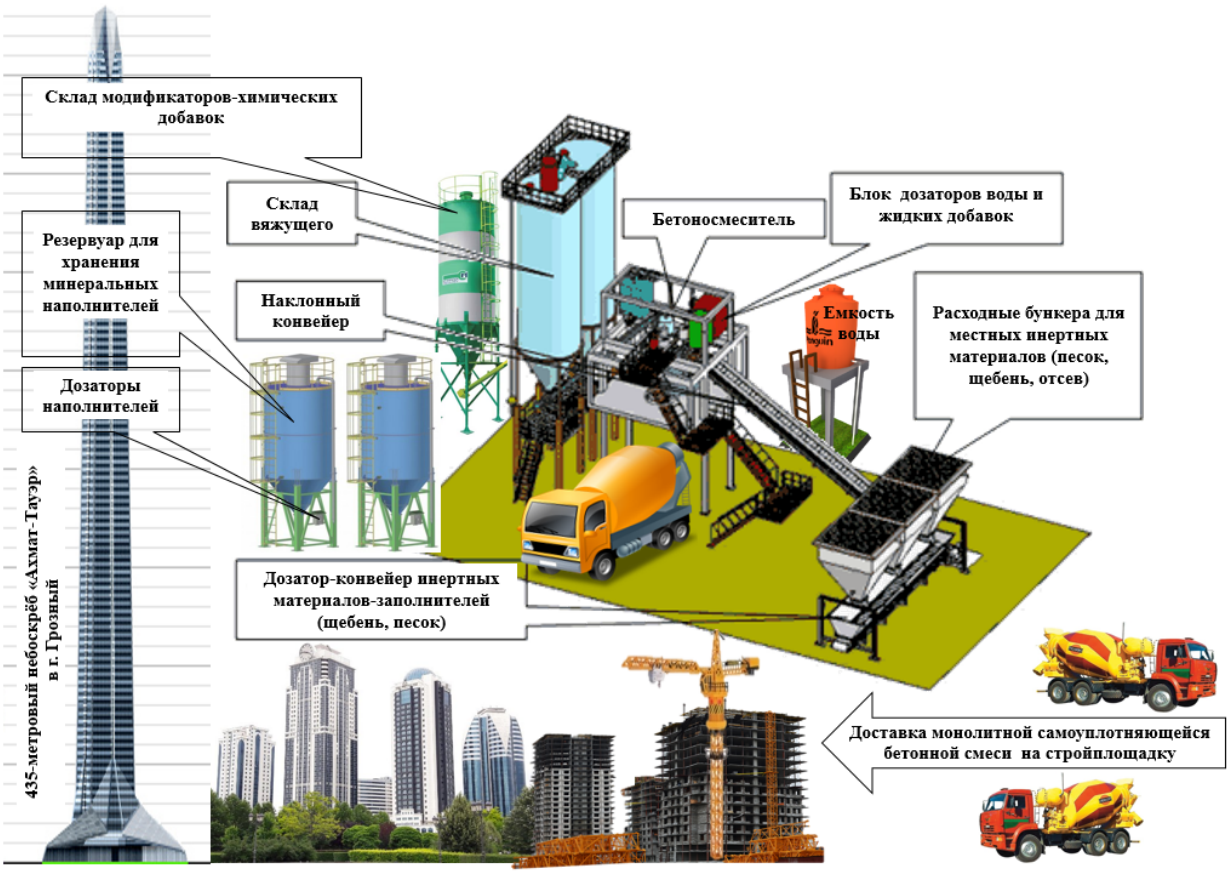


Рисунок 3.1. - Технология получения СУБ ТС для высотного строительства с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья

Высотное строительство предъявляет к бетону два нетривиальных требования:

Непрерывная плотная подача на высоту до нескольких сотен метров без потери подвижности – бетон должен сохранять удобоукладываемость в течение всего времени транспортировки, включая вертикальное перемещение на большую высоту.

Низкий собственный вес при высокой несущей способности – материал должен быть достаточно легким, чтобы снизить нагрузку на нижние этажи, но при этом обладать высокой прочностью для обеспечения устойчивости конструкции.

Ключевой элемент схемы получения СУБ ТС на приобъектном бетонном узле - дозатор-конвейер заполнителей, позволяющий автоматически менять гранулометрию смеси между сменами и тем самым оперативно переходить, скажем, от лёгкого бетона на перекрытия к тяжёлому бетону ядра. В сравнении с классическим стационарным узлом время перенастройки сокращается вдвое, а брак из-за человеческого фактора – в четыре раза.

Полный цикл производства СУБ ТС начиная с оценки местного сырья и заканчивая выпуском специального бетона с сохранением подвижности свыше 8 ч представлена в таблице 3.1. Ниже поясняются наиболее значимые этапы.

-Этап 1 – превращение строительных отходов в ресурс. Переработка бетонного лома и керамического боя ведётся до состояния минерального наполнителя с удельной поверхностью 500–600 м²/кг. Песчано-гравийная смесь обогащается до марки дробимости М1200.

-Этап 2 – нацеленное получение МНТП. Быстрый (3–5 мин) механохимический помол мелкой фракции отходов активирует поверхность и переводит силикатно-кальциевые фазы в реакционноспособное состояние, что особенно важно для бетонов класса В45 и ниже, где доля клинкера ограничена экономикой.

Таблица 3.1 Группировка полного цикла производства СУБ ТС

<table>
<tr><td>Этап 1</td><td>АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ, ВКЛЮЧАЯ:
<table>
<tr><td>Бетонный лом:
Переработка бетонного лома с получением вторичных строительных материалов для бетонов, включая тонкодисперсные частицы из отсевов дробления, часто залеживающиеся в отвалах в виду запыленностью их составов, для получения минерального наполнителя для НВ</td><td>Кирпичный бой:
Переработка керамического кирпичного боя (ККБ) и производственного брака кирпича с получением вторичных строительных материалов для легких керамобетонов, включая тонкодисперсные частицы из отсева дробления для получения наполнителя для НВ</td><td>Обогащение щебня:
Обогащение местного щебня из гравия с получением заполнителя более высокой марки по дробимости в цилиндре (до М1200 включительно) для изготовления на его основе высокопрочных ВКБ</td></tr>
</table>
o</td></tr>
<tr><td>Этап 2</td><td>ПОЛУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (МНТП) ДЛЯ БЕТОНОВ НЕВЫСОКИХ КЛАССОВ:
<table>
<tr><td>МНТП из бетонного лома:
Дополнительный помол мелкодисперсной фракции продукта дробления бетонного лома в шаровых или вибро-шаровых промышленных установках-мельницах в течение 3-5 минут до достижения значений удельной поверхности зерен МНТП до 550-600 м^2/кг для его использования в бетонах невысоких классов (В45 и ниже)</td><td>МНТП из кирпичного боя:
Дополнительный помол мелкодисперсной фракции продукта дробления керамического кирпичного боя в шаровых или вибро-шаровых промышленных мельницах в течение 3-5 минут до достижения значений удельной поверхности зерен МНТП до 550-600 м^2/кг для его использования в бетонах невысоких классов (В45 и ниже)</td></tr>
</table>
o</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Этап 3</td><td>ПОЛУЧЕНИЕ НАПОЛНЕННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ:
<table>
<tr><td>НВ-75:25 для бетонов В55-В80
Разработка наполненных вяжущих марки НВ-75:25, представляющих собой 75 % ПЦ, 25 % МНТП и 2 % добавки Д-5, путем их совместного помола в шаровой или вибро-шаровой мельнице, причем МНТП представлен смесью наполнителя из бетонного лома и ККБ в соотношении 70:30 % соответственно.</td><td>НВ-60:40 для бетонов В30-В45
Разработка наполненных вяжущих марки НВ-60:40, представляющих собой 60 % ПЦ, 40 % МНТП и 2 % добавки Д-5, путем их совместного помола в шаровой или вибро-шаровой мельнице, причем МНТП представлен смесью наполнителя из бетонного лома и ККБ в соотношении 70:30 % соответственно.</td></tr>
</table>
o</td></tr>
<tr><td>Этап 4</td><td>ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ:
<table>
<tr><td>Рядовые составы:
Предусмотрено получение рядовых составов бетонов классов В45 и ниже на традиционном ПЦ, однако, с использованием тонкомолотых МНТП из бетонного лома и ККБ, улучшающих реотехнологи-ческие показатели бетонных смесей</td><td>Составы высокопрочных бетонов:
Предусмотрено получение высокопрочных бетонов на НВ классов по прочности на сжатие до В60-В80 с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья</td><td>Составы СУБ ТС:
Предусмотрено получение СУБ ТС на НВ классов по прочности на сжатие от В30 до В80 с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья, характеризующихся повышенной сохраняемостью бетонных смесей (более 8 часов) и долговечностью бетонов (F500 и более, W16-20 и более)</td></tr>
</table>
o</td></tr>
</table>

-Этап 3 – формирование наполненных вяжущих (НВ-75:25, НВ-60:40). Контролируемый совместный помол портландцемента, МНТП и добавки Д5 создаёт композитное вяжущее с прогнозируемой активностью; доля клинкера снижается на 25–40 % без потери прочности.

- Этап 4 – приготовление высококачественных композиций и СУБ ТС требуемого назначения. Путём вариации НВ, крупного заполнителя и химических добавок получают как «рядовые» составы классов В45, так и высокопрочные смеси до В80 – В90. СУБ ТС (водонепроницаемость $W \geq 16$, морозостойкость $F \geq 500$) формируют на том же сырьевом каркасе за счёт пакета стабилизаторов и регуляторов твердения.

Таким образом, для повышения эффективности применения СУБ ТС, необходимо развивать комплексную технологию на основе применения местных природных и техногенных ресурсов, позволяющая снижать расход цемента до 140 кг/м³ для высокопрочных составов без потери прочности. Для решения перспективных в данной области задач необходимо проводить исследования по разработке многофазных дисперсий для получения различных высококачественных композиций (≤1700 кг/м³) и создание стандартизированной базы данных по их реологии и теплофизике для цифрового моделирования высотных конструкций.

Предложенная система технологических переделов (рисунок 3.1, таблица 3.1) фиксирует последовательность действий - от анализа местного сырья до выпуска специализированных бетонов с повышенным ресурсом долговечности - и служит практическим руководством для внедрения высококачественных самоуплотняющихся композиций в реальную строительную практику России.

Однако, применительно к строительной площадке, при возведении зданий и сооружений, включая и высотные, важнейшим технологическим переделом остаются методически выверенные способы бетонирования конструктивных элементов зданий и сооружений.

3.2. Методика бетонирования конструкций высотных зданий с использованием СУБ ТС

Устройство монолитных конструкций высотных зданий с применением бетонов классов В40-В100 и выше имеет свои трудности, наиболее значимые

из которых связаны с особенностями высокопрочных самоуплотняющихся бетонов и условиями выдерживания бетонных конструкций, что приводит к необходимости разработки дополнительных требований к предлагаемым составам и прогнозируемым свойствам бетонных композитов, технологии устройства и возведения монолитных элементов зданий и сооружений.

Прежде всего нужно учитывать, что монолитные конструкции, возводимые с использованием СУБ-бетонов, отличаются высоким показателем экзотермии в процессе выдерживания, и, как следствие, неизбежно вызывают градиент температуры по толщине конструкции, значительно влияющей на термонапряженное состояние, стойкость к появлению трещин из-за усадочных деформаций и на изменение (рост) прочности [95-98].

Как указывалось, в главе 2 настоящей работы, климатические условия строительства на многих территориях нашей страны 4-7 месяцев характеризуются как зимние, что требует их учета при выполнении бетонных работ [99-101]. За последние десятилетия публикации по зимним методам бетонирования сводятся к исследованиям по изучения влияния на твердение бетона использования противоморозных добавок, применения способов ускорения твердения бетона конструкций, изучения, в том числе и с применением моделей, процессов тепло- массообмена и результаты оценки их термонапряженного состояния [102-104]. При этом исследования по разработке комплексных технологических решений по изучению свойств бетонных композитов, способам и приемам бетонирования, предлагаемым методам прогрева и рекомендуемым режимам выдерживания бетона, способствующие обеспечению качества возводимых бетонных конструкций и требуемые сроки строительства зданий в зимний период, как правило, недостаточны.

Не менее актуальным на сегодняшний день представляется вопрос выдерживания твердеющего бетона в условиях сухого жаркого климата, когда температура окружающей среды более 25-30 ^{0}С и относительная влажность

воздуха менее 30%, что характерно для южных регионов страны, например, для ЮФО и СКФО. Здесь для технологов уже другая проблема, связанная с быстрыми темпами схватывания бетона, существенно влияющее на подвижность бетонной смеси, и заметным обезвоживанием системы в процессе твердения бетона, что заметно сказывается на конечных его строительно-технических свойствах. Поэтому при разработке методики устройства монолитных конструкций зданий и сооружений необходимо учитывать эти особенности, которые должны соблюдаться и при использовании СУБ ТС для возведения конструкций высотных зданий и сооружений, что и было сделано при проведения исследований в рамках выполнения настоящей работы.

Предложенная методика бетонирования строительных конструкций (рисунок 3.2), предполагает создание комплекса технически обоснованных регламентов, определяющих последовательность, технологические приёмы и контрольные процедуры для обеспечения проектных характеристик бетонных конструкций.

Самоуплотняющиеся бетоны на техногенном сырье представляют собой инновационный строительный материал, сочетающий высокие эксплуатационные характеристики с экономической эффективностью и экологической безопасностью. Использование промышленных отходов (отсевов дробления бетонного лома, золы-уноса, шлаков, отходов горнорудного производства и др.) в качестве модифицирующих добавок позволяет существенно улучшить реологические свойства бетонной смеси при одновременном снижении себестоимости строительства.

Особое внимание уделяется транспортировке и укладке бетонной смеси. Для перевозки используют специальные автобетоносмесители с защитой от расслоения, при этом время доставки не должно превышать 90 минут, а температура смеси поддерживается постоянной.

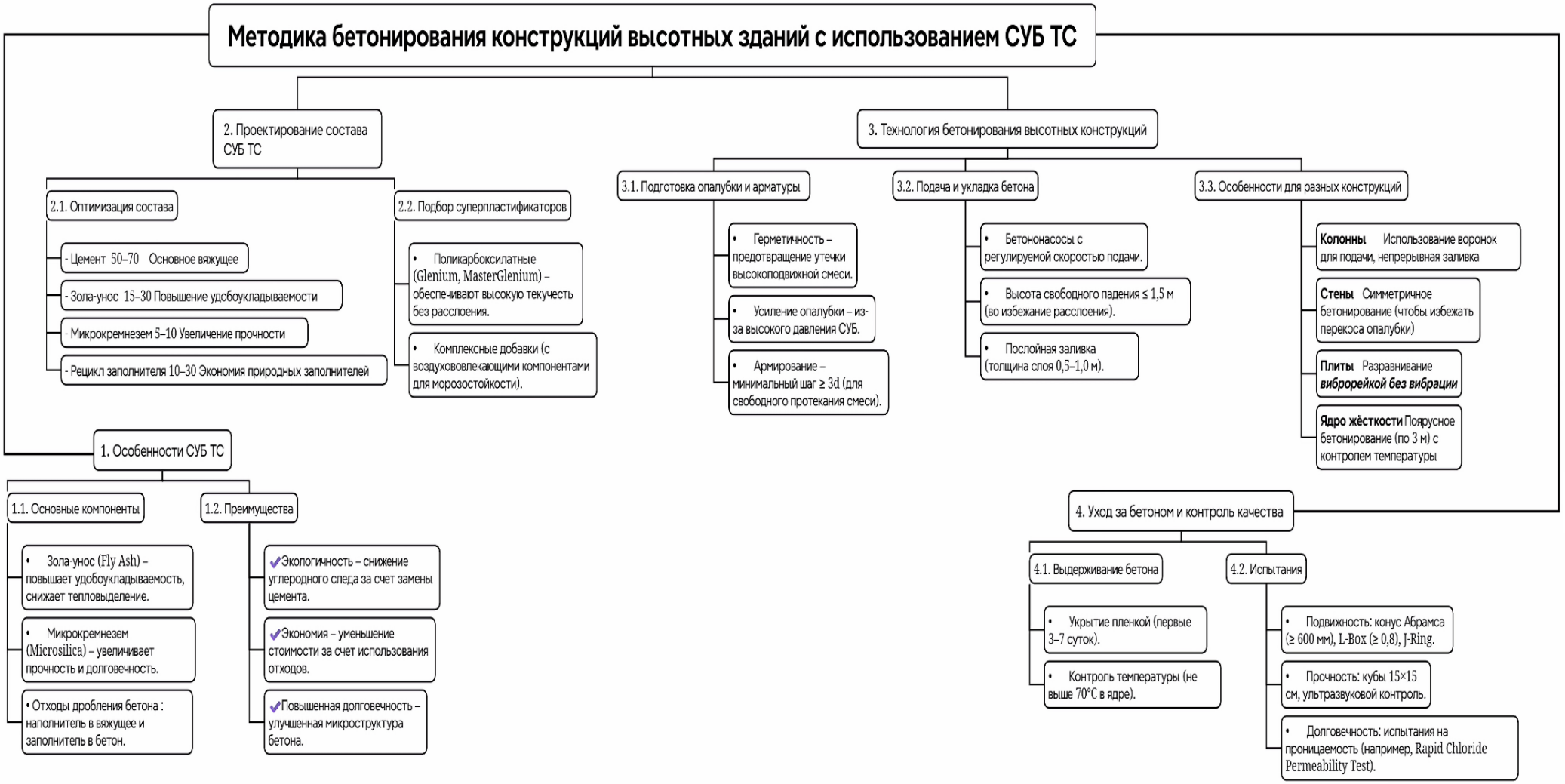


Рисунок 3.2 Функциональная схема методики бетонирования высотных монолитных зданий на СУБ ТС

Технология укладки предусматривает подачу со скоростью 0,5-1,0 м/ч по высоте, ограничение высоты свободного падения до 1,0 м, послойную заливку с толщиной слоя 40-60 см и применение ограничительных устройств для предотвращения распалубки.

Контроль качества осуществляется как в лабораторных, так и в натурных условиях. Лабораторные испытания включают проверку подвижности (расплыв конуса 700-800 мм), определение времени растекания (Т50 = 3-5 сек) и проверку прочности на сжатие в различные сроки твердения. На строительной площадке проводят визуальный осмотр поверхности, ультразвуковой контроль монолитности и проверку защитного слоя бетона.

Процесс твердения требует особого ухода: поддержания влажностного режима, термоизоляции в зимний период и защиты от перегрева в летнее время. Контроль процесса гидратации включает измерение температуры в массиве, оценку скорости набора прочности и при необходимости корректировку режима ухода.

Применение СУБ на техногенном сырье в высотном строительстве позволяет достичь значительного технико-экономического эффекта при соблюдении разработанной методики. Ключевыми факторами успешной реализации технологии являются точное дозирование компонентов, контроль качества на всех этапах и соблюдение технологических регламентов.

Предлагаемая методика бетонирования конструкций с использованием СУБ ТС предполагает наличие несколько взаимосвязанных этапов, выполнение которых обеспечит получение желательного технического результата – эффективное строительство высотных монолитных зданий.

3.2.1. Подготовительный этап

На подготовительном этапе проводится анализ исходных данных, включающий изучение проектной документации и специфики высотного

строительства, оценку доступности техногенного сырья в регионе строительства, а также проведение лабораторных исследований компонентов.

Анализ исходных данных для разработки методики бетонирования начинается с изучения проектной документации, включающей конструктивные чертежи, которые определяют геометрию элементов (толщину плит, сечение колонн, армирование), рабочие схемы, выявляющие узлы с повышенными нагрузками, места стыков и температурные швы. Также учитываются различные виды нагрузок: постоянные (вес конструкции), временные (ветер, снег) и особые (сейсмические). Особое внимание уделяется условиям эксплуатации, таким как агрессивность среды (химические воздействия, циклы замораживания) и категория ответственности здания. Например, при проектировании мостовых опор обязательно учитывают динамические нагрузки от транспорта и воздействие противогололёдных реагентов.

Далее проводится оценка климатических и грунтовых условий. Климатические факторы включают температурный режим: летом существует риск пересыхания бетона, что требует дополнительного увлажнения, а зимой возникает необходимость применения термоса, электропрогрева или противоморозных добавок. Влажность и осадки также оказывают значительное влияние на сроки схватывания бетона - например, в тропических условиях гидратация ускоряется.

При анализе грунтовых условий ключевыми параметрами являются несущая способность, которая определяет тип фундамента и опалубки (на слабых грунтах исключают вибрацию), и уровень грунтовых вод, требующий гидроизоляции подошвы или мероприятий по водопонижению. Ярким примером особых условий является вечная мерзлота, где применяют бетоны с низкой теплотой гидратации, чтобы предотвратить размораживание основания.

3.2.2. Проектирование состава СУБ ТС - бетонов

Разработка состава СУБ предполагает подбор оптимального соотношения цемента и техногенных добавок, определение гранулометрического состава заполнителей и расчет водоцементного отношения с учетом пластифицирующих добавок.

Для подбора состава при отработке методики бетонирования СУБ ТС использовались местные природные и техногенные материалы и аналогичные материалы с близлежащих регионов СКФО и ЮФО.

В силу повышенных требований к составам для СУБ-бетонов, использовались материалы высокого качества. При этом, учитывая, что в республике отсутствует крупный заполнитель требуемого качества, использовался гранитный щебень с Алагирского месторождения.

Отбор проб для исследований осуществлялся по ГОСТ30515.97, ГОСТ 8269-87 и ГОСТ 8735—88

Рецептура использованных при внедрении составов СУБ-бетонов включала следующие компоненты:

В качестве химических добавок использовались поликарбоксилатные добавки из серии Sika, производимые компанией SIKA, одним из крупнейших мировых производителей бетонных добавок.

Применяли два вида таких добавок:

- SIKA® VISCOCRETE® 5 NEW – жидкий суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров, предназначенный для создания высокотехнологичных бетонов с длительным сохранением подвижности (до 90 минут) и высокой водоредукции (до 40%).

- SIKA® VISCOCRETE® 5-600 SK – жидкий суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров, предназначенный для бетонных смесей с длительным сохранением подвижности (до 240 минут), высокой водоредукции (до 40%) и интенсивным набором прочности бетона.

На первом этапе использовались местные сырьевые материалы различного происхождения.

В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н от Чири-Юртовского цементного завода Чеченской Республики.

Крупным заполнителем был щебень из Аргунского месторождения Чеченской Республики.

В качестве мелкого заполнителя использовался природный песок из Червленского месторождения Чеченской Республики.

В качестве микронаполнителей использовали золу ТЭЦ г. Грозный и известняковую муку из Ярыш-Мардынского месторождения Чеченской Республики с удельной поверхностью 700-800 м2/кг.

Оптимальные составы СУБ и их свойства представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Составы и свойства СУБ ТС различных классов.

составы	Кол-во добавки	В/Ц	Расход, кг, на 1 м^3 бетона					$\rho_Б$, кг/м^3	$R_{СЖ}$ в возрасте, сут., МПа			РК, см
			Ц	В	Щ	П	Н		7	14	28	
Класс бетона В 25												
1	SikaVis-co Crete 5-600 SK, 0,5 %	0,55	380	210	930	825	70	2330	24,9	30,6	34,2	65
2	SikaVisco Crete 5NEW, 2,0 %	0,54	380	205	930	845	70	2360	23,6	29,9	33,7	68
Класс бетона В 35												
3	SikaVisco Crete 5-600 SK, 0,5 %	0,41	480	195	860	865	80	2442	42,5	47,0	49,3	67
4	SikaVisco Crete 5-600 SK, 0,6 %	0,44	440	195	920	850	80	2428	41,5	46,9	48,7	70
Класс бетона В 40												
5	SikaVisco Crete 5NEW, 2,0 %	0,36	480	175	685	1035	80	2455	51,0	53,6	55,6	70
6	SikaVisco Crete 5-600 SK, 0,7 %	0,41	520	195	860	820	80	2475	48,8	54,8	57,2	65

Примечание: В/Ц – водоцементное соотношение; Ц – цемент; В – вода; Щ – щебень; П – песок; Н – наполнитель; RСЖ – прочность на сжатие; РК – расплыв конуса; $\rho_Б$ – плотность бетона

Анализ полученных данных по результатам проведенных исследований СУБ-бетонов на местном сырье показал, что самоуплотняющиеся бетонные смеси на местном сырье (СУБ ТС) обладают высокой прочностью в ранние сроки – в 7 суток прочность бетона составляет до 90% от проектной прочности. Расплыв перевернутого конуса (РК) для полученных бетонных самоуплотняющихся смесей составил 65-70 см.

Что касается заполнителей, местный щебень с Аргунского карьера подходит для создания бетонов класса не выше В40 (М500). При использовании его в более высоких классах бетона происходит разрушение из-за низкой природной прочности. Песок из Червленского месторождения также подходит для бетонов класса не выше В40 (М500). В более высоких классах бетона его можно использовать только после обогащения более крупным песком из РСО-Алания в определенном соотношении.

Использование Червленского песка без обогащения в высоких классах бетона приводит к перерасходу цемента из-за его низкого модуля крупности (МК), а неровный гранулометрический состав песка разрушает реотехнологию бетонной смеси.

Местный цемент с Чири-Юртовского цементного завода позволяет получать СУБ классов прочности не выше В65 (М800), однако реотехнологические свойства этих бетонов не полностью соответствуют требованиям к СУБ.

Также выявлены проблемы с использованием золы из ТЭЦ г. Грозный: она не обеспечивает необходимую водоудерживающую способность и стойкость к седиментации бетонной смеси в бетонах класса более В40 (М500).

Известняковая мука из Ярыш-Мардынского месторождения подходит для приготовления бетонов классов прочности до В 50 (М700). В более высоких классах бетона данный заполнитель не соответствует требованиям по водоудерживающей способности и стойкости к седиментации.

На этапе разработки бетонных составов более высоких классов прочности (В80 и выше) с улучшенными реотехнологическими и физико-

механическими свойствами были использованы импортные высококачественные материалы.

Цемент марки CEM I 42,5 H из Тульского региона с определенными характеристиками, включая начало и конец схватывания, а также минералогический состав.

Гранитный щебень разных фракций (5-20 мм и 2,5-10 мм) из карьеров "ПавловскГранит" и "Прогресс".

Крупный песок с определенным модулем крупности ($М_К$ = 2,8) из карьеров "Багаевкий карьер" и "Алагирский карьер".

Микрокремнезем от Новокузнецкого комбината с указанной удельной поверхностью.

Минеральный порошок МП-1 из г. Калуга.

Зола-унос от Невинномысская ГРЭС с указанной удельной поверхностью.

Для улучшения свойств бетонов также использовались поликарбоксилатные добавки SIKA® VISCOCRETE® 5 NEW.

Для приготовления проверочных составов бетонных смесей в лабораторных условиях применялись следующие компоненты:

1. Вяжущее - портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 10178 (активность 52,2 МПа) с местного (Чир-Юртовского) цементного завода;
2. Песок Алагирского месторождения кварцево-полевошпатовый Мкр = 2,8 – ГОСТ 8736;
3. Песок кварцевый Мкр = 1,8 Червленского месторождения – ГОСТ 8736;
4. Щебень Алагирского месторождения гранитно-диабазовый фракции 5…20 мм, содержание лещадных частиц 12,2 % – ГОСТ 8267.
5. Микронаполнители:

– мука известняковая, удельная поверхность муки – 920 м2/кг, истинная плотность – 2500 кг/м3;

–зола ТЭЦ г. Грозного, удельная поверхность 780 м2/кг, истинная плотность – 2200кг/м3;

–МП-1–минеральный неактивированный порошок Воронежский удельная поверхность муки – 900 м2/кг, истинная плотность – 2550 кг/м3;

– зола-унос Невинномысской ГРЭС - удельная поверхность муки – 860 м2/кг, истинная плотность – 2000 кг/м3.

6. Добавка-гиперпластификаторами – SikaViscoCrete 5 New– в виде товарного раствора.

Таблица 3.3. Составы и свойства СУБ ТС-бетонов (на привозных материалах)

составы	Кол-во добавки	В/Ц	Расход, кг, на 1 м^3 бетона							$\rho_Б$, кг/м^3	$R_{СЖ}$ в возрасте, сут., МПа		РК см
			Ц	В	Щ	Щ	П	МКУ	З		7	28	
Класс бетона В 60													
1*	SikaViscо Crete 5NEW, 1,9 %	0,34	450	152	620	267	802	85	-	2372	63,6	84,8	69
Класс бетона В 80													
2	SikaViscо Crete 5NEW, 1,9 %	0,32	500	158	620	242	777	85	-	2497	89,8	100,9	75
3*	SikaViscо Crete 5NEW, 1,9 %	0,31	500	154	620	242	777	85	-	2400	70,9	95,4	72,5
Класс бетона В 100													
4	SikaViscо Crete 5NEW, 2,2 %	0,29	900	260	-	-	870	180	180	2240	95,7	112,9	85
5*	SikaViscо Crete 5NEW, 2,2 %	0,267	900	240	-	-	870	180	180	2244	91,5	109,2	78

Примечание: составы 1*, 3*, 5*- приготовлены на Чири-Юртовском цементе ЦЕМ I 42,5 Н; В/Ц – водоцементное соотношение; Ц – цемент; В – вода; Щ – щебень; П – песок; Н – наполнитель; МКУ- микрокремнезем Новокузнецкого комбината; З- зола-унос Невинномысской ГРЭС; $R_{СЖ}$ – прочность на сжатие; РК – расплыв конуса; $\rho_Б$ – плотность бетона.

Таким образом, с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья Чеченской Республики и высококачественных привозных материалов, получены оптимальные рецептуры СУБ-бетонов классов по прочности на сжатие до В100. Исследованы реологические и физико-механические свойства полученных СУБ с целью рекомендации их для использования в высотном монолитном строительстве, в том числе и в сейсмоопасных районах на примере г. Грозный.

Для приготовления СУБ ТС требуется грамотный зерновой подбор заполнителей, что достигается обеспечением непрерывности фракций щебня и песка. Для выравнивания кривых просеивания используемых песков (Алагирский с Мк=2,8) использовали мелкий кварцевый песок с Мкр = 1,8 из месторождения в станице Червленная.

По результатам показателя рассева заполнителей и данным расчета полных остатков компонентов на стандартных ситах строится диаграмма зернового состава с использованием специальной программы (рисунок 3.3). Диаграмма зернового состава свидетельствует о близости кривых просеивания исследуемых заполнителей к идеальной кривой.

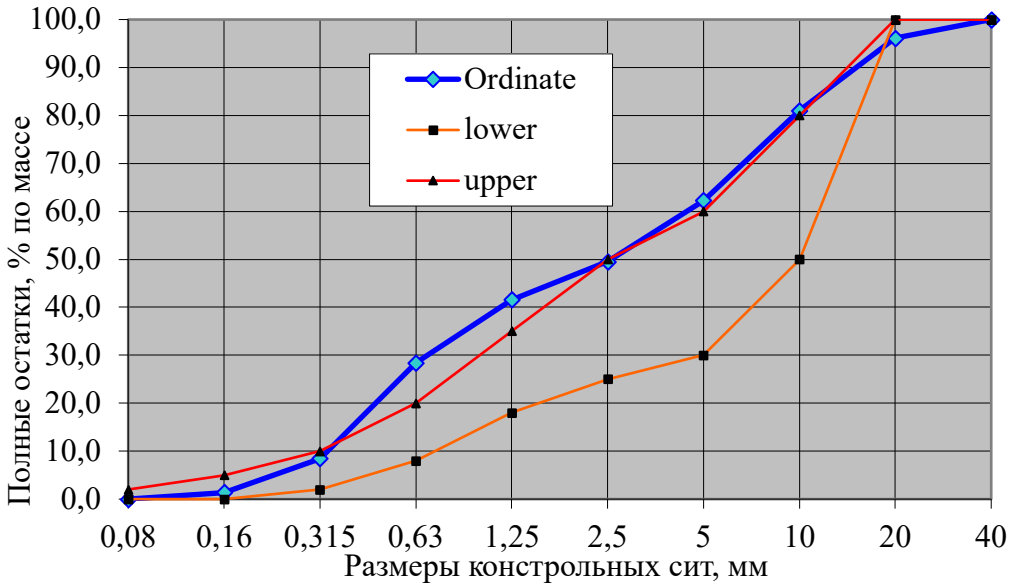


Рисунок 3.3. - Диаграмма зернового состава исследуемых заполнителей СУБ ТС:

Ordinate – кривая просеивания смеси заполнителей; lower – нижняя граница просеивания; upper – верхняя граница просеивания

При приготовлении бетонных смесей использовался лабораторный 50-ти литровый смеситель принудительного действия. Производились измерения расплыва конуса ($R_к$), показатели которого для испытуемых смесей в основном составляли более 600мм. Затем, после еще одного перемешивания, бетонные смеси укладывались в поверенные и калиброванные металлические формы - кубы с размером ребра 100мм (ГОСТ 22685). После укладки и уплотнения бетона в форму производилось определение плотности приготовленной бетонной смеси (ГОСТ 10181.2).

Выдерживание образцов производилось при температуре 18±2ºС и относительной влажности окружающей среды не менее 95%. Рецептура исследованных бетонных смесей и полученные прочностные данные СУБ-бетонов приведены в таблицах 3.2. и 3.3.

Анализ полученных данных свидетельствуют о значительном росте прочности бетона в 7-ми суточном возрасте, что позволяет говорить о существом сокращении срока выдерживания перед распалубливанием (возможна ранняя распалубка и соответственно увеличение количество циклов оборачиваемости опалубки), в целом о незначительном влиянии типа применяемой добавки на В/Ц и об эффективности применения золы-уноса для повышения прочности СУБ-бетона.

Корректировка применяемых методов и предложенная организация мер контроля качества получения бетона, как и большой объем данных практических исследований по прочности бетона изделий позволят оптимизировать предложенные составы СУБ ТС и при необходимости сократить расход цемента на 20-25%.

Кроме того, правильный подбор состава бетонной смеси позволить запроектировать и реализовать эффективную, отвечающую современным требованиям, технологию укладки СУБ ТС в монолитные конструкции зданий и сооружений.

Технология приготовления бетонной смеси включает точное дозирование компонентов с погрешностью не более ±1% от расчетной массы и соблюдение строгой последовательности загрузки в смеситель: сначала крупный заполнитель, затем песок, цемент, техногенные добавки и, наконец, вода с пластификаторами. Процесс приготовления смеси занимает 3-5 минут, после чего обязательно проводится контроль однородности и проверка реологических характеристик (подвижность, вязкость).

3.2.3. Приготовления СУБ ТС для высотного строительства

Приготовление самоуплотняющихся бетонов с использованием техногенного сырья требует применения специализированного оборудования и строгого соблюдения технологических регламентов. Основным оборудованием являются бетоносмесительные установки принудительного действия (двухвальные или планетарные) объемом 1-3 м³, оснащенные системами точного дозирования компонентов с погрешностью не более ±0,5%. Современные установки комплектуются электронными весовыми дозаторами, пневматическими затворами для сыпучих материалов, объемными дозаторами для жидкостей, а также системами автоматизации с программируемыми контроллерами и датчиками контроля влажности заполнителей.

Технологический процесс начинается с подготовки компонентов, включающей предварительное увлажнение заполнителей до 3-5% влажности и активацию техногенных добавок. Последовательность загрузки компонентов в смеситель имеет принципиальное значение: сначала загружается крупный заполнитель (щебень фракции 5-10 мм), затем мелкий заполнитель (песок с модулем крупности 2,0-2,5), после чего добавляется цемент (ПЦ 500-Д0) и техногенные добавки (зола-унос, микрокремнезем). На следующем этапе вводится 70% расчетного количества воды, а пластифицирующие добавки подаются в растворе с оставшейся водой. Интервалы между загрузками составляют 15-30 секунд, при этом перед добавлением воды выполняется 30-секундное сухое перемешивание компонентов для их предварительной гомогенизации.

Процесс перемешивания осуществляется в три этапа с четко регламентированными параметрами. Первичное перемешивание

продолжительностью 90 секунд обеспечивает равномерное распределение сухих компонентов. После введения воды начинается основной этап перемешивания длительностью 120-180 секунд при частоте вращения смесителя 25-35 об/мин. Финишное 30-секундное перемешивание выполняется после введения добавок. Температура готовой смеси должна находиться в диапазоне 15-25°С, что контролируется встроенными датчиками. В процессе перемешивания осуществляется постоянный мониторинг мощности привода и визуальная оценка однородности смеси.

Контроль качества готовой смеси включает комплекс испытаний, проводимых с периодичностью каждые 2 часа при непрерывном производстве или для каждой партии при циклическом производстве. Основные тесты включают определение расплыва конуса (норма 700-800 мм), времени Т50 (3-5 секунд), испытание L-бокс (H2/H1 ≥ 0,8) и проверку проницаемости методом J-Ring. Все результаты фиксируются в журнале контроля качества, оформляются протоколы испытаний и паспорта на бетонные смеси. Критериями браковки служат отклонение подвижности более чем на 10% от заданной, время Т50 вне диапазона 2-7 секунд, видимое расслоение смеси или несоответствие температуры. Особые требования технологии запрещают повторное перемешивание после начала схватывания и предусматривают обязательную промывку оборудования при смене состава смеси, а также учет текущей влажности заполнителей для оперативной корректировки рецептуры.

Соблюдение описанной технологии позволяет получать самоуплотняющиеся бетоны на техногенном сырье со стабильными характеристиками, что особенно важно для бетонирования ответственных конструкций высотных зданий, где требования к качеству материала особенно высоки. Использование техногенных компонентов не только улучшает реологические свойства бетонной смеси, но и способствует решению экологических проблем, позволяя утилизировать промышленные отходы.

3.2.4. Транспортировка СУБ ТС

Транспортировка самоуплотняющихся бетонов требует особого подхода из-за их повышенной подвижности и склонности к расслоению. В отличие от обычных бетонных смесей, СУБ характеризуются пониженной

вязкостью при сохранении стабильности, что предъявляет особые требования к условиям перевозки. Главной особенностью является необходимость постоянного поддержания однородности смеси во время транспортировки - даже незначительное расслоение может привести к потере самоуплотняющихся свойств. При перевозке должны быть полностью исключены резкие торможения, быстрые разгоны и крутые повороты транспортного средства, так как инерционные силы могут нарушить стабильность смеси. Особое внимание уделяется трассам с плохим покрытием - в таких случаях рекомендуется снижать скорость движения до 30-40 км/ч.

Для перевозки самоуплотняющихся бетонов используются специально оборудованные автобетоносмесители, отвечающие строгим техническим требованиям. Основным конструктивным требованием является грушевидная форма барабана, обеспечивающая оптимальное перемешивание смеси во время транспортировки. Скорость вращения барабана в транспортном режиме должна поддерживаться в пределах 2-3 об/мин, для чего машины оснащаются системой плавного регулирования скорости вращения. Особое внимание уделяется техническому состоянию оборудования - все соединения должны быть абсолютно герметичными, подшипники не иметь люфтов, а внутренняя поверхность барабана не содержать выбоин и неровностей. Обязательным условием является наличие специального защитного покрытия, предотвращающего налипание смеси. Современные автобетоносмесители для СУБ комплектуются системой автоматического контроля температуры смеси, возможностью подключения системы подачи добавок в пути, датчиками контроля частоты вращения барабана и системой аварийного торможения. Емкость транспортных средств подбирается с учетом объема единовременной укладки, который обычно составляет 6-9 м³. Перед каждой загрузкой барабан должен быть тщательно очищен от остатков предыдущей смеси и увлажнен для обеспечения оптимальных условий транспортировки.

Поддержание стабильной температуры бетонной смеси во время транспортировки является критически важным параметром, требующим

различных подходов в зависимости от сезона. В летний период при температуре воздуха выше +25°С применяются теплоизолированные барабаны, покрытые светоотражающими материалами. Дополнительными мерами являются возможность охлаждения воды затворения и добавление льда в состав смеси (до 30% от объема воды), при этом максимальная температура смеси не должна превышать +30°С. В зимний период при температуре ниже +5°С используются подогреваемые барабаны с термоизолирующими чехлами, осуществляется предварительный подогрев компонентов смеси. Минимальная температура смеси в этом случае не должна опускаться ниже +10°С, а транспортировка запрещена при температуре воздуха ниже -15°С. Температурный режим контролируется каждые 30 минут с обязательной фиксацией показаний в журнале.

Максимально допустимое время транспортировки СУБ строго регламентировано: для смесей без замедлителей схватывания оно составляет 90 минут, с замедлителями - 120 минут, при этом отсчет времени ведется от момента окончания затворения смеси водой. При превышении временного лимита категорически запрещается добавлять воду для восстановления подвижности, смесь подлежит обязательному лабораторному контролю и может быть использована только для второстепенных конструкций с обязательным дополнительным вибрированием при укладке. В исключительных случаях допускается продление времени транспортировки до 150 минут при соблюдении ряда условий: использования специальных комплексных добавок, подтверждения сохранения свойств лабораторным контролем, снижения скорости вращения барабана до 1 об/мин и организации постоянного мониторинга температуры. Все транспортные операции требуют тщательного планирования с учетом дорожной ситуации, расстояния до объекта и погодных условий для гарантированной доставки смеси в пределах установленных временных рамок и сохранения ее эксплуатационных характеристик.

3.2.5. Возведение высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС

Технология возведения высотных монолитных зданий с применением самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье представляет собой современный и высокоэффективный подход, обеспечивающий скорость, качество и экономическую целесообразность строительства. На этапе подготовки смеси используются модифицированные составы с техногенными добавками, что не только улучшает эксплуатационные характеристики бетона, но и способствует утилизации промышленных отходов. Ключевым параметром здесь является контроль подвижности, где осадка конуса должна составлять 600–750 мм, что гарантирует оптимальную текучесть без расслоения.

В целом, технология СУБ в сочетании с передовыми методами укладки и контроля позволяет значительно ускорить темпы строительства, снизить трудозатраты и обеспечить высокие эксплуатационные характеристики возводимых конструкций, делая ее перспективным направлением для современного высотного монолитного строительства (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4. – Возведение конструкций высотного монолитного жилого дома в г. Грозный по предложенным методике бетонирования и рецептуре СУБ ТС

При выполнении опалубочных работ для бетонирования с применением СУБ ТС предъявляются особые требования к конструкции

опалубки. В первую очередь необходимо обеспечить повышенную герметичность соединений с использованием специальных уплотнительных прокладок класса IP68, способных выдерживать давление до 85 кН/м², характерное для СУБ-смесей. Особое внимание уделяется применению разделительных составов на минеральной основе с расходом 150-200 г/м², обеспечивающих адгезию не более 0,3 МПа.

Геометрический контроль осуществляется с помощью высокоточного лазерного сканирования (точность ±0,5 мм, плотность 10 точек/см²) с использованием профессионального оборудования Faro Focus или Leica RTC360. Полученные данные тщательно сверяются с BIM-моделью, при этом допустимые отклонения составляют не более 3 мм/м по вертикали и 5 мм на 10 м по горизонтали. Для обработки результатов применяются специализированные программы Autodesk Navisworks и Trimble Connect.

При работе с техногенными составами опалубка дополнительно защищается полиуретановым лаком, устойчивым к химическому воздействию (pH 9-12). В условиях зимнего бетонирования используются щиты со встроенными ТЭНами мощностью 2-3 кВт/м², температурный режим которых контролируется IoT-датчиками с точностью ±0,5°C.

Процедура приемки опалубки включает обязательные испытания на герметичность (водяной столб 1,5 м в течение 15 минут), выборочную проверку 20% крепежных элементов и контроль геометрии не менее чем в пяти сечениях на каждый конструктивный элемент. Все результаты фиксируются с геотегами, оформляются в виде электронного акта с ЭЦП и вносятся в единую среду общих данных (CDE-платформу). Для особо ответственных конструкций, таких как ядра жесткости и колонны нижних этажей, проводится 100-процентный контроль геометрии с созданием цифрового двойника опалубки перед началом бетонирования.

С учетом изложенных положений предложена методика возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 - Функциональная схема возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС

При армировании монолитных конструкций с применением СУБ ТС особое внимание уделяется использованию композитной арматуры, которая благодаря своей коррозионной стойкости и высокой прочности на растяжение (до 1200 МПа) идеально подходит для работы с подобными составами. Процесс сборки арматурных каркасов осуществляется на автоматизированных линиях, обеспечивающих высокую точность монтажа с допустимым отклонением позиционирования стержней не более ±2 мм, что гарантирует соблюдение проектных параметров конструкции.

Контроль качества армирования включает два основных этапа: во-первых, тщательную проверку толщины защитного слоя с применением современных ультразвуковых толщиномеров или электромагнитных сканеров, где допустимые отклонения не должны превышать ±3 мм от проектных значений; во-вторых, детальный визуальный осмотр всех узлов сопряжений, в ходе которого особое внимание уделяется правильности вязки, соблюдению шага хомутов и величине перехлеста стержней, с обязательной фотофиксацией каждого проверяемого элемента для последующего анализа и архивирования.

Для особо ответственных узлов конструкции дополнительно выполняется трехмерное сканирование собранных арматурных каркасов с последующим точным сопоставлением полученных данных с BIM-моделью объекта. Все результаты контроля, включая измерения, фотоматериалы и данные сканирования, систематизируются и заносятся в электронный паспорт конструкции, что обеспечивает полную прослеживаемость и достоверность информации на всех этапах строительства. Такой комплексный подход к армированию позволяет гарантировать не только точное соответствие проектной документации, но и долговечность возводимых конструкций при использовании инновационных бетонных смесей на техногенной основе.

Технология укладки бетонной смеси при возведении монолитных конструкций с применением СУБ ТС требует строгого соблюдения регламентированных параметров для обеспечения качества конструкций.

Бетонирование выполняется методом послойной подачи смеси с ограничением высоты свободного падения до 50 см, что предотвращает расслоение компонентов и обеспечивает равномерное распределение самоуплотняющейся смеси в опалубке. Оптимальная скорость укладки поддерживается в диапазоне 10-15 м³/час, что позволяет достичь непрерывности технологического процесса без образования холодных швов.

Особое внимание уделяется мониторингу процесса бетонирования:

Контроль температуры в бетонном массиве осуществляется с помощью термопарных датчиков, размещенных с шагом 1-1,5 м по высоте конструкции. Допустимый градиент температуры между ядром и поверхностью не должен превышать 20°С.

Измерение давления на опалубку проводится с использованием тензометрических датчиков, установленных на наиболее нагруженных участках. Максимальное давление не должно превышать 85 кН/м² для стандартных опалубочных систем.

Все данные мониторинга в режиме реального времени передаются на центральный пульт управления и анализируются специальным программным обеспечением, что позволяет оперативно корректировать параметры укладки. Полученная информация архивируется и привязывается к цифровой модели конструкции (BIM) для последующего анализа и контроля качества.

Современные подходы укладки бетона в конструкции при монолитном строительстве требуют полную автоматизацию производства работ (роботы, дроны), их цифрового контроля (BIM, IoT-датчики) и применения инновационные материалов (СУБ, фибробетон и др.).

Применительно к СУБ ТС перед началом бетонирования конструкций выполняют подготовительные работы, которые включают комплекс следующих обязательных процедур:

-подготовку поста, обеспечивающий соблюдение входного контроля качества принимаемой бетонной смеси, комплектности и качества опалубки, бетононасосов с требуемыми характеристиками и требуемого типа

вибраторов, эффективных тепло - и влагозащитных материалов для обеспечения ухода за твердеющим бетоном;

-с целью предотвращения появления термических трещин производят установку технологической арматуры, устраиваются бетонолитные трубы для подачи бетонной смеси и, при необходимости, термодатчики для контроля температурного режима твердения бетона изделий.

3.2.6. Уход за бетоном и контроль твердения

После завершения укладки самоуплотняющегося бетона на техногенном сырье особое внимание уделяется правильному уходу за бетоном, который включает два ключевых аспекта: термовлажностную обработку и контроль процесса твердения. В первые 72 часа после укладки поддерживается влажность не менее 95% с помощью укрытия поверхности полимерными пленками или влагоудерживающими матами, систем автоматического орошения с датчиками влажности, а также применения специальных curing-составов для вертикальных поверхностей. При температуре окружающего воздуха ниже +5°C организуется прогрев бетона с помощью инфракрасных излучателей для тонкостенных конструкций, греющих кабелей для массивных элементов или термоактивной опалубки с автоматической регулировкой температуры. Контроль процесса твердения осуществляется методом зрелости бетона: в контрольных точках конструкции устанавливаются температурные датчики, по формуле рассчитывается коэффициент зрелости $M(t) = \Sigma(T(t) - T_0) \cdot \Delta t$ и сравнивается с калибровочными кривыми для данной смеси. Также применяется ультразвуковой контроль — измерение скорости прохождения ультразвука (4-5 км/с для набравшего прочность бетона), которая коррелирует с прочностными характеристиками и позволяет выявлять возможные дефекты структуры. Все данные контроля фиксируются в электронном журнале бетонных работ и привязываются к цифровой модели объекта. Особое внимание уделяется градиенту температур

по сечению (не более 20°С), равномерности набора прочности и отсутствию трещинообразования. Для критически важных конструкций дополнительно используют акустическую эмиссионную диагностику, термографический контроль, а также взятие и испытание контрольных образцов. Такой комплексный подход обеспечивает достижение проектной прочности в установленные сроки, минимизацию усадочных деформаций, долговечность бетонных конструкций и соответствие требованиям нормативной документации.

3.2.7. Контроль качества и документирование

Современное строительство высотных зданий требует внедрения инновационных технологий, среди которых особое место занимает система управления бетонированием (рисунок 3.6). Процесс начинается с этапа проектирования и цифрового моделирования, где BIM-технология позволяет создать детализированную 3D-модель здания со всеми конструктивными узлами. Специализированное программное обеспечение (Midas, Ansys, Revit) используется для точного расчета критически важных параметров: температурного режима бетонирования, скорости набора прочности и возможной усадки. На этом же этапе происходит интеграция системы управления с настройкой датчиков и систем автоматизированного контроля.

Подготовительный этап включает автоматизированную разметку с применением роботов-нивелиров и лазерных сканеров, а также контроль геометрии с помощью 3D-сканирования. Особое значение имеет использование "умной" опалубки, оснащенной датчиками давления бетона и температуры, что обеспечивает точное соответствие проектным требованиям. Процесс бетонирования сопровождается непрерывным мониторингом через систему управления.



Рисунок 3.6. - Функциональная схема методики устройства монолитных конструкций высотных зданий и использованием системы управления бетонированием

В бетонную смесь интегрируются различные датчики: термопары для контроля температуры, тензодатчики для измерения деформаций, влагомеры для отслеживания уровня влажности. Онлайн-анализ этих параметров позволяет в реальном времени отслеживать состояние бетона, предотвращая перегрев или переохлаждение, контролируя скорость набора прочности и уровень вибрации при укладке. Полученные данные используются для автоматической корректировки процесса - регулировки подогрева, увлажнения или изменения режима вибрирования.

После укладки бетона система продолжает мониторинг на этапе ухода за бетоном. Автоматизированные системы прогрева, регулируемые на основе данных системы управления бетонированием, и интеллектуальный автополив, учитывающий интенсивность испарения, создают оптимальные условия для твердения. Современные алгоритмы позволяют точно прогнозировать сроки распалубки на основе актуальных данных о состоянии бетонной конструкции.

Контроль качества включает формирование цифрового паспорта конструкции со всеми параметрами бетонирования, сравнение фактических показателей с BIM-моделью для выявления отклонений, а также автоматическую генерацию отчетов для надзорных органов.

Ключевые преимущества системы управления бетонированием включают повышенную точность за счет минимизации человеческого фактора, значительную экономию времени благодаря автоматизации контрольных операций, эффективное предотвращение дефектов (трещины, перегрев, недостаточная прочность), создание полной цифровой истории бетонирования.

Среди современных технологических решений стоит отметить беспроводные датчики Giatec SmartRock для мониторинга бетона, систему контроля виброуплотнения Sika ViscoFlow, Российскую разработку "Монолит-ИНФО" для комплексного мониторинга.

Перспективы развития технологии связаны с внедрением искусственного интеллекта для прогнозирования трещинообразования, использованием дронов и роботов для автоматизированного бетонирования, применением блокчейн-технологий для создания неизменяемых журналов всех технологических процессов.

Внедрение систем управления бетонированием принципиально меняет подход к монолитному строительству, обеспечивая новый уровень контроля качества, сокращение сроков строительства и полную прозрачность технологических процессов. Особую актуальность такие системы приобретают при возведении сложных объектов - небоскребов, мостов и сооружений метрополитена, где требования к качеству и точности исполнения особенно высоки.

При возведении монолитных конструкций с применением СУБ ТС контроль качества и документирование представляет собой комплексную систему мероприятий, обеспечивающих соответствие возводимых конструкций проектным требованиям и нормативным стандартам. Основу контроля качества составляют три ключевых вида испытаний: определение прочности на сжатие, проверка водонепроницаемости и оценка морозостойкости. Испытания прочности проводятся на различных стадиях твердения бетона (3, 7, 14 и 28 суток) с использованием стандартных кубиковых образцов 15×15×15 см, изготовленных непосредственно на строительной площадке, а также современных неразрушающих методов контроля, включая склерометрию и ультразвуковую диагностику. Проверка водонепроницаемости осуществляется путем испытания образцов под давлением воды в соответствии с ГОСТ 12730.5 с контролем глубины проникновения влаги и использованием электронных влагомеров для оценки капиллярного подсоса. Оценка морозостойкости включает циклическое замораживание-оттаивание контрольных образцов с последующим измерением остаточной прочности и ультразвуковым анализом внутренней структуры материала.

Современная система документирования предусматривает ведение электронного паспорта конструкции, содержащего исчерпывающие данные о составе бетонной смеси, результатах всех проведенных испытаний, параметрах укладки и твердения, информации о персонале, а также фото- и видеофиксацию ключевых технологических этапов. Все полученные данные интегрируются в BIM-систему объекта, что позволяет осуществлять

визуализацию результатов контроля на цифровой модели здания, автоматически формировать отчетную документацию и настраивать систему оповещений о критических отклонениях. Информация сохраняется в защищенном облачном хранилище с возможностью многоуровневого доступа для участников проекта, формирования аналитических выборок по различным параметрам, экспорта данных для надзорных органов и долгосрочного архивирования на весь срок эксплуатации объекта. Такой комплексный подход обеспечивает полную прозрачность строительного процесса, оперативное выявление и устранение возможных отклонений, а также создает надежную основу для последующей безопасной эксплуатации сооружения, полностью соответствующую требованиям современных нормативных документов и стандартов качества в строительстве.

Технология и организация производства бетонных работ базировалась на принципе обеспечения их поточности, изложенных в главе 2 настоящей работы. В качестве элементов организации потоков рассматривались опалубочные, бетонные, арматурные работы, а также выдерживание и уход за твердеющим бетоном.

Организация бетонных работ с использованием СУБ ТС при устройстве конструкций несущих элементов каркасов высотных зданий в условиях возведении этажа осуществлялось следующим образом: на первом этапе – возведение вертикальных элементов (бетонирование стен ядра жесткости здания, несущих колонн и стен по контуру здания); второй этап – бетонирование балок, ригелей и перекрытий. Для обеспечения указанной очередности бетонирования осуществляется разбивка конструкций с использованием технологических (рабочих) швов на захватки (участки) бетонирования. При необходимости бетонирование последовательных друг за другом очередей совмещалось, т. е. бетонирование элементов перекрытия на отдельной захватке производилось после устройства не всех, а лишь расположенных под ним несущих вертикальных конструкций. Подача бетона в конструкцию опалубки на высоту всего здания производится с

использованием бетононасосов со скоростью подачи бетона 20 м3/час и более, а при использовании отдельного бетонирования колонн могут использовались бадьи. Укладка бетона в вертикальные конструкции может возможна и применением бетонолитных труб или с использованием опущенного в конструкцию опалубки гибкого конца шланга бетононасоса. Возможная высота сброса бетонной смеси (расстояние по вертикали от точки сбрасывания смеси бетонолитной трубы (шланга бетононасоса) до твердого основания бетонируемой конструкции) должна быть не более 1,0–1,5 м.

Наиболее эффективно СУБ ТС можно использовать для бетонирования густоармированных железобетонных конструкций (рисунок 3.7) или конструкций с жесткой профильной арматурой без применения виброуплотнения или с применением кратковременного (3 секунд и меньше). В нашем случае это густоармированные несущие колонны.

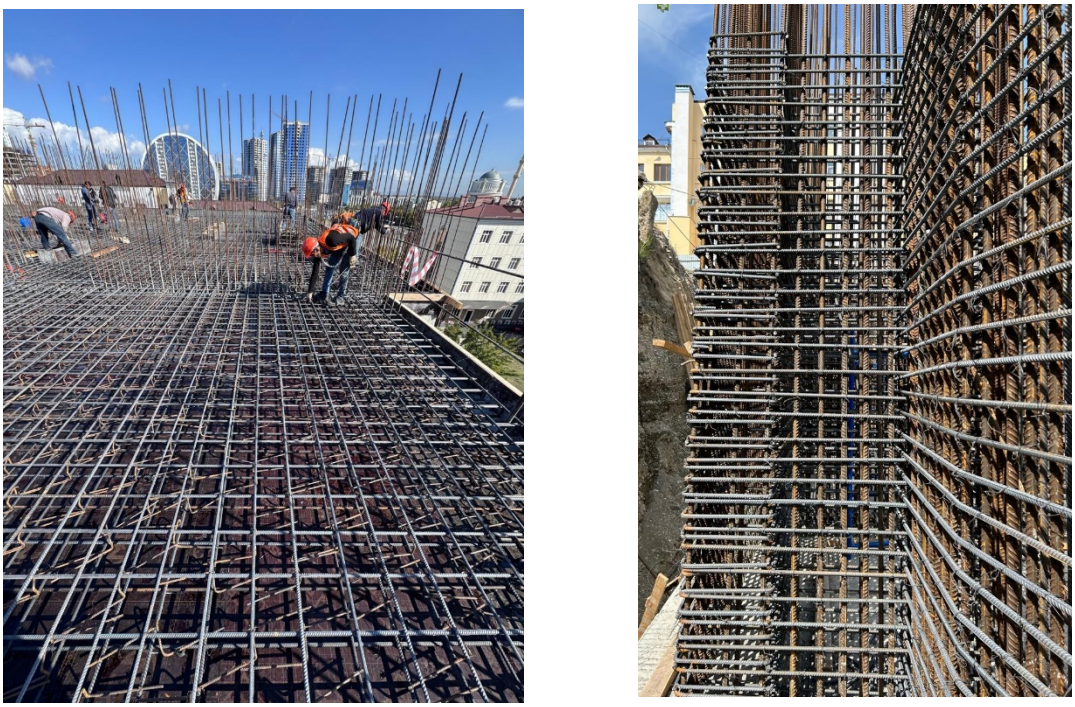


Рисунок 3.7. - Густоармированные железобетонные конструкции (ЖК «ПАНОРАМА»)

При непредвиденных перерывах в укладке бетонной смеси для предотвращения возникновения так называемых «холодных»

швов до возобновления укладки верхний слой ранее уложенного бетона на толщину10–20 см подвергался повторному (в течение 3с.) вибрированию.

При выдерживании и уходе за конструкциями из высокопрочных бетонов учитывались повышенная экзотермия СУБ ТС и климатические условия производства работ.

3.3. Оптимизация организационно-технологических решений возведения высотных зданий с применением СУБ ТС

Современное строительство высотных зданий требует комплексного подхода к оптимизации организационно-технологических решений, особенно при использовании самоуплотняющихся бетонных смесей (рисунок 3.8).

Технологические инновации начинаются с модернизации бетонных составов, где применяются высокопрочные СУБ классов В40-В80 с использованием техногенных заполнителей - золошлаковых материалов и рециклированного бетона.

Особую эффективность демонстрирует введение наномодификаторов, позволяющих точно регулировать реологические свойства смесей. Автоматизация процессов достигается за счет роботизированных линий подачи бетона, интеллектуальных опалубочных комплексов, оснащенных датчиками давления, и специализированных систем термостабилизации для работы в зимних условиях.

Организационные решения включают оптимизированные логистические схемы с централизованным приготовлением смесей и системой just-in-time доставки компонентов, дополненные многоуровневой системой контроля качества. Управление строительными процессами осуществляется через BIM-планирование потоков работ, создание цифровых двойников технологических операций и автоматизированный мониторинг ключевых параметров в реальном времени.

.

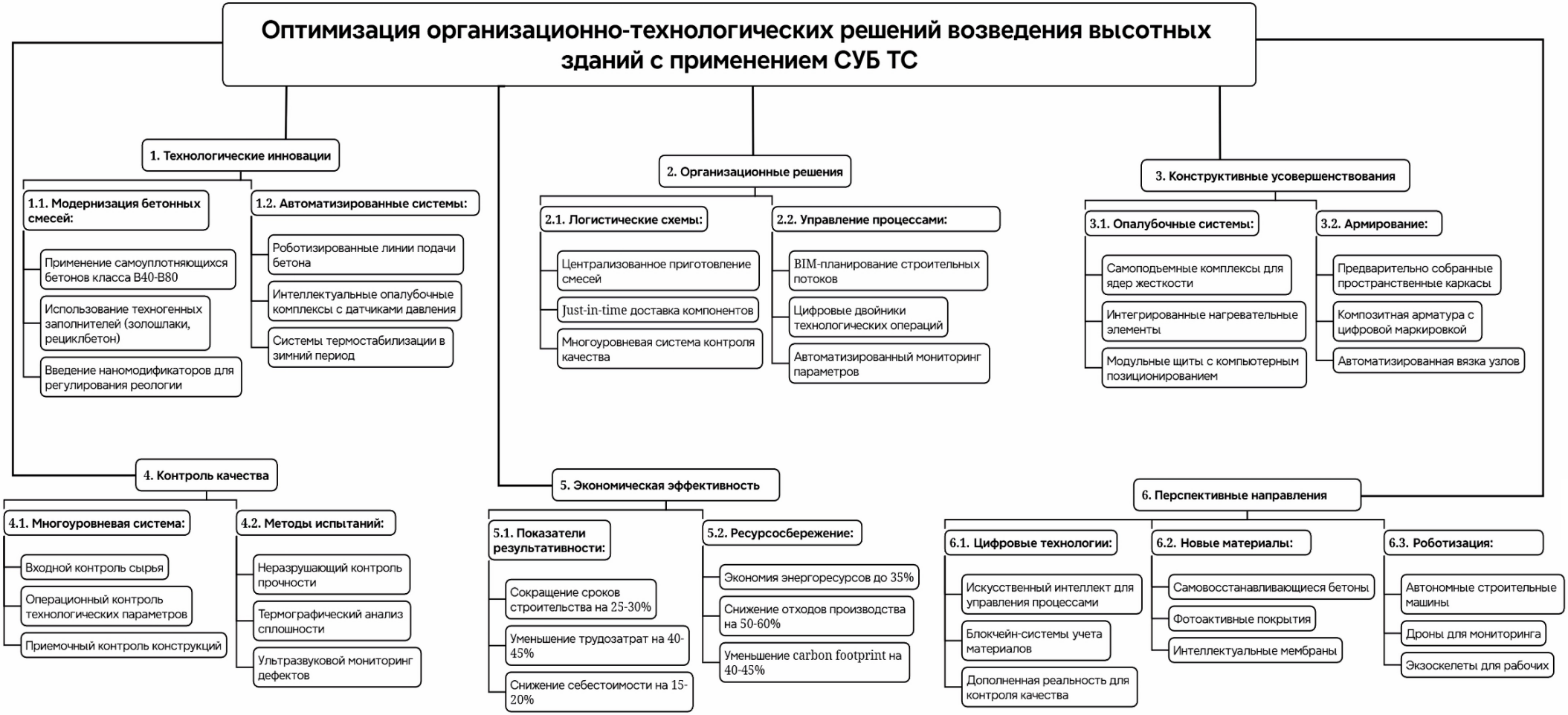


Рисунок 3.8. - Функциональная схема оптимизации организационно-технологических решений строительства высотных монолитных зданий

Конструктивные усовершенствования охватывают современные опалубочные системы, включая самоподъемные комплексы для ядер жесткости с интегрированными нагревательными элементами и модульные щиты с компьютерным позиционированием. В области армирования применяются предварительно собранные пространственные каркасы, композитная арматура с цифровой маркировкой и автоматизированные системы вязки узлов.

Система контроля качества реализуется через трехуровневую структуру: входной контроль сырья, операционный контроль технологических параметров и приемочный контроль готовых конструкций. Для испытаний используются передовые методы, включая неразрушающий контроль прочности, термографический анализ сплошности и ультразвуковой мониторинг возможных дефектов.

Экономическая эффективность технологии подтверждается значительными показателями: сокращением сроков строительства на 25-30%, уменьшением трудозатрат на 40-45% и снижением себестоимости на 15-20%. Ресурсосберегающий потенциал включает экономию энергоресурсов до 35%, сокращение производственных отходов на 50-60% и уменьшение углеродного следа на 40-45%.

Перспективные направления развития включают три ключевых вектора:

Цифровые технологии - внедрение ИИ для управления процессами, блокчейн-систем учета материалов и дополненной реальности для контроля качества

Новые материалы - разработка самовосстанавливающихся бетонов, фотоактивных покрытий и интеллектуальных мембран

Роботизация - использование автономных строительных машин, дронов для мониторинга и экзоскелетов для рабочих

Реализация данных решений позволяет достичь принципиально нового уровня эффективности в высотном строительстве, сочетая технологическое совершенство, экономическую целесообразность и экологическую

безопасность. Комплексный подход к оптимизации всех этапов строительного процесса с применением СУБ ТС открывает новые возможности для создания современных высотных сооружений с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Таким образом, применения СУБ ТС для бетонирования конструктивных элементов монолитных зданий является новым, весьма перспективным направлением использования цементных композитов в современном строительстве. В рамках настоящего исследования, применительно к условиям Чеченской Республики, проделан большой объем работы по проектированию бетонных композитов с применением различных минеральных наполнителей природного и техногенного происхождения (золы, молотые шлаки и известняк, микрокремнезём и др.) в качестве микронаполнителей, с одновременным исследованием всего комплекса основных строительно-технических свойств предложенных бетонов. Кроме того, предложена технологии их приготовления и укладки в конструктивные элементы монолитных зданий и сооружений, включая высотные.

Выводы по главе 3

1. В рамках разработки технологических основ получения СУБ ТС для высотного монолитного домостроения предложено развивать комплексную технологию на основе применения местных природных и техногенных ресурсов, позволяющая снижать расход цемента до 140 кг/м³ для высокопрочных составов без потери прочности. Предложенная система технологических переделов получения СУБ ТС определяет последовательность действий - от анализа местного сырья до выпуска специализированных бетонов с повышенным ресурсом долговечности.

2. Разработана функциональная модель приобъектного узла с дозатор-конвейером заполнителей и системой ультразвуковой деаэрации уменьшающая вариацию состава на 35 % и почти полностью устраняющая расслоение смеси при перекачке на высоту до 500 м. Дозатор-конвейер

заполнителей позволяет автоматически менять гранулометрию смеси между сменами и тем самым оперативно менять выпуск различных видов бетона. В сравнении с классическим стационарным узлом в предлагаемом время перенастройки сокращается вдвое, а брак из-за человеческого фактора – в четыре раза.

3. Разработана методика бетонирования строительных конструкций с использованием СУБ ТС, которая предполагает создание комплекса технически обоснованных регламентов, определяющих последовательность, технологические приёмы и контрольные процедуры для обеспечения проектных характеристик бетонных конструкций.

Технология укладки предусматривает подачу смеси со скоростью 0,5-1,0 м/ч по высоте, ограничение высоты свободного падения до 1,0 м, послойную заливку с толщиной слоя 40-60 см и применение ограничительных устройств для предотвращения распалубки.

4. Получены эффективные составы СУБ ТС для монолитного высотного строительства с применением местных сырьевых компонентов, включая недорогие минеральные наполнители техногенного происхождения взамен дорогого и дефицитного кремнезема, привозимого из других регионов страны.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о значительном росте прочности бетона в 7-ми суточном возрасте, что позволяет говорить о существом сокращении срока выдерживания перед распалубливанием (возможна ранняя распалубка и соответственно увеличение количество циклов оборачиваемости опалубки), в целом о незначительном влиянии типа применяемой добавки на В/Ц и об эффективности применения минеральных добавок и наполнителей для повышения строительно-технических свойств СУБ ТС.

5. Разработана методика возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС, которая представляет собой современный и высокоэффективный подход, обеспечивающий скорость, качество и экономическую целесообразность строительства. Ключевыми параметрами

предложенной методики являются: этап подготовки, где ключевыми являются контроль показателя текучести (расплыва конуса -600–750 мм), подача и укладка смеси с помощью высокопроизводительных бетононасосов (до 200 м³/ч), применение опалубочных системы различного типа с высокой герметичностью и контроль качества с обязательным испытанием на прочность (не менее В60 для несущих конструкций), водонепроницаемость (W8–W12) и морозостойкость (F300–F500).

6. Предложена методика устройства монолитных конструкций высотных зданий и использованием системы управления бетонированием, которая начинается с этапа проектирования и цифрового моделирования, где BIM-технология позволяет создать детализированную 3D-модель здания со всеми конструктивными узлами. Специализированное программное обеспечение (Midas, Ansys, Revit) используется для точного расчета критически важных параметров: температурного режима бетонирования, скорости набора прочности и возможной усадки. На этом же этапе происходит интеграция системы управления с настройкой датчиков и систем автоматизированного контроля.

7. Реализация комплексного подхода к оптимизации организационно-технологических решений позволяет достичь принципиально нового уровня эффективности в высотном строительстве, сочетая технологическое совершенство, экономическую целесообразность и экологическую безопасность. Комплексный подход к оптимизации всех этапов строительного процесса с применением СУБ ТС открывает ранее не известные возможности для создания современных высотных сооружений с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБ ТС

Строительный бум, наблюдаемый в настоящее время связан с успешным синхронизированным решением политических, экономических и социальных задач на территории Чеченской Республики. Вследствие этого, инвестиционный климат, сложившийся в республике, является весьма благоприятным фоном для обеспечения массового строительства. По последним статистическим данным на 01.04.2025 года объем одновременно возводимого жилья в городе составляет 6,7 миллионов квадратных метров, из них более 3 миллионов - в новом микрорайоне имени В.В. Путина.

До известных событий конца прошлого и начала нынешнего столетия массовое возведение жилья в республике в основном было представлено строительством с применением сборных железобетонных конструкций. На территории республики функционировали несколько заводов ЖБИ мощностью 30-50 тысяч $м^3$ в год каждый, функционировал Аргунский комбинат крупнопанельного домостроения производительностью до 150 тысяч м3 бетон в год, возводили крупнопанельные и крупноблочные здания домостроительные комбинаты, которые ежегодно сдавали в эксплуатацию 150-180 тысяч $м^2$ жилья в год.

Сегодня строительная индустрия республики представлена заводами и установками по производству бетонной смеси, несколькими заводами по производству глиняного кирпича, карьерами для получения крупного и мелкого заполнителя для бетона-песка и щебня.

Совокупность таких объективно сложившихся вводных без большого выбора способствовали применению к реализации практики монолитного строительства зданий и сооружений на базе комплексного использования техногенного сырья, которое учитывает природно-климатические особенности (высокая сейсмоопасность, наличие просадочных грунтов на значительной части территории) и, как и во многих регионах страны и мира,

истощение запаса природно-сырьевых ресурсов, применяемых для получение строительных композитов.

Возведение монолитных конструкций высотных зданий в г. Грозный с использованием СУБ ТС можно считать одним из вариантов реализации изложенной концепции.

4.1. Практическая реализация результатов исследований

В настоящее мире по статическим данным на конец 2024 года производится более 2 миллиардов тонн цемента ежегодно. При этом Китай является крупнейшим производителем цемента, вкладывая более 40% в глобальное производство. С использованием этого цемента производится до 15 миллиардов кубических метров бетона.

Применение монолитного бетона в строительстве превосходит другие строительные материаловедческие решения по объему производства и использования и спрос на бетон тесно связан с жилищным и промышленным строительством, что делает его ключевым компонентом в проектах строительной индустрии. Динамика производства бетона в России за последние годы (по данным BusinesStat) показывает, за период с 2018 по 2022 год производство бетона выросло на 46,9%, достигнув 49,83 миллионов м³.

Общее увеличение производства в 2023 года по сравнению с аналогичным периодом 2022 года составило 19,4%, достигнув 22,92 миллионов м³.

Выбор для практической реализация результатов исследований технологии строительства монолитного высотного здания в г. Грозный с применением СУБ ТС бетона базировался на использовании индустриальных опалубочных систем с высокой оборачиваемостью и применении обычных и высокотехнологических арматурных изделий, таких как металлические стержни (напряженные и ненапряженные), плоские и пространственные каркасы, металлические профили, используемые как жесткая арматура, современные композитные арматуры. В качестве инновационных

составляющих реализуемого проекта предусматривалось использование эффективных бетонных композитов, включая высококачественные бетоны, и, в частности, самоуплотняющиеся на основе использования техногенного сырья и современные способы их укладки, что хорошо согласуется с мировыми подходами современного монолитного домостроения.

В унисон общемировой и российской тенденций в Чеченской Республике не менее убедительные данные по показателю темпа строительства зданий и сооружений с использованием монолитного бетона, включая и высотные (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Перечень некоторых высотных монолитных домов, строящихся в г. Грозный на конец 2023г.

№№ пп	Наименование объекта (в соответствии с ПСД)	Адрес (местоположение) объекта	Технико-экономические показатели			
			Общая площадь, м2	Объем здания, м3	Количество этажей	Количество зданий
1	2	3	4	5	6	7
1	Многоквартирный жилой дом с встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Шерипова, 68б	76 728,32	359 173	26 (-1)	2
2	Многоквартирный жилой комплекс со встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом (I-	Ахматовский район, ул. А. Шерипова, Кан-Калика, Сафонова, б/н	66400	311356	25	5
3	Многоквартирный жилой комплекс со встроенными торгово-офисными помещениями и подземным автопаркингом	Ахматовский район, ул. Санкт-Петербургская/Кавказская, б/н	44 550,64	163 891	26	3
4	Комплекс многоэтажных жилых зданий со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом	Ахматовский район, ул. Ш.А. Митаева, б/н	84768	288063	31	3
5	Высотный жилой комплекс со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и 2-х уровневым подзем-	Ахматовский район, ул. Ш.А. Митаева, 2а		365206	33	3
6	Многоквартирный жилой комплекс (Блок 1 - Ислам), (Блок 2 - Иман), (Блок 3 - Ихсан)	Шейх-Мансуровский район, пр. Исаева/ул. Орзамиева/Идрисова, 96	82231	316468	32 (-2)	3
7	Многоквартирный жилой дом (свечка)	Ахматовский район, ул. Лорсанова, 8а	23107,37	80665,1	24 (-1)	1
8	Многоквартирный жилой комплекс	Ахматовский район, ул. А. Шерипова, 64 (МинТранс)	135720	495000	33(-2)	6
9	Многоквартирный жилой дом	Шейх-Мансуровский район, ул. Идрисова, б/н	72669,62	250379	33 (-2)	1

Доступные статистические данные не содержат показателя доли применения монолитного бетона в строительстве на данный момент в Чеченской Республике в целом, но предполагается, что он сравним с аналогичными показателями ведущих стран мира.

Активное развитие высотного монолитного домостроения (рисунок 4.1, рисунок 4.2) обусловлено с увеличением этажности городской застройки и современными требованиями к городской среде и, как выше отмечалось, отсутствием в г. Грозный предприятий, специализирующихся на полносборном крупнопанельном домостроении. К другим особенности высотного строительства в целом, и в Чеченской Республике, в частности, относится то, что при возведении домов есть возможность учета архитектурных, конструктивных и технологических параметров возводимого объекта. Выбор опалубки при этом зависит от принятых архитектурных решений и влияет на расчет здания при ее строительстве.

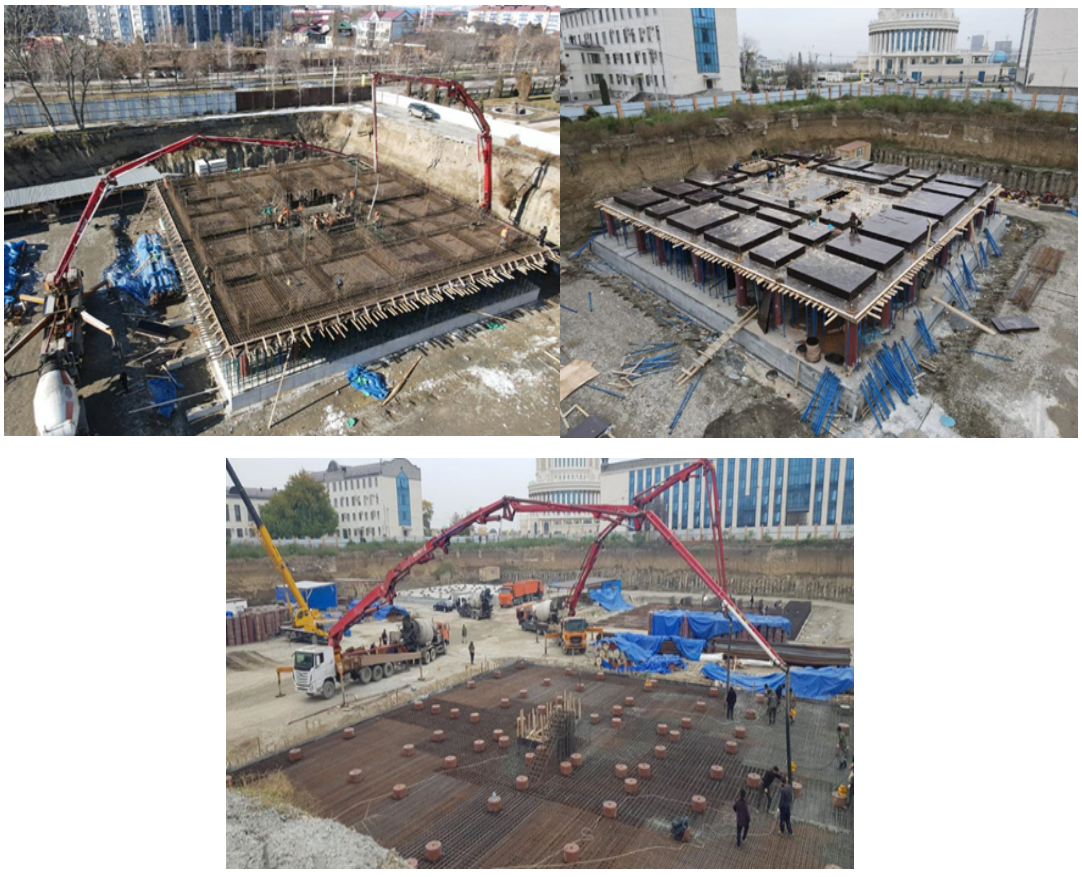


Рисунок 4.1. - Технологические процессы возведения монолитных жилых домов в г. Грозный –устройство кинематических опор под высотное здание



Рисунок 4.2. - Возведение монолитных конструкций жилого дома с использованием СУБ ТС г. Грозный (ул. А. Митаева)

Для возведения домов в основном применяется крупнощитовая опалубка с учетом того, что по своему технологическому назначению она весьма универсальна и может быть эффективно использована для зданий различной этажности и разнообразных объемно-планировочных структур.

В современном строительстве, наряду с традиционными обычными тяжелыми бетонами класса В7,5-В40, применяется множество различных видов бетонных смесей. Эти варианты включают в себя высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны, которые обеспечивают улучшенную производительность и эксплуатационные характеристики, а также бетоны повышенной долговечности, которые спроектированы для длительного срока службы. Кроме того, существуют безусадочные, расширяющиеся и напрягающие бетоны, которые могут использоваться в зависимости от конкретных требований проекта, а также специальные бетоны, включая те,

которые используют новые типы вяжущих веществ, и различные виды легких бетонов.

Поэтому в рамках реализации мероприятий по практическому применению полученных результатов исследований изучены реологические и физико-механические свойства полученных СУБ ТС классов по прочности на сжатие до В100 с целью рекомендации их для использования в высотном монолитном строительстве, в том числе и в сейсмоопасных районах на примере г. Грозный. Проведен анализ и рассмотрены технологии и организация возведения монолитных жилых домов в г. Грозный с применением современных опалубочных систем.

Организация и управление возведением высотного монолитного здания в г. Грозный Чеченской Республики с применением СУБ ТС представляет собой комплексную систему взаимосвязанных процессов (рисунок 4.3), требующих тщательной проработки на всех этапах строительства.

На стадии проектно-технологической подготовки создается детализированная BIM-модель объекта, включающая не только архитектурно-конструктивные решения, но и все технологические процессы. Особое внимание уделяется подбору оптимального состава СУБ ТС, где содержание техногенных компонентов (золошлаков, строительного лома) тщательно рассчитывается с учетом требуемых прочностных и реологических характеристик.

Параллельно разрабатываются специальные технологические карты для бетонирования высотных конструкций, проектируются опалубочные системы с повышенной герметичностью, способные выдерживать давление до 90 кН/м², и оптимизируются узлы сопряжений с учетом особенностей поведения самоуплотняющихся смесей.

Логистическая организация строительного процесса направлена на создание централизованной системы управления поставками, включающей организацию замкнутого цикла "производство-транспортировка-укладка" с жестким временным лимитом 120 минут.



Рисунок 4.3. - Функциональная схема организации и управления возведением высотного монолитного здания с применением СУБ ТС

Для обеспечения бесперебойности работ внедряется GPS-мониторинг автобетоносмесителей, создаются резервные мощности на бетонном узле (30% от планового объема) и организуются специальные склады для хранения техногенных материалов с системой контроля влажности. Технологическое управление процессом возведения осуществляется через многоуровневую систему контроля, где особое внимание уделяется соблюдению параметров бетонирования: послойной укладке с высотой слоя 40-50 см, поддержанию скорости бетонирования в диапазоне 12-18 м³/час и автоматическому контролю давления на опалубку. Параллельно ведется непрерывный мониторинг температурных показателей с шагом 1,5 м по высоте конструкции, ультразвуковой контроль монолитности через 24 часа после укладки и высокоточное лазерное сканирование геометрии с точностью 0,3 мм.

Система управления качеством включает три ключевых этапа контроля: входной (лабораторные испытания каждой партии техногенного сырья и проверка реологических свойств СУБ перед укладкой), операционный (непрерывный мониторинг параметров твердения и визуальный осмотр каждого технологического перехода) и приемочный (испытания образцов на прочность B45-B70, проверка водонепроницаемости W12-W18 и оценка морозостойкости F350-F450). Все данные интегрируются в единую цифровую платформу управления, включающую BIM-модель с привязкой контрольных показателей, модуль прогнозирования прочности по методу зрелости, систему автоматических оповещений об отклонениях и электронный паспорт конструкции с блокчейн-верификацией данных.

Особое внимание уделяется вопросам охраны труда и экологической безопасности: организуется принудительная вентиляция замкнутых пространств при работе с техногенными материалами, внедряются системы пылеподавления на участках обработки сырья и ведется постоянный мониторинг экологических показателей (радиационный фон, ПДК вредных веществ). Экономическая эффективность предлагаемой системы организации работ подтверждается значительными показателями: сокращение сроков

строительства на 25-35%, уменьшение трудозатрат на 40-45%, снижение себестоимости на 18-22% и уменьшение carbon footprint на 45-50%. Критическими факторами успеха реализации проекта являются строгое соблюдение временных рамок технологического цикла, поддержание стабильности состава СУБ ТС, наличие квалифицированного персонала с специальной подготовкой, обязательное резервирование ключевого оборудования и непрерывный мониторинг всех параметров строительного процесса. Такой комплексный подход позволяет обеспечить возведение высотных монолитных зданий с соблюдением всех требований по качеству, безопасности и экологичности при оптимальных экономических показателях.

4.2. Расчет экономической эффективности применения СУБ ТС для устройства монолитных конструкций

В ходе выполнения настоящего диссертационного исследования предложена методика обоснования технической и экономической эффективности применения СУБ ТС высокой прочности для возведения конструктивных элементов зданий и сооружений.

Эффективность возведения монолитных конструкций с использованием бетонных смесей на техногенном сырье складывается [105] из экономии за счет:

- возможности уменьшения геометрических размеров конструкций путем снижения поперечного сечения и уменьшения расхода арматуры вследствие повышения фактической прочности СУБ ТС;
- упрощения технологии устройства конструкций (исключаются затраты на виброуплотнение бетона);
- оптимизации состава СУБ-бетонных смесей (уменьшение расходов на приобретение минеральных наполнителей (техногенные и некондиционные природные компоненты вместо микрокремнезема);
- уменьшение удельной стоимости квадратного метра жилья вследствие увеличения общей площади здания.

Кроме того, имеются все признаки наличия экономического эффекта от уменьшения воздействия на окружающую среду и присутствия социального экономического эффекта.

В качестве объекта, на котором проводится технико-экономическое обоснование применения СУБ ТС для возведения монолитных конструкций, был выбран один из трех домов высотного комплекса многоэтажных жилых зданий со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом по адресу: Чеченская Республика, г. Грозный, Ахматовский (Ленинский) район, ул. им. Шейха Али Митаева, кадастровый квартал 20:17:0223010 (рисунки 4.4, 4.5)

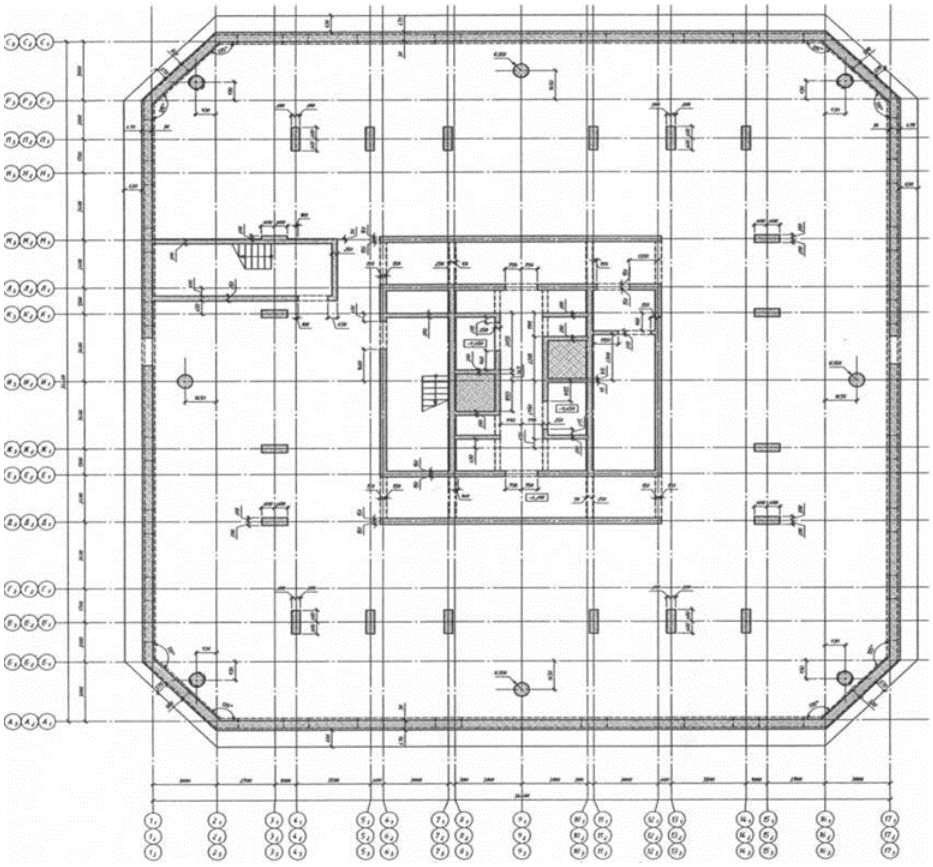


Рисунок 4.4. - План 1-го этажа жилого дома комплекса зданий

Весь объект поделён деформационными (антисейсмическими) швами так, чтобы расстояние между антисейсмическими швами было не более 80 м

как для железобетонного каркаса при сейсмичности площадки 8 баллов (Рисунок 4.5). Подземная часть объекта представлена свайными полями и ростверками жилых домов, а также фундаментами паркинга.

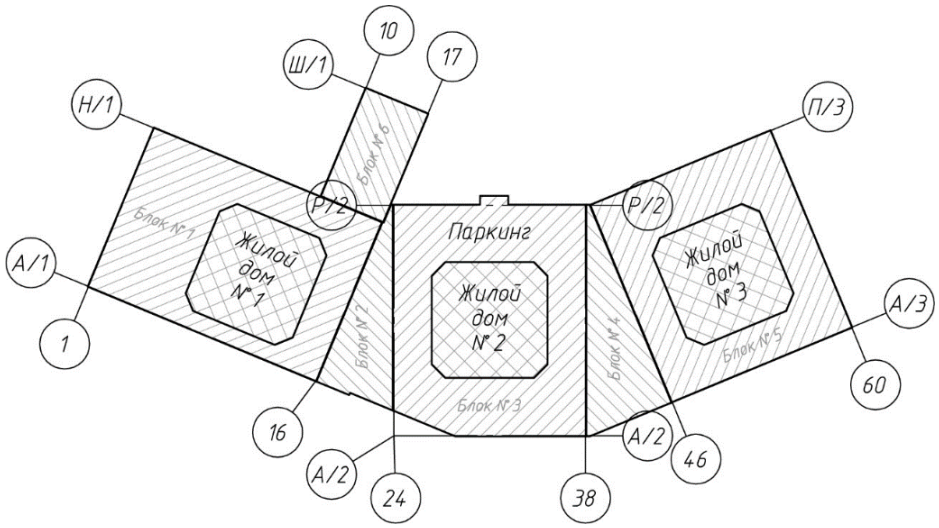


Рисунок 4.5. - Блокировка зданий высотного комплекса многоэтажных жилых зданий со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом

Возможность опасных природных процессов и явлений и техногенных воздействий на территории, на которой будут осуществляться строительство – высокая сейсмичность площадки строительства.

Конструктивная система здания представляет собой совокупность взаимосвязанных несущих конструктивных элементов из монолитного железобетона, обеспечивающих его прочность, устойчивость и необходимый уровень эксплуатационных качеств. Несущая конструктивная система проектируемого здания состоит из фундамента, опирающихся на него вертикальных несущих элементов (колонн и стен) и объединяющих их в единую пространственную систему горизонтальных элементов (плит перекрытий и покрытий).

По типу вертикальных несущих элементов конструктивная система проектируемого здания является колонно-стеновой, где основными несущими элементами являются колонны и стены ядра жесткости.

По типу горизонтальных элементов конструктивная система проектируемого здания представлена сплошными плитами перекрытий с балками.

Ограждающие конструкции преимущественно ненесущие, опирающиеся в пределах этажа на перекрытия и непосредственно не передающие нагрузку на фундамент.

Высота здания меньше 100 м.

4.2.1. Расчет экономии от уменьшения геометрических размеров конструкций и уменьшения расхода арматуры

Использование СУБ ТС при возведении монолитных элементов зданий и сооружений показывает, что фактически получаемая прочность бетона, как правило, превышает его проектные данные, что объясняется тем, что при проектировании состава СУБ ТС для обеспечения требуемой реологии необходимо предусматривать сверхнормативный расход цемента, а значит и увеличивать в смеси объем цементного теста. При этом для обеспечения самоуплотнения таких смесей требуется, чтобы минимальный расход цемента был не ниже 380 кг/м3, обеспечивая тем самым получение СУБ ТС фактической прочности не менее 50 МПа [106-116].

С целью определения эффективности предлагаемых бетонов сравнивали в качестве базового варианта виброуплотняемую бетонную смесь класса В25 с осадкой конуса 18 см (марка по подвижности П4) и предлагаемый вариант – самоуплотняющаяся бетонная смесь на техногенном сырье (таблица 4.2). При проектировании СУБ ТС с использованием бетононасосов для подачи бетона в конструкции были учтены критерии перекачиваемости его компонентов. Данный критерий на разных уровнях характеризует способность любой

жидкотекучей двигающейся системы оставаться сплошным с соблюдением собственной неразрывности.

Таблица 4.2 Составы и свойства бетонных смесей, использованных для проведения сравниваемых производственных исследований

№ варианта	Принятый расход компонентов, кг/м3						Осадка конуса Расплыв конуса (мм)	Прочность на сжатие, МПа
	Ц	В	П	Н	Щ	SikaVisco Crete 0.7%		
1	350	190	820	-	960	-	20 -	37,5
2	520	195	820	80	860	3,64	- 70	57,7

Показателем получение технического эффекта от применения СУБ ТС служил рост его прочности в сравнении с базовым вариантом. Достигнутый технический эффект должен был показать возможность уменьшения размеров сечения монолитных конструкций здания и, следовательно, уменьшение расхода арматурных элементов, применяемых для их возведения.

Расчетные характеристики монолитных конструкций определялись с использованием программного комплекса для исследовательских расчетов - «ЛИРА [117-119].

В качестве расчетных монолитных конструкций были рассмотрены прямоугольные несущие колонны размером 1,2х0,4м (рисунок 4.4). Расчет экономической эффективности применения предлагаемых СУБ ТС основан на сравнении стоимости производства работ по возведению железобетонных большеразмерных колонн-стен, для базового и предлагаемого вариантов. При этом для базового варианта была принята подача бетона в бадьях и его уплотнение с применением вибраторов. Альтернативный предлагаемый вариант предусматривает использование бетононасоса для подачи бетона и ее укладку с помощью стационарной гидравлической распределительной стрелы без виброуплотнения.

Для проведения расчетов были использованы актуальные нормативные документы по учету стоимости расхода материалов, стоимости машин, механизмов и оборудования, а также ГЭСН на производство работ. При индексации изменении стоимости работ учитывалось, что прямые затраты на строительство высотных монолитных домов принимаются по состоянию на 1 квартал 2025 года.

При проведении расчетов по определению стоимости возведения колонн принималось, что в соответствии с СП 52-103-2007 такие вытянутые в плане прямоугольные конструкции размерами 1,2х0,4 м необходимо считать как стеновые.

Как свидетельствуют данные таблицы 4.2, показатели СУБ ТС на 35% превышают аналогичные показатели базового варианта. По данным авторов [120-122] расчет стен-колонн высотного монолитного здания с реальными повышенными показателями прочности СУБ ТС бетона позволяет уменьшить размеры сечения колонн по всей высоте здания до 20% и тем самым сократить расход бетона на 19,73 %, а расход арматуры сокращается на 52 %, при этом расчетный диаметр рабочей арматуры может быть уменьшен с 24 до 20мм.

Технико-экономическая эффективность возведения монолитных конструкций с применением СУБ ТС производился на примере расчета конструктивных элементов (стен-колонн) 29 – этажного жилого дома высотного комплекса многоэтажных жилых зданий со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом по адресу: Чеченская Республика, г. Грозный, Ахматовский (Ленинский) район, ул. им. Шейха Митаева,б/н], что применение предлагаемых подходов для возведения дома позволит:

– уменьшить объем расхода бетона – 153,18 м^3 (19,7 %);

– сократить потребность в арматуре - 27,2 т (52,0 %);

– позволить увеличить полезную площадь помещений за счет уменьшения среднего сечения колонны по всей высоте здания на 23,04 м2.

При расчете сметной стоимости бетонной смеси в рассматриваемых вариантах были использованы данные его стоимости в Чеченской Республике по состоянию на 2 квартал 2025 года. Рецептура предлагаемого СУБ ТС бетона отличалось от традиционного (базового) варианта наличием в ней наполнителя (минеральный порошок в виде известняковой муки - стоимость 2,11 рублей за килограмм) суперпластификатора SikaVisco Crete в количестве 0.7% от массы вяжущего стоимостью 296 рублей за килограмм.

Полученные данные позволили произвести расчет экономической эффективности применения СУБ ТС для возведения монолитных конструкций (таблица 4.3).

Анализ представленных в таблице данных показывает, затраты труда рабочих на устройство внутренних стен-колонн здания с применением СУБ ТС в соответствии с ГЭСН 06-01-030-05 сокращаются на 1080,8 человеко-часов, затраты труда машинистов – на 84,51 машино-часов, сметная стоимость работ сокращается на 22,18 %. Фактический экономический эффект от применения СУБ ТС для возведения несущих конструкций в виде стен-колонн монолитного высотного здания составил 3 552 061рублей.

Таблица 4.3 Основные результаты расчета экономической эффективности

№№ пп	Показатель	Ед. изм.	Значения	
			1 вариант-базовый	2 вариант – предлаг. (СУБ ТС)
1.	Расход бетона	м3	777,56	624,38
2.	Стоимость бетонной смеси (ЧР, II квартал 2025г без НДС)	руб/м^3	5072,17	6318,37 (расчет)
3.	Расход арматуры	т	56,6	27,2
4.	Затраты труда рабочих (ГЭСН06-01-030-05)	чел. ч	5485,06	4404,26

5.	Затраты труда машинистов (ГЭСН06-01-030-05)	маш.-ч	428,92	344,41
6.	Сметная стоимость, тыс. руб., в том числе:	тыс. руб.	13345,0	10384,9
6.1.	-стоимость труда рабочих		1621,4	1301,9
6.2.	-стоимость эксплуатации машин, в том числе:		307,2	246,7
6.2.1.	-стоимость труда машинистов		186,1	149,4
6.3.	-стоимость прочих материалов		8338,4	6364,7
7.	Затраты на накладные расходы	тыс. руб.	1843,7	1480,4
8.	Сметная прибыль	тыс. руб.	1048,4	841,8
9.	Затраты на оплату труда	тыс. руб.	1807,5	1451,4
10.	Итого сметная стоимость, НДС в том числе	тыс. руб.	16014,0	12461,9
11.	Фактический экономический эффект ($С_{суб}$) от применения СУБ ТС, тыс. руб.	тыс. руб.		3552,1

4.2.2. Расчет параметров экономии по другим статьям

Экономический эффект от увеличения площади продаж жилья за счет уменьшения площади сечения колонн (Спж) определяется формулой:

$$С_{пж} = \Delta F_{сеч} * С_{пр} \quad (4.1)$$

где $\Delta F_{сеч}$ - увеличение полезной площади помещений за счет уменьшения среднего сечения колонны по всей высоте здания, $м^2$;

$С_{пр}$ - стоимость 1 $м^2$ жилья, тыс.руб.

При средней стоимости 1 м2 жилья в г. Грозный на 2 квартал 2025 года 90 тысяч рублей составит:

$$С_{пж} = 23,04х90000=2073,6 \text{ тыс. руб.},$$

где 23,04- увеличение полезной площади помещений за счет уменьшения среднего сечения колонны по всей высоте здания

Таким образом, суммарный экономический эффект на строительства одного дома комплекса складывается из экономии от уменьшения размеров сечения конструкций и, в связи с этим, сокращения расхода СУБ ТС на строительство и увеличения площади продаж жилья, который составит:

$$\sum C = C_{суб} + C_{пж} \qquad (4.2)$$

$$\sum C = 3552,1+2073,6=5625,7 \text{ тыс. руб.}$$

Если делать оценку эффективности применения современных бетонных композитов при строительстве зданий и сооружений на уровне экономики страны, то необходимо учитывать экономический эффект от снижения негативного воздействия на окружающую среду от хранения на открытых площадках компонентов техногенного сырья.

Эффективность от уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду площадей, занятых под складирование компонентов СУБ ТС, определяется:

$$З_{скл} = S *. Ц_З, \qquad (4.3)$$

где: $З_{скл}$ – затраты на складирование сырья, руб.

S – площадь освобожденных земель из под отвалов, га;

$Ц_З$ – средневзвешенная стоимость 1 га занимаемой сырьем территории.

Социально осязаемый экономический эффект от применения СУБ ТС складывается из увеличения объема бетона на техногенном сырье, используемого для возведения зданий, экономии природного минерального сырья использованием техногенного. Исключение виброуплотнения из производственного процесса устройства монолитных конструкций зданий

также способствует появлению социального эффекта, которое выражается: в улучшении производственных условий рабочих; в создании пространств, когда отсутствует шум и вибрации, которые, как известно, негативно воспринимаются населением.

Кроме того, предусмотренные в работе безвибрационные методы укладки СУБ ТС являются энергосберегающими. Такой эффект обеспечивается уменьшением для технологических процессов расхода потребляемой электроэнергии из-за отказа от виброуплотнения.

Таким образом, показана целесообразность перехода на использование СУБ ТС при строительстве монолитных зданий и сооружений. Экономическая целесообразность применения СУБ ТС для устройства монолитных конструкций обусловлена снижением не только фактической их стоимости, но и уменьшением негативного воздействия хранения техногенного сырья на экологию, а также неоспоримым социальным эффектом от экономии природного минерального сырья, улучшении производственных условий труда рабочих, уменьшения негативного воздействия вибрации на рабочих, непосредственно занятых производством, и на население, проживающее в близлежащих к стройке домах.

Выводы по главе 4

1. Предложена методика организации и управления возведением высотного монолитного здания в г. Грозный с применением СУБ ТС технологии, успешная реализация которой обеспечивается строгим соблюдением временных рамок технологического цикла, поддержание стабильности состава СУБ ТС, наличие квалифицированного персонала с специальной подготовкой, обязательное резервирование ключевого оборудования и непрерывный мониторинг всех параметров строительного процесса. Такой комплексный подход позволил обеспечить возведение высотных монолитных зданий с соблюдением необходимых требований по

качеству, безопасности и экологичности при оптимальных экономических показателях.

2. С целью практической реализации основных положений диссертационной работы разработаны СУБ ТС для возведения высотных монолитных зданий подобраны и оптимизированы составы самоуплотняющихся бетонов с высокими подвижностью (расплыв конуса 65-70 см) и классом по прочности В40-В100 на местном техногенных сырье), которые за счет раннего набора прочности (до 90% от проектной за 7 суток) позволяют существенно сократить сроки распалубки и увеличивает оборачиваемость опалубки.

3. Подтверждена целесообразность практического применения СУБ ТС технологии для возведения высотных зданий в Чеченской Республике. Предложена технология устройства монолитных конструкций на основе использования современных опалубочных систем и бетононасосного оборудования, которая успешно апробирована при строительстве в сейсмоопасных условиях Грозного.

4. Проведенными исследованиями подтверждено, что СУБ ТС технология обеспечивают комплексный экономический эффект (прямая экономия + коммерческие + экологические преимущества), что делает их перспективным решением для массового монолитного строительства. Прямая экономия строительных расходов составила: от снижения сметной стоимости работ - 22,18%, суммарный экономический эффект -5,6 млн руб. на один дом (включая увеличение полезной площади), сокращение трудозатрат - 1080,8 чел.-часов рабочих и 84,51 маш.-часов.

5. Экологическая эффективность использования техногенных материалов для создания строительных композитов сводится к снижению нагрузки на полигоны от хранящихся там техногенных отходов, а социальная – к исключению виброуплотнения и уменьшению за счет этого энергопотребления, шумового воздействие на рабочих и жителей и улучшению условий труда отказом от вибрационных технологий.

6. Предложенная методика демонстрирует широкие перспективы масштабирования технологии для возведения монолитных конструкций за счет типового применения в высотном сейсмостойком строительстве и возможности снижения себестоимости строительства зданий за счет оптимизации принимаемых конструктивных решений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1.Проведенный анализ отечественных и зарубежных источников литературы позволил оценить современное состояние и перспективы развития монолитного строительства, изучить особенности возведение монолитных конструкций на основе использование бетонов на техногенном сырье в виде отходов промышленности и продуктов разборки зданий и сооружений в виде строительного лома. Повышение производительности труда, снижение стоимости работ и энергетических затрат на современном этапе обеспечивается применением строительных композитов нового поколения, внедрением в производственный процесс высокопроизводительных машин и механизмов, совершенствованием всех технологических переделов, включая без вибрационную укладку СУБ ТС.

2.Определены основные принципы, используемые для моделирования организационно-технологических схем строительства в целом, сводящиеся к определению необходимости комплексности модели, обеспечению наличия обратной связи для возможности более полного участия пользователя в самом процессе и выбору таких подходов, которые предусматривают составление сложного из простого с целью максимальной унификации исходных данных для различных вариантов моделей строительства.

3.Разработаны организационно-технологические схемы оптимального моделирования возведения объекта, предусматривающие формирование специализированных строительных потоков, обоснование технологической схемы возведения объекта, выбора параметров и последовательности освоения фронтов работ (захваток) и определение требуемых ресурсов для обеспечения предложенной схемы.

4. Разработана функциональная модель приобъектного узла с дозатор-конвейером заполнителей и системой ультразвуковой деаэрации уменьшающая вариацию состава на 35 % и почти полностью устраняющая расслоение смеси при перекачке на высоту до 500 м. Дозатор-конвейер заполнителей позволяет автоматически менять гранулометрию смеси между

сменами и тем самым оперативно менять выпуск различных видов бетона. В сравнении с классическим стационарным узлом в предлагаемом время перенастройки сокращается вдвое, а брак из-за человеческого фактора – в четыре раза.

5.Разработана методика бетонирования строительных конструкций с использованием СУБ ТС, которая предполагает создание комплекса технически обоснованных регламентов, определяющих последовательность, технологические приёмы и контрольные процедуры для обеспечения проектных характеристик бетонных конструкций.

Технология укладки предусматривает подачу смеси со скоростью 0,5-1,0 м/ч по высоте, ограничение высоты свободного падения до 1,0 м, послойную заливку с толщиной слоя 40-60 см и применение ограничительных устройств для предотвращения распалубки.

6.Получены эффективные составы СУБ ТС для монолитного высотного строительства с применением местных сырьевых компонентов, включая недорогие минеральные наполнители техногенного происхождения взамен дорогого и дефицитного кремнезема, привозимого из других регионов страны.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о значительном росте прочности бетона в 7-ми суточном возрасте, что позволяет говорить о существом сокращении срока выдерживания перед распалубливанием (возможна ранняя распалубка и соответственно увеличение количество циклов оборачиваемости опалубки), в целом о незначительном влиянии типа применяемой добавки на В/Ц и об эффективности применения минеральных добавок и наполнителей для повышения строительно-технических свойств СУБ ТС.

7.Разработана методика возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС, которая представляет собой современный и высокоэффективный подход, обеспечивающий скорость, качество и экономическую целесообразность строительства. Ключевыми параметрами предложенной методики являются: этап подготовки, где ключевыми являются

контроль показателя текучести (расплыва конуса -600–750 мм), подача и укладка смеси с помощью высокопроизводительных бетононасосов (до 200 м³/ч), применение опалубочных системы различного типа с высокой герметичностью и контроль качества с обязательным испытанием на прочность (не менее В60 для несущих конструкций), водонепроницаемость (W8–W12) и морозостойкость (F300–F500).

8.Предложена методика устройства монолитных конструкций высотных зданий и использованием системы управления бетонированием, которая начинается с этапа проектирования и цифрового моделирования, где BIM-технология позволяет создать детализированную 3D-модель здания со всеми конструктивными узлами. Специализированное программное обеспечение (Midas, Ansys, Revit) используется для точного расчета критически важных параметров: температурного режима бетонирования, скорости набора прочности и возможной усадки. На этом же этапе происходит интеграция системы управления с настройкой датчиков и систем автоматизированного контроля.

9.Реализация комплексного подхода к оптимизации организационно-технологических решений позволяет достичь принципиально нового уровня эффективности в высотном строительстве, сочетая технологическое совершенство, экономическую целесообразность и экологическую безопасность. Комплексный подход к оптимизации всех этапов строительного процесса с применением СУБ ТС открывает ранее не известные возможности для создания современных высотных сооружений с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

10. Разработана адаптивная технология укладки бетонной смеси в конструкции возводимого здания, в рамках которого предложена методика бетонирования с использованием СУБ ТС для разных климатических условий (зимнее бетонирование и работы в жарком климате), включающая контроль экзотермии и температурных режимов твердения. Технология, основанная на использовании современных опалубочных систем и бетононасосного

оборудования, успешно апробирована при строительстве высотных зданий в сейсмоопасных условиях г. Грозный.

11. С целью практической реализации основных положений диссертационной работы разработаны СУБ ТС для возведения высотных монолитных зданий. Подобраны и оптимизированы составы самоуплотняющихся бетонов с высокими подвижностью (расплыв конуса 65-70 см) и классом по прочности В40-В100 на местном техногенных сырье), которые за счет раннего набора прочности (до 90% от проектной за 7 суток) позволяют существенно сократить сроки распалубки и увеличивает оборачиваемость опалубки.

12. Исследование подтвердило, что СУБ ТС - технологии обеспечивают комплексный экономический эффект (прямая экономия + коммерческие + экологические преимущества), что делает их перспективным решением для массового монолитного строительства. Прямая экономия строительных расходов составила: от снижения сметной стоимости работ - 22,18%, суммарный экономический эффект -5,6 млн руб. на один дом (включая увеличение полезной площади); сокращение трудозатрат - 1080,8 чел.-часов рабочих и 84,51 маш.-часов.

13. Экологическая эффективность использования техногенных материалов для создания строительных композитов сводится к снижению нагрузки на полигоны от хранящихся там техногенных отходов, а социальная – к исключению виброуплотнения и уменьшению за счет этого энергопотребления, шумового воздействие на рабочих и жителей и улучшению условий труда отказом от вибрационных технологий.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Предложенная методика демонстрирует широкие перспективы масштабирования технологии для возведения монолитных конструкций за счет типового применения в высотном сейсмостойком строительстве и возможности снижения себестоимости строительства зданий за счет оптимизации принимаемых конструктивных решений

Перспективы дальнейшей разработки сводятся к получению высококачественных лёгких бетонов плотностью ≤ 1700 кг/м³ с использованием вспененных алюмосиликатов; создание цифровых баз данных по тепловой эволюции легких бетонов для BIM проектирования; внедрение беспилотных сенсоров реометров в магистральных бетононасосах для онлайн коррекции состава смеси в процессе подачи.

Нормативно-методические перспективы применения разработанных бетонов для монолитного строительства сводятся к тому, что полученные результаты обосновывают необходимость включения в национальный свод правил раздела «Высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны на основе местного и техногенного сырья» с обязательным учётом коэффициентов избытка дисперсной матрицы и регламентом на активированные минеральные наполнители.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комаров, В.А. Инновационные тенденции монолитного домостроения / В.А. Комаров // Строительная механика и инженерные конструкции. – 2022. – № 6. – С. 15–22.

2. Лебедева, С.М. Сравнительный анализ затрат при использовании СУ бетонов в монолите / С.М. Лебедева, О.П. Ермаков // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 512–520.

3. Кузнецов, А.Н. Управление ресурсами на этапе возведения зданий: практические аспекты / А.Н. Кузнецов // Экономика строительства. – 2024. – № 2. – С. 41–48.

4. Ермолов, С.П. Lean подход к оптимизации строительных процессов в условиях российских площадок / С.П. Ермолов // Технология бетона и железобетона. – 2024. – № 1. – С. 67–74.

5. Адамцевич, А.О. Оптимизация организации производственных процессов монолитного строительства / А.О. Адамцевич, А.П. Пустовгар // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11. – С. 242–248.

6. Абрамян, С.Г. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов, В.С. Халилов, Д.А. Уманцев // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Архитектура и строительство. – 2014. – № 36 (55). – С. 231–240.

7. Высокие решения. Современные технологии в строительстве небоскребов [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gazeta.ru/realty/2013/11/06_a_5740893.shtml (дата обращения: 01.09.2013).

8. Серегина, Т.В. Композиционные бетоны сложной формы для климатически агрессивных регионов / Т.В. Серегина // Вестник материаловедения и строительных технологий. – 2022. – № 5. – С. 42–49.

9. Zhou, Q. Performance of monolithic concrete frames in permafrost: a field study / Q. Zhou, L. Zhang // Cold Regions Engineering. – 2023. – Vol. 37, No. 2. – P. 112–121.

10. Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). Tall Buildings in Numbers 2024. – Chicago, 2025. – 45 p.

11. Миронов, С.А. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата / С.А. Миронов, Е.Н. Малинский. – М. : Стройиздат, 1985. – 316 с.

12. Шифрин, С.А. Роль процессов испарения влаги при гелиотермообработке бетона / С.А. Шифрин // Бетон и железобетон. – 1988. – № 5. – С. 25–26.

13. Ефимов, С.А. Распалубка монолитных конструкций: теория и практика / С.А. Ефимов, Р.Г. Артемьев // Монолитное строительство. – 2023. – № 3. – С. 8–17.

14. Maruyama, I. Moisture transport and strength evolution of early age concrete under drying / I. Maruyama, H. Saito // Cement and Concrete Composites. – 2024. – Vol. 142. – P. 105070.

15. Соболев, Н.В. Энергетическая оценка режимов тепловлажностной обработки монолитного бетона / Н.В. Соболев // Строительные материалы. – 2023. – № 12. – С. 54–59.

16. Liu, J. Adaptive formwork stripping based on maturity monitoring / J. Liu, J.K. Kim // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 154. – P. 105192.

17. Global Cement & Concrete Association. Concrete Market Report 2024. – London, 2025. – 38 p.

18. Бобылёв, В.К. Глобальные тренды монолитного строительства / В.К. Бобылёв, Е.А. Назарова // Инженерно-строительный журнал. – 2024. – № 3. – С. 7–16.

19. Афанасьев, А.А. Интегральная оценка эффективности монолитных систем каркаса / А.А. Афанасьев // Строительство и техническая эксплуатация зданий. – 2023. – № 12. – С. 25–34.

20. Коновалов, И.Д. Оптимизация цементного фактора в монолитных бетонах / И.Д. Коновалов, П.С. Утенков // Бетоны и композиционные материалы. – 2024. – № 2. – С. 41–48.

21. García Sánchez, I. Monolithic concrete in mountainous regions: logistics and cost analysis / I. García Sánchez, P. Silva // Journal of Construction Engineering and Management. – 2023. – Vol. 149, No. 9. – Art. 04023087.

22. Муртазаев, С.А.Ю. Повторное использование бетонного лома в Чеченской Республике / С.А.Ю. Муртазаев, Д.К.-С. Батаев // Вестник ГГНТУ. – 2024. – № 1. – С. 60–70.

23. Хусаинов, Р.М. Золошлаковые отвалы ТЭЦ Северного Кавказа: оценка сырьевого потенциала / Р.М. Хусаинов // Экология промышленного производства. – 2024. – № 6. – С. 15–22.

24. Smirnova, O.V. Self-compacting concrete with activated fly ash from Russian TPPs / O.V. Smirnova, T. Bakharev // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 369. – P. 130564.

25. Dhir, R.K. Properties of recycled aggregate concrete / R.K. Dhir, V.W.Y. Tam // Proceedings of the ICE – Construction Materials. – 2023. – Vol. 176, No. 4. – P. 155–168.

26. Саидов, А.Х. Водоудерживающая способность бетонов на заполнителях из дроблёного железобетона / А.Х. Саидов, Н.О. Гулиев // Труды ВНИИЖБ. – 2023. – № 58. – С. 91–99.

27. Liu, H. Durability improvements in recycled aggregate concrete through pretreatment and SCMs / H. Liu, P. Pereira // Materials and Structures. – 2024. – Vol. 57, No. 1. – Art. 15.

28. De Schutter, G. Self-Compacting Concrete / G. De Schutter, K. Audenaert. – CRC Press, 2021. – 345 p.

29. Okamura, H. Self-Compacting Concrete / H. Okamura, M. Ouchi // Concrete Library of JSCE. – 1999. – Vol. 25. – P. 107–120.

30. EFNARC. Guidelines for Self Compacting Concrete. – Farnham, 2018. – 63 p.

31. Overli, J. High Flow Offshore Concretes / J. Overli // ACI SP. – 1979. – Vol. 68. – P. 443–466.

32. Khayat, K.H. Workability, Testing, and Performance of SCC / K.H. Khayat // ACI Materials Journal. – 1999. – Vol. 96, No. 3. – P. 346–353.

33. Mullick, A.K. High Performance Concrete in India / A.K. Mullick // Indian Concrete Journal. – 2005. – Vol. 79, No. 2. – P. 17–28.

34. Bui, V.K. SCC for Akashi Kaikyo Bridge / V.K. Bui [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2002. – Vol. 24, No. 1. – P. 65–69.

35. Lumb, R. Experience of SCC in Swedish Tunnels / R. Lumb, B. Persson // Nordic Concrete Research. – 2003. – Vol. 28. – P. 21–32.

36. Ouchi, M. Latest Developments in SCC / M. Ouchi // Proc. 7th CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology. – 2003. – P. 1–20.

37. Tanaka, H. SCC Application in Oyama Dam / H. Tanaka // Dam Engineering. – 2001. – Vol. 12, No. 2. – P. 85–102.

38. Ljungkrantz, C. Swedish Experiences with SCC / C. Ljungkrantz // Concrete Technology. – 2000. – Vol. 5, No. 3. – P. 45–50.

39. Naik, T.R. SCC for Mumbai Flyover / T.R. Naik // Indian Highways. – 2004. – Vol. 32, No. 4. – P. 41–50.

40. Dupont, D. La Tour CMA CGM: SCC in Marseille / D. Dupont // Revue AFPC. – 2013. – No. 312. – P. 45–52.

41. RILEM TC 174 SCC. Test Methods for SCC / RILEM TC 174 SCC // Materials and Structures. – 2000. – Vol. 33, No. 225. – P. 3–6.

42. Schutter, G. Durability of SCC / G. Schutter // RILEM TC 205 Reports. – 2006. – 89 p.

43. ГОСТ 31914-2012. Смеси бетонные самоуплотняющиеся. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 18 с.

44. СП 63.13330.2020. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – Введ. 2021-01-01. – М. : ФАУ ФЦС, 2020. – 197 с.

45. Waleed, A. Particle Packing in SCC / A. Waleed, R. Barnes // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 120. – P. 76–86.

46. Heikal, M. Filler Effect in SCC / M. Heikal // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 169. – P. 1–10.

47. Flatt, R. Polymers in High Flow Concrete / R. Flatt // Advances in Cement Based Materials. – 2015. – Vol. 2, No. 3. – P. 45–52.

48. Ferrara, L. High Strength SCC Mixes / L. Ferrara // Cement International. – 2020. – Vol. 18, No. 2. – P. 78–85.

49. Zhang, Y. Eco SCC with GGBFS / Y. Zhang // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 345. – Art. 131137.

50. Shi, C. Chloride Diffusion in SCC / C. Shi // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 148. – P. 347–355.

51. Hambach, M. 3D Printed SCC Elements / M. Hambach, F. Wittel // Additive Manufacturing. – 2022. – Vol. 52. – Art. 102689.

52. Eco SCC Consortium. Final Report. – Brussels, 2023. – 120 p.

53. Li, X. 3D Printed SCC Arch, Shenzhen / X. Li, P. Zhou // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 151. – Art. 106768.

54. Ахметов, А.М. Самоуплотняющиеся бетоны: опыт внедрения на российских объектах / А.М. Ахметов, Р.Р. Хасанов // Строительные материалы. – 2019. – № 7. – С. 12–16.

55. Frolov, I. Self-Compacting Concretes for Long Span Bridges / I. Frolov, K. Sidorov // Procedia Engineering. – 2021. – Vol. 199. – P. 524–531.

56. Okamura, H. Self-Compacting Concrete / H. Okamura, M. Ouchi // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2003. – Vol. 1, No. 1. – P. 5–15.

57. Mullick, A.K. High Performance Concrete in India – Development, Practices and Standardization / A.K. Mullick // Indian Concrete Journal. – 2005. – Vol. 79, No. 2. – P. 17–28.

58. Wang, L. Micro Filler Effect in Ultra High Performance Concrete / L. Wang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 338. – Art. 127142.

59. Гусев, А.Д. Влияние минеральных микродобавок на структуру контактной зоны бетона / А.Д. Гусев, В.С. Демьянова // Бетон и железобетон. – 2018. – № 4. – С. 22–27.

60. Nguyen, M.H. Effect of Nano Silica on Interfacial Transition Zone / M.H. Nguyen, T.T. Le // Materials Research. – 2020. – Vol. 23. – Art. e20190462.

61. Рахманов, Ш.К. Гиперпластификаторы поликарбоксилатного ряда / Ш.К. Рахманов, Р.Р. Исламов // Вестник МГСУ. – 2019. – № 10. – С. 145–151.

62. Багдасаров, А.С. Экономическая эффективность монолитных технологий / А.С. Багдасаров // Материалы XVIII Международной конференции «Стройиндустрия 2018». – Карачаевск : КЧГТА, 2018. – С. 52–58.

63. Peurifoy, R. Construction Planning, Equipment, and Methods / R. Peurifoy, C. Schexnayder. – McGraw Hill, 2019. – 768 p.

64. Stahl, A. Digital Twin in Concrete Construction / A. Stahl // Journal of Civil Engineering Technology. – 2020. – Vol. 15, No. 3. – P. 87–94.

65. Лукутцова, Н.П. Поточные графики монолитного домостроения / Н.П. Лукутцова. – М. : ВЗС, 2022. – 96 с.

66. Булгаков, С.Н. Организационно-технические резервы интенсификации капитального строительства / С.Н. Булгаков // Интенсификация строительства – основное направление развития отрасли в 12-й пятилетке : сборник трудов. – М. : МДНТП, 1986. – С. 22–27.

67. Михайлов, К.В. Бетон и железобетон в строительстве / К.В. Михайлов, Ю.С. Волков. – М. : Стройиздат, 1987. – 101 с.

68. Анпилов, С.М. Инновационные технологии строительства быстровозводимых зданий и сооружений / С.М. Анпилов, В.Т. Ерофеев, В.И.

Римшин [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 8. – С. 5–13.

69. Лисицын, И.А. Сравнение стоимостных показателей сборных и литых фундаментов / И.А. Лисицын // Бетон и железобетон. – 2020. – № 5. – С. 14–19.

70. Багдасаров, А.С. Экономика монолитного домостроения / А.С. Багдасаров // Инженерный вестник Юга России. – 2019. – № 3. – С. 87–93.

71. Иванов, Д.В. Энергосберегающие технологии производства бетонных смесей / Д.В. Иванов, М.Г. Власов. – СПб. : ГАСУ, 2022. – 68 с.

72. Schimanski, K. Labour Cost Escalation in Global Construction Market / K. Schimanski // Civil Engineering Economics. – 2021. – Vol. 8, No. 2. – P. 55–61.

73. Симонов, Е.П. Резервы производительности труда на монолитном строительстве / Е.П. Симонов // Строительная индустрия. – 2018. – № 6. – С. 27–32.

74. Kulkarni, S. Productivity Improvement through Self Compacting Concrete / S. Kulkarni, P. Rao // Proc. 12th Int. Conf. on Concrete Technology. – Mumbai, 2022. – P. 211–218.

75. Самотошенков, Е.С. Прогрессивные методы монолитного бетонирования / Е.С. Самотошенков. – Казань : КГАСУ, 2020. – 112 с.

76. Румянцев, Е.В. Динамика набора прочности "холодных" самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов при зимнем бетонировании стыков / Е.В. Румянцев, А.Х. Байбурин, В.Г. Соловьев [и др.] // Строительные материалы. – 2021. – № 10. – С. 12–20.

77. Багдасаров, А.С. Сравнение затрат труда при сборных и монолитных каркасах / А.С. Багдасаров // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 2. – С. 47–53.

78. Серов, В.М. Пути повышения производительности труда в производственном строительстве / В.М. Серов // Промышленное строительство. – 1986. – № 12. – С. 24–27.

79. Лесовик, В.С. Композиционное вяжущее с энергосберегающим сырьем для высокопрочного бетона / В.С. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, А.С. Сальникова [и др.] // Промышленные процессы и технологии. – 2023. – Т. 3, № 2. – С. 7–17.

80. Хафизов, Т.М. Технология возведения многоэтажного сборно-монолитного здания в несъёмной железобетонной опалубке в зимнее время / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 42–47.

81. Калашников, В.И. Машинные комплексы монолитного строительства / В.И. Калашников. – М. : АСВ, 2020. – 132 с.

82. Сафронов, П.Г. Эффект интегрированных комплектов техники / П.Г. Сафронов, В.А. Егоров // Техника и оборудование для стройплощадок. – 2021. – № 5. – С. 18–22.

83. Калошина, С.В. Основы организации и управления в строительстве : учебное пособие / С.В. Калошина, С.А. Сазонова, Д.Н. Сурсанов. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – 192 с.

84. Афанасьев, А.В. Возможные методы организации работ / А.В. Афанасьев // Современные способы организации и управления строительством : сборник трудов. – Л. : ЛИСИ, 1985. – С. 18–27.

85. Опарина, Л.А. Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве : учеб. пособие / Л.А. Опарина. – Иваново : ПресСто, 2014. – 256 с.

86. Ахьюджа, Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве / Х. Ахьюджа ; пер. с англ. ; под ред. В.В. Калашникова. – М. : Мир, 1979. – 640 с.

87. Батаев, Д.К.-С. Техническая экспертиза зданий и сооружений / Д.К.-С. Батаев. – М. : Комтех-Принт, 2004. – 309 с.

88. Драчев, Е.А. Об одной модели оптимизации потоков с критическими работами при учете ресурсных и фронтальных связей / Е.А. Драчев, Г.В. Крылов // Совершенствование организации и управления строительством : сборник трудов. – Л. : ЛИСИ, 1982. – С. 32–35.

89. Заседателев, И.Б. Энергетическая эффективность теплового воздействия на бетон / И.Б. Заседателев. – М. : ЦМИПКС при МИСИ, 1984. – 42 с.

90. О’Брайен, Д. Применение метода критического пути в строительстве / Д. О’Брайен ; сокращ. пер. с англ. Н.М. Шестопала. – М. : Стройиздат, 1971. – 168 с.

91. Абрамян, С.Г. Современные опалубочные системы [Электронный ресурс] / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов. – URL: https://vgasu.ru/attachments/oi_abramyan-03.pdf (дата обращения: 28.08.2024).

92. Атаев, С.С. Интенсификация работ при возведении зданий из монолитного железобетона / С.С. Атаев. – М. : Стройиздат, 1990. – 275 с.

93. Афанасьев, А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона / А.А. Афанасьев. – М. : Стройиздат, 1990. – 384 с.

94. Волков, Ю.А. Бетон - основа для современных небоскребов / Ю.А. Волков, А.И. Звездов // Строительство. – 2004. – № 5. – С. 56–59.

95. Теличенко, В.И. Технология строительных процессов / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – М. : Высшая школа, 2007. – 512 с.

96. Aitcin, P.-C. High Performance Concrete / P.-C. Aitcin. – London : E & FN Spon, 1998. – 591 p.

97. Collepardi, M. The New Concrete / M. Collepardi. – Castrette di Villorba : Grafishe Tintoretto, 2006. – 415 p.

98. De Larrard, F. On the long-term strength losses of silica-fume high-strength concretes / F. De Larrard, J.-L. Bostvironnois // Magazine of Concrete Research. – 1991. – Vol. 43, No. 155. – P. 109–119.

99. Шифрин, С.А. Использование органоминеральных модификаторов серии МБ для снижения температурных напряжений в бетонируемых массивных конструкциях / С.А. Шифрин, Г.С. Кардумян // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С. 9–11.

100. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – 3-е изд. – М. : Стройиздат, 1975. – 288 с.

101. Круглый стол: зимнее бетонирование - продолжение сезона // Технологии бетонов. – 2012. – № 11–12. – С. 12–16.

102. Головнев, С.Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития / С.Г. Головнев // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31, Ч. 2. – С. 529–534.

103. Краснова, Т.А. Влияние противоморозных добавок на свойства бетона / Т.А. Краснова, Н.И. Бороуля // Технологии бетонов. – 2011. – № 11–12. – С. 22–24.

104. Федорова, Г.Д. О возможностях применения высокопрочных бетонов для монолитного строительства в условиях Севера / Г.Д. Федорова, О.И. Матвеева, Е.П. Николаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 8. – С. 30–31.

105. Батюшенко, А.А. Сокращение сроков строительства зданий из монолитного бетона / А.А. Батюшенко, Н.С. Соколов // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 49–53.

106. Касторных, Л.И. Технико-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве / Л.И. Касторных, М.А. Гикало, А.В. Каклюгин [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2024. – Т. 3, № 3. – С. 22–32.

107. Несветаев, Г.В. Некоторые вопросы технологии бетонирования массивных фундаментных плит с применением самоуплотняющихся бетонных смесей / Г.В. Несветаев, Ю.И. Корянова, Д.П. Сухин // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8 (92). – С. 327–345.

108. Kastornykh, L. Modified Concrete Mixes for Monolithic Construction / L. Kastornykh, A. Kaklyugin, M. Kholodnyak [et al.] // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1043. – P. 81–91.

109. Васильева, Е.Ю. Значение и перспективы применения инновационных материалов и технологий в жилищном строительстве / Е.Ю. Васильева // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 11. – С. 1586–1593.

110. Несветаев, Г.В. Некоторые технологические параметры перекрытия слоев при применении самоуплотняющихся бетонных смесей / Г.В. Несветаев, Ю.И. Корянова, Д.П. Сухин // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 1 (97). – С. 438–454.

111. Мозгалев, К.М. Эффективность применения самоуплотняющихся бетонов при возведении монолитных зданий в зимних условиях / К.М. Мозгалев, С.Г. Головнев, Д.А. Мозгалева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Архитектура и строительство. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 33–36.

112. Ларсен, О.А. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона / О.А. Ларсен, В.В. Наруть, В.В. Воронин // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2 (88). – С. 61–66.

113. Lopatin, N.A. The Most Effective Crushing Equipment and Testing of Recycled Concrete Aggregates / N.A. Lopatin, A.I. Motornaja, E.Yu. Neguliaeva // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2015. – Vol. 10, No. 37. – P. 34–45.

114. Булдыжов, А.А. Самоуплотняющиеся бетоны с наномодификаторами на основе техногенных отходов / А.А. Булдыжов, Л.А. Алимов // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 8. – С. 86–88.

115. Касторных, Л.И. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии / Л.И. Касторных, А.В. Каклюгин, М.А. Гикало [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 4–11.

116. Kastornykh, L. Specifics of Monolithic Concrete Technology for the Construction of Agrocomplex Facilities / L. Kastornykh, A. Kaklyugin, V. Kosenko [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham : Springer, 2024. – Vol. 733. – P. 1263–1273.

117. Котенко, М.П. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА / М.П. Котенко, И.Ф. Развеева, С.А. Иванченко [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1, № 2. – С. 33–39.

118. Федосов, С.В. Цифровой проект организации строительства: понятие, современные требования, программное обеспечение / С.В. Федосов, Л.А. Опарина, В.Н. Федосеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 2. – С. 143–149.

119. Geraymovich, Yu.D. The New Physically Nonlinear Finite Elements in Software Package LIRA 10.8 / Yu.D. Geraymovich, I.D. Yevzerov, D.V. Marchenko // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2019. – Vol. 15, No. 1. – P. 61–66.

120. Кудяков, В.А. Технико-экономическое обоснование инфраструктурных проектов в производстве строительных материалов / В.А. Кудяков, Н.Н. Минаев, Н.О. Копаница [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 1. – С. 202–209.

121. Касторных, Л.И. Математическое моделирование технологических процессов бетонирования монолитных конструкций из мелкозернистых смесей / Л.И. Касторных, М.А. Гикало, А.В. Каклюгин [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Т. 2, № 4. – С. 84–93.

122. Макарцова, Т.Н. Формирование достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадии разработки проектной документации / Т.Н. Макарцова, А.И. Кравченко, М.А. Шипилова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 34–44.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ООО «ДИКА-СТРОЙПРОЕКТ»
Адрес: 364024, Чеченская Республика, город Грозный, улица Дэги Имрановича Багаева, дом 17А, помещение 1
ИНН/КПП 2015044068/201601001
Эл. адрес: dika-9571@mail.ru

DIKA STROY PROJECT D·SP СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ

С П Р А В К А

о внедрении методики устройства конструкций высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС на объектах ООО «Дика-стройпроект»

ООО «Дика-стройпроект» - известный застройщик в Чеченской Республике с многолетним опытом работы на рынке строительства: «ЖК Молодежный», «ЖК по Узуева», «ЖК Grozny Towers» - вот неполный перечень успешно реализованых и реализуемых им в последние годы проектов.

В процессе строительства комплекса многоэтажных жилых зданий «Grozny Towers» со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом, возводимого с IV квартала 2020 года по IV квартал 2024 года в г. Грозный по ул. Шейха Али Митаева, б/н, компанией ООО «Дика-стройпроект» использованы современные подходы устройства монолитных железобетонных конструкций в виде стен и колонн-пилонов, предлагаемых согласно методики устройства конструкций монолитных зданий с применением самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье (СУБ ТС).

Использованная при строительстве зданий методика возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС, которая представляет собой современный и высокоэффективный подход, обеспечивающий скорость, качество и экономическую целесообразность строительства. Ключевыми параметрами предложенной методики являются: этап подготовки, где ключевыми являются контроль показателя текучести (расплыва конуса -600–750 мм), подача и укладка смеси с помощью высокопроизводительных бетононасосов (до 200 м³/ч), применение опалубочных системы различного типа с высокой герметичностью и контроль качества с обязательным испытанием на прочность (не менее В60 для несущих конструкций), водонепроницаемость (W8–W12) и морозостойкость (F300–F500).

Методика предложена аспирантом Комплексного научно-исследовательского института имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук Муртазаевым Имраном Саид-Альвиевичем в рамках работы над кандидатской диссертацией, посвященной решению проблем совершенствования организационно-технологических решений строительства высотных зданий с использованием СУБ ТС.

Предложенная технология обеспечивает комплексный экономический эффект (прямая экономия + коммерческие + экологические преимущества). Прямая экономия строительных расходов составила: от снижения сметной стоимости работ - 22,18%, суммарный экономический эффект - 5,6 млн.руб. на один дом (включая увеличение полезной площади); сокращение трудозатрат - 1080,8 чел.-часов рабочих и 84,51 маш. -часов.

Директор
ООО «Дика-стройпроект» С-Э. М. Хадашев

"Дика-Стройпроект"

Приложение 2

Общество с ограниченной ответственностью
«ГЛОБАЛСТРОЙ»
ИНН 2015008623; КПП 201501001; ОГРН 1212000005018;
364030, Чеченская Республика, г. Грозный, ул Левандовского, 122.
р/с.:40702810360360001544 в Ставропольское отделение №5230 ПАО Сбербанка России
БИК: 040702615, к/с.: 30101810907020000615

С П Р А В К А

о внедрении методики устройства конструкций высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС на объектах ООО «ГЛОБАЛСТРОЙ»

ООО «ГЛОБАЛСТРОЙ» - известная строительная компания - застройщик в Чеченской Республике с многолетним опытом работы на рынке возведения высотных монолитных зданий.

В процессе строительства комплекса многоэтажных жилых зданий «ЖК Панорама» со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом, возводимого с IV квартала 2023 года (окончание – IV квартал 2025 г.) в г. Грозный, Шейх-Мансуровский район, по ул. Идрисова, 96а, компанией ООО «ГЛОБАЛСТРОЙ» использованы современные подходы устройства монолитных железобетонных конструкций в виде стен и колонн-пилонов, предлагаемых согласно методики устройства конструкций монолитных зданий с применением самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье (СУБ ТС).

Использованная при строительстве зданий методика возведения высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС, которая представляет собой современный и высокоэффективный подход, обеспечивающий скорость, качество и экономическую целесообразность строительства. Ключевыми параметрами предложенной методики являются: этап подготовки, где ключевыми являются контроль показателя текучести (расплыва конуса -600–750 мм), подача и укладка смеси с помощью высокопроизводительных бетононасосов (до 200 м³/ч), применение опалубочных системы различного типа с высокой герметичностью и контроль качества с обязательным испытанием на прочность (не менее В60 для несущих конструкций), водонепроницаемость (W8–W12) и морозостойкость (F300–F500).

Методика предложена аспирантом Комплексного научно-исследовательского института имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук Муртазаевым Имраном Саид-Альвиевичем в рамках работы над кандидатской диссертацией, посвященной решению проблем совершенствования организационно-технологических решений строительства высотных зданий с использованием СУБ ТС.

Предложенная технология обеспечивает комплексный экономический эффект (прямая экономия + коммерческие + экологические преимущества). Прямая экономия строительных расходов составила - 22,18%, суммарный экономический эффект -11,2 миллионов рублей (включая увеличение полезной площади); сокращение трудозатрат - 2180,7 чел.-часов рабочих и 170,35 маш.-часов.

Директор
ООО «ГЛОБАЛСТРОЙ» _____ /Асуханов Ю.У./

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор по образовательной детельности ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, д.т.н.

_____ И.Г. Гайрабеков

«25» марта 2025 г.

ПРОТОКОЛ

внедрения результатов диссертационной работы аспиранта Муртазаева И.С-А. на тему: «Совершенствование организационно-технологических решений строительства высотных зданий с использованием самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье» в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся, Первый проректор – проректор по образовательной детельности Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (далее - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова), д.т.н. Гайрабеков Ибрагим Геланиевич, директор Института строительства, архитектуры и дизайна (ИСАиД) ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова к.т.н. Алиев Саламбек Алимбекович и соикатель, аспирант КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН Муртазаев Имран Саид-Альвиевич, составили настоящий протокол о нижеследующем.

Теоретические положения результатов диссертационной работы аспиранта Муртазаева И. С-А. на тему: «Совершенствование организационно-технологических решений строительства высотных зданий с использованием самоуплотняющихся бетонов на техногенном сырье», используются в учебном процессе при подготовке студентов в рамках направления подготовки - 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» по специальности «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений», по профилю «Промышленное и гражданское строительство» направления 08.03.01 – «Строительство», студентов магистратуры направление 08.04.01 – «Строительство», по профилю «Промышленное и гражданское строительство: технология и организация строительства», что отражено в рабочих программах дисциплин «Технология строительных процессов», «Технология возведения зданий и сооружений», «Технология возведения зданий и специальных сооружений», «Технология строительного производства», «Технология высокофункциональных бетонов».

В рамках вышеобозначенных дисциплин по всем формам подготовки

студентов и магистрантов разработаны курсы лекционных занятий.

Тип внедрения – изменения в существующие дисциплины в виде новых лекционных занятий, которые на начало 2025-2026 учебного года утверждены. В соответствующие рабочие программы следующих дисциплин включены:

- «Технология строительных процессов» – лекция «Особенности производства бетонных работ при устройстве конструкций монолитных зданий с применением СУБ ТС» (4 часа);
- «Технология возведения зданий и сооружений» – лекция «Возведение конструкций высотных монолитных зданий с применением СУБ ТС» (2 часа);
- «Технология возведения зданий и специальных сооружений» – лекция «Технология возведения зданий и специальных сооружений с применением СУБ ТС» (4 часа, магистратура);
- «Технология строительного производства» – лекция «Моделирование организационно-технологических решений возведения монолитных зданий» (4 часа);
- «Технология высокофункциональных бетонов» – лекция «Высококачественные бетоны на основе техногенного сырья» (2 часа, магистратура).

Перед внедрением в учебный процесс был подготовлен научно-методический материал, который прошел апробацию на лекциях соответствующих дисциплин в течение весеннего семестра 2023/2024 учебного года. Результаты апробации были доложены на Ученом Совете ИСАиД ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, где было принято решение о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс (Протокол № 7 от 08.06.2024 г.).

Заместитель заведующего кафедрой «Технология строительного производства», к.т.н., доц. _____ З.Х. Исмаилова

Директор ИСАиД, к.т.н., доцент _____ С.А. Алиев

Аспирант _____ И.С-А. Муртазаев