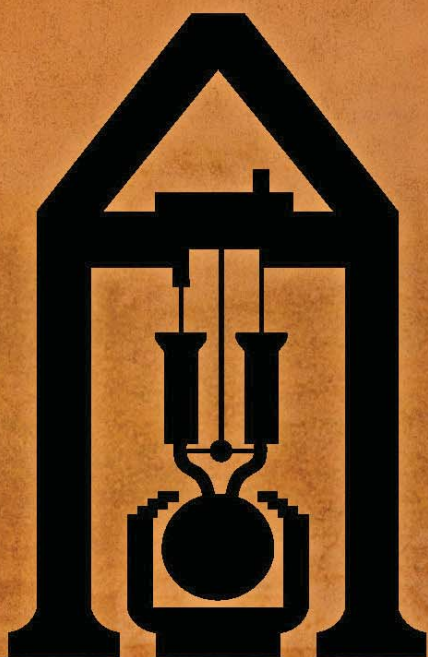




**ПОЛЗУНОВСКИЙ  
АЛЬМАНАХ**

**1  
2026**

ФГБОУ ВО  
«Алтайский государственный  
технический университет  
им. И. И. Ползунова»



**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**НА ОБЛОЖКЕ:**  
Сереброплавильный завод города Барнаула в середине XIX века



## ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ

№ 1 / 2026

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-84785  
выдано 17 февраля 2023 г. Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций РФ

*Главный редактор*

А.М. Марков

*Зам. главного редактора*

Е.С. Ананьева

*Редакционная коллегия:*

Н. С. Зайков

Б. М. Черепанов

И. Н. Сычева

А. С. Авдеев

С. В. Ананьин

А. С. Баранов

И. А. Поляков

*Редакционный совет выпуска:*

И.В. Карелина

В.В. Логвиненко

В.Н. Лютов

И.В. Носков

Г.И. Овчаренко

И. В. Харламов

*Под общей редакцией:*

к.т.н., доцента Б. М. Черепанова

*Адрес редакции и издательства:*

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,

тел: 8 (3852) 29-09-48

**В НОМЕРЕ:***О.В. Агафонов, Д.Д. Мещеряков*

АНАЛИЗ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ЗОЛО-  
ШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  
СВОБОДНОГО ОКСИДА КАЛЬЦИЯ ..... 6

*Б.Ф. Азаров, К.Д. Засыпкин*

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И МЕТОДИКИ  
ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГО-  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО  
КОМПЛЕКСА В БАРНАУЛЕ ..... 9

*М.Д. Алексеев, Т.Е. Лютова*

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ МОНТАЖЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯ-  
ЦИИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ ..... 12

*А.К. Андреев, И.А. Бахтина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ  
ВОДОПРОВОДНЫХ КОЛОДЦЕВ ..... 15

*О.С. Анненкова, Д.И. Кушнерева,**Е.А. Бисс*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
3D-ПЕЧАТИ НА СОВРЕМЕННЫЕ  
МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ ..... 19

*О.С. Анненкова, М.Н. Пономаренко*

МЕТОДИКА УКЛАДКИ БЕТОННОГО  
ПОЛОТНА «CONCRETE CANVAS» ..... 25

*Н.О. Арзамасов, И.А. Бахтина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ  
REVIT ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ..... 28

*А.В. Викторов, К.П. Черных*

ПОЛУЧЕНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО  
ГАЗОБЕТОНА СВЕТЛЫХ ТОНОВ НА  
ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ..... 32

*В.М. Гальчин, И.В. Носков*

ВИНТОВЫЕ СВАИ: СОВРЕМЕННОЕ  
СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ,  
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ И  
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ..... 36

|                                                                                                                                                                                                                     |    |                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ю.В. Гильмиярова, Д.Д. Шуба<br>АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ<br>ВОЗВЕДЕНИЯ СТЕН С УЧЕТОМ<br>ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ .....                                                                                                   | 40 | В.К. Козлова, А.В. Вольф<br>ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОС-<br>ТАВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ<br>ЦЕМЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ<br>ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕС-<br>КОГО ПРОИЗВОДСТВА .....                                        | 82  |
| Д.С. Драгалин, И.А. Бахтина<br>МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО<br>РАСЧЕТА СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕН-<br>ТОВ И ДОПОЛНЕНИЙ ДЛЯ REVIT .....                                                          | 46 | Е.С. Колесникова, Е.В. Вербицкая,<br>И.О. Вербицкий<br>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РЕКОНСТ-<br>РУКЦИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ<br>ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОГРАЖ-<br>ДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И<br>ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ .....            | 86  |
| Ю.В. Елисеева, Е.И. Вяткина<br>ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРЕНОВ<br>ФУНДАМЕНТОВ И МЕТОДЫ ИХ<br>УСТРАНЕНИЯ .....                                                                                                          | 50 | Е.С. Колесникова, Е.В. Вербицкая,<br>И.О. Вербицкий, Л.Н. Пантюшина<br>ПРОЗРАЧНАЯ ДРЕВЕСИНА<br>КАК ИННОВАЦИОННЫЙ КОНСТРУК-<br>ЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ: АНАЛИЗ<br>ОПТИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ<br>ХАРАКТЕРИСТИК ..... | 89  |
| Р.Р. Калимуллин, И.В. Носков<br>РОЛЬ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ<br>ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ<br>ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ 7D<br>(ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК) В УПРАВ-<br>ЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ<br>ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬ-<br>НОГО ПРОЕКТА ..... | 56 | М.А. Комисаров, И.В. Харламов<br>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬ-<br>ЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ СТОЕК В<br>КРУПНОФОРМАТНОМ ФАСАДНОМ<br>ОСТЕКЛЕНИИ .....                                                                | 92  |
| А.С. Каменецкий, Л.В. Куликова<br>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ<br>ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА<br>ПОЖАРНОЙ ЧАСТИ В ГОРОДЕ<br>БАРНАУЛЕ .....                                                                                   | 61 | В.А. Коробка, И.А. Бахтина<br>ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ<br>РАБОТЕ С АРМАТУРОЙ И<br>ОБОРУДОВАНИЕМ СИСТЕМ<br>ВОДОСНАБЖЕНИЯ В REVIT .....                                                                        | 98  |
| И.В. Карелина, А.В. Галле<br>АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В<br>СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ .....                                                                                                                           | 67 | Ю.А. Кузнецов, М.А. Гаврикова,<br>Е.Р. Кирколуп<br>ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ<br>ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ<br>МОДЕЛИ ЗДАНИЯ, АДАПТИРО-<br>ВАННОЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ .....                                            | 102 |
| Д.Е. Киржаев, И.В. Носков<br>АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ<br>ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА<br>ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В<br>УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ<br>ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ .....                                                                  | 71 | Р.Ю. Кулагин, И.В. Харламов<br>ИССЛЕДОВАНИЕ КАРКАСНЫХ<br>ФИНСКИХ ДОМОВ ДЛЯ<br>ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ<br>АЛТАЙСКОГО КРАЯ .....                                                                              | 105 |
| Е.М. Киселев, И.А. Бахтина<br>ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ И<br>ЗАПОЛНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК<br>ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ<br>СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ .....                                                                            | 74 | Е.К. Ладыка, Е.И. Вяткина<br>ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕ-<br>МЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕ-<br>НИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ<br>СТЕНОК ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ<br>В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ<br>ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ .....   | 110 |
| И.В. Ковтун, Е.Р. Кирколуп<br>ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К<br>ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ<br>ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ<br>ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ<br>ПЕРЕКРЫТИЙ В МОНОЛИТНОМ<br>ДОМОСТРОЕНИИ .....                          | 77 |                                                                                                                                                                                                           |     |

*В.В. Логвиненко, Н.Н. Сащенко*  
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВА-  
НИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И  
ТИПОВ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ  
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ..... 113

*С.Н. Маняк, И.А. Бахтина*  
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДЧИКОВ:  
ЭЖЕКЦИОННЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОН-  
НЫХ, В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ  
СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ СОВРЕ-  
МЕННЫХ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ ..... 118

*К.С. Маркелова, Я.Г. Мозговая*  
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ  
СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ  
ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ ..... 121

*Н.В. Медведев, Г.И. Овчаренко,  
И.С. Гончаров, А.Н. Юраков*  
ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА  
С-3 НА ПОРОВУЮ СТРУКТУРУ  
ДОРОЖНОГО БЕТОНА ..... 124

*Г.С. Меренцова, В.В. Адышев*  
ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖ-  
НОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОК-  
РЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 128

*Г.С. Меренцова, Д.С. Гребенщиков*  
ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА  
В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНОЙ  
ОДЕЖДЫ ПРИ РЕМОНТЕ И СОДЕР-  
ЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 132

*Г.С. Меренцова, К.Д. Иванова*  
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЧЕРНОГО ЩЕБНЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬ-  
СТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 137

*Г.С. Меренцова, П.А. Крамаренко*  
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ  
НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ..... 139

*Г.С. Меренцова, К.А. Латарцев,  
Н.В. Медведев*  
УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА  
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОПИТОЧНОГО  
СОСТАВА ПАБ «ДОРСАН» ..... 143

*Г.С. Меренцова, В.И. Пиряев,  
Н.В. Медведев*  
ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ  
ПРИМЕНЕНИИ ТРЕЩИНОПРЕРЫВА-  
ЮЩИХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСЕТКИ  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМО-  
БИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 147

*Г.С. Меренцова, Д.В. Славгородский*  
ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВАНИЯХ ДОРОЖНЫХ  
ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННОЙ  
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ  
ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ ..... 151

*Г.С. Меренцова, С.И. Смеляк*  
ЗАЩИТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ  
ПОКРЫТИЙ ОТ ИЗНОСА В  
ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 155

*Д.Д. Павлов, М.Н. Корницкая*  
МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
В СИСТЕМЕ Renga ..... 158

*К.С. Панюков, И.В. Носков*  
ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ АРМИРО-  
ВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК НА  
ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУН-  
ТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ РЕГИОНА ..... 163

*Н.И. Пеньков, И.В. Носков*  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ  
САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ РАСТВО-  
РОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ  
ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ ..... 166

*М.А. Плешакова, Г.М. Бусыгина*  
УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙ-  
НОСТИ В МОНОЛИТНОЙ ПЛИТЕ  
ПОКРЫТИЯ ..... 170

*М.А. Подъяпольская, Е.В. Вербицкая,  
И.О. Вербицкий*  
ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ  
СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ  
РЕКОНСТРУКЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ  
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И  
РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ..... 174



*М.А. Подъяпольская, Е.В. Вербицкая,  
И.О. Вербицкий, Л.Н. Пантюшина*  
ОПТИМИЗАЦИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕ-  
ВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ  
ПРОЛЕТОВ БОЛЕЕ 60 МЕТРОВ:  
АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ..... 178

*М.А. Подъяпольская, А.А. Кикоть*  
РАСЧЕТ СПОРТИВНОЙ АРЕНЫ НА  
ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ ..... 181

*Д.Д. Ращепкин, И.А. Бахтина*  
СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОДОСНАБ-  
ЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ ..... 189

*Д.Е. Родиков, И.В. Носков*  
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ МАНЖЕТНОЙ ТЕХНО-  
ЛОГИИ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ  
В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ..... 193

*Д.Е. Родиков, И.В. Носков*  
ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕ-  
МЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБОРУДО-  
ВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
УСТРОЙСТВА ШПУНТОВЫХ ОГРАЖ-  
ДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ  
ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ..... 196

*Т.И. Саблина, А.И. Познахарев,  
О.В. Буйко*  
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВ-  
НОСТИ ТЕПЛОТРАСС ПОСРЕДСТ-  
ВОМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕПЛОИЗО-  
ЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ..... 201

*Н.О. Саурин, Т.И. Саурина,  
И.В. Харламов*  
КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ  
НАРУЖНЫХ СТЕН ЭКСПЕРИМЕН-  
ТАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В  
ПОСЕЛКЕ ОТРАДНОЕ ..... 204

*Н.О. Саурин, И.В. Харламов*  
ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ  
ТЕПЛОЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ СТЕН  
ПЕРВЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ  
ПЯТИЭТАЖНЫХ ДОМОВ  
В БАРНАУЛЕ ..... 208

*Г.В. Свиридова, Н.В. Медведев,  
В.Л. Свиридов*  
МОНИТОРИНГ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОН-  
НЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ ..... 213

*П.А. Смехун, Т.Е. Лютова*  
АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕКОНСТРУК-  
ЦИИ И РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ .... 218

*М.Н. Сницаренко, Я.Г. Мозговая*  
ЗЕМЛЕБИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
КАК ПРИМЕР ПРИРОДОСБЕРЕ-  
ГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И УСТОЙ-  
ЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ..... 222

*А.А. Соболев, С.Н. Яковлева*  
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМА-  
ТИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ  
ПУНКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ  
АЛТАЙСКОГО КРАЯ ..... 228

*А.С. Соловьева, М.А. Осипова*  
РЕНОВАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
КАК РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ  
КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНАУЛА  
НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА  
«ПОТОК»..... 232

*М.А. Фишер, И.А. Бахтина*  
МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ В  
ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ..... 237

*Э.С. Хомутов, И.В. Носков*  
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАН-  
НОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ  
ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В  
УСЛОВИЯХ ГОРОДА БАРНАУЛА ..... 240

*И.А. Чалых, В.Н. Лютов*  
АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГЕЛЕВОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ КАК КОМПЛЕКСНОГО  
РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕК-  
ТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ..... 243

*Н.В. Чемакин, Ю.В. Халтурин*  
О РАЗВИТИИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВА-  
НИЕМ ПРОДУКЦИИ ЛЕСНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ..... 247

*Б.М. Черепанов, Е.С. Колесников*  
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕ-  
НЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СВАЙ  
ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ  
ПОД 25-ЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ  
В ГОРОДЕ НОВОСИБИРСКЕ ..... 251

*М.К. Чернецкая, Б.М. Черепанов*  
АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПО-  
ЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ФУНДАМЕН-  
ТОСТРОЕНИИ ..... 256

*А.А. Черный, Ю.В. Халтурин*  
О ПРОБЛЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
РАБОТ ПРИ УСИЛЕНИИ ЖЕЛЕЗО-  
БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПО-  
ЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ..... 261

*А.А. Шалаева, Ю.В. Халтурин*  
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИ-  
ТЕЛЬСТВА ДОМОВ ИЗ ДВОЙНОГО  
БРУСА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ ..... 266

**Учредитель журнала:**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Алтайский государственный технический  
университет имени И. И. Ползунова»



## АНАЛИЗ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО ОКСИДА КАЛЬЦИЯ

О. В. Агафонов, Д. Д. Мещеряков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются вопросы определения вяжущих свойств золошлаковых материалов для укрепления дорожных оснований вяжущими. В связи с этим было выполнено экспериментальное исследование содержания свободного оксида кальция. В статье описана методика работ по определению содержания свободного оксида кальция. По результатам выполненных исследований сделаны выводы как о количестве содержания свободного оксида кальция в зависимости от типа добавляемой золы-уноса, так и о влиянии помола золошлакового материала и других этапов испытания на точность получения ее вяжущих свойств.*

**Ключевые слова:** золошлаковые материалы, вяжущие свойства, свободный оксид кальция, цемент, бетон, отходы энергетики, строительные материалы, химический анализ.

Современная строительная индустрия сталкивается с необходимостью поиска новых, экономически выгодных и экологически безопасных материалов. В этом контексте отходы тепловых электростанций – золошлаковые материалы (ЗШМ) – представляют значительный интерес. Их ежегодное накопление в огромных объемах создает экологические проблемы, в то время как их химический состав, зачастую содержащий реакционно-способные компоненты, открывает перспективы для использования в качестве альтернативы традиционным вяжущим веществам, таким как портландцемент.

В последние годы существуют различные методы анализа вяжущих свойств золошлаковых материалов для укрепления дорожных оснований, такие как химические и физико-механические методы, а также испытания в лабораторных условиях.

В процессе производства работ на участках автомобильных дорог при укреплении грунта возникают различные проблемные вопросы в части определения вяжущих свойств материалов (рисунок 1). Очевидно, что точность определения характеристик вяжущего зависит от правильного выбора метода определения физико-механических свойств применяемого вяжущего [1].

Вяжущие свойства – это способность материала образовывать однородную, прочную и твердую массу при взаимодействии с водой или другими активаторами.

Для многих промышленных отходов, используемых в качестве вяжущих, ключевым показателем реакционной способности является содержание активных оксидов, в частности, оксида кальция ( $\text{CaO}$ ). Свободный оксид

кальция, присутствующий в составе ЗШМ, способен вступать в химические реакции гидратации, формируя гидратные соединения, которые и обеспечивают набор прочности и связывание других компонентов смеси.

Степень проявления вяжущих свойств ЗШМ может варьироваться в широких пределах в зависимости от типа сжигаемого топлива, условий его сжигания и последующего охлаждения. Поэтому наличие доступных и надежных методов анализа, позволяющих оценить потенциал ЗШМ как вяжущего, является крайне важным.

Определение содержания свободного оксида кальция представляет собой один из таких методов, позволяющий на ранних стадиях оценить пригодность ЗШМ для использования в качестве активного минерального компонента или самостоятельного вяжущего.

**Цель эксперимента** – анализ вяжущих свойств золошлаковых материалов путем определения содержания свободного оксида



Рисунок 1 – Укрепление дорожных оснований вяжущими

## АНАЛИЗ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО ОКСИДА КАЛЬЦИЯ

кальция и оценка корреляции между его концентрацией и потенциальной вяжущей способностью.

### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны образцы золошлаковых материалов, полученные с тепловых электростанций № 3 г. Барнаула.

Образцы были подвергнуты предварительной подготовке, включающей просушку, измельчение до требуемой степени дисперсности.

### Методика определения содержания свободного оксида кальция

Наиболее распространенным и надежным методом определения свободного оксида кальция в таких материалах является титриметрический метод с использованием этиленгликоля и индикатора тимолового синего или фенолфталеина.

Суть метода заключается в экстракции свободного  $\text{CaO}$  из твердой фазы растворителем (обычно раствором сахарозы в этиленгликоле) с последующим титрованием выделенного гидроксида кальция соляной кислотой.

Примерная схема проведения анализа:

1. Навеску 1 г золы помещают в коническую колбу объемом 250 мл.

2. Добавление растворителя: добавляется 40 мл 10%-го спиртово-сахаратного раствора.

3. Смесь перемешивается (например, на магнитной мешалке) в течение определенного времени (20 минут) для полного извлечения свободного  $\text{CaO}$  (рисунок 2).

4. После чего раствор фильтруют через бумажный фильтр, находящийся на воронке Бюхнера в колбу Бунзена, в которой создается разрежение воздуха с помощью вакуум-насоса.

5. Титрование: осадок на фильтре промывают 3-4 раза (по 10 мл) спиртово-сахаратным раствором. Полученный фильтрат сахара кальция титруют (рисунок 3) 0,1N раствором  $\text{HCl}$  в присутствии метилкрасного (5-6 капель) до перехода окраски в малиновую. Окраска не должна изменяться в течение 2-3 минут (рисунок 4).

6. Для определения, закрытого стеклофазой  $\text{CaO}$  навеску 1 г интенсивно растирают в фарфоровой ступке в течение 15 мин. Далее опыт проводится, как описано выше.

7. Расчет: содержание свободного оксида кальция ( $\text{CaO}$ ) рассчитывается по формуле

$$\text{CaOCB} = V_{\text{HCl}} \times T/m,$$

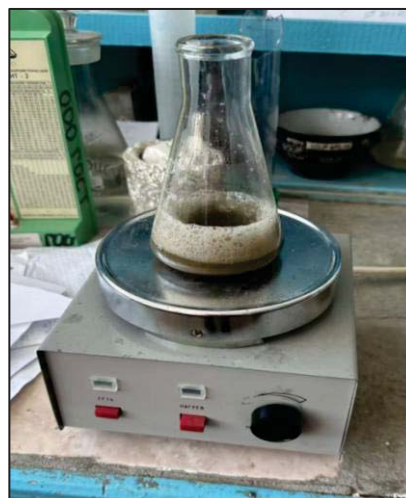


Рисунок 2 – Смешивание золошлаковых материалов со спиртово-сахарным раствором



Рисунок 3 – Фильтрация смешенного состава



Рисунок 4 – Определение свободного оксида кальция

где  $VHCl$  – количество 0,1N соляной кислоты, требовавшейся на титрование, мл;  $T$  – титр  $HCl$  по  $CaO_{св}$  мг/мл, равен 0,2804Н;  $m$  – масса навески, г.

Для оценки вяжущих свойств, помимо определения содержания свободного  $CaO$ , могут быть проведены следующие испытания:

- Определение тонкости помола: методами ситового анализа.
- Испытания на схватывание: определение сроков схватывания (начало и конец) по стандартным методикам.
- Определение сроков схватывания и нормальной густоты: с использованием прибора Ле-Шателье или Вика.
- Определение прочности на сжатие: приготовив стандартные образцы на основе ЗШМ с добавлением воды или активатора и выдержав их в определенных условиях.
- Определение содержания реакционно-способного кремнезема и глинозема: методами химического анализа (например, экстракция щелочью).

#### **Заключение**

В ходе исследования были получены следующие данные по содержанию свободного оксида кальция в исследуемых образцах ЗШМ:

1. Определение содержания свободного оксида кальция является эффективным и достаточно точным методом оценки вяжущих свойств золошлаковых материалов.
2. Обнаружена прямая корреляция между концентрацией свободного  $CaO$  в ЗШМ и показателями их вяжущей способности, такими как скорость схватывания и набираемая прочность.

3. Золошлаковые материалы с содержанием свободного оксида кальция выше (указать пороговое значение, например, 5-7%) обладают выраженными вяжущими свойствами и могут быть рекомендованы для использования в качестве активных минеральных добавок к портландцементу или в производстве специальных вяжущих.

4. Для материалов с низким содержанием свободного  $CaO$  может потребоваться дополнительная активация (например, щелочами, сульфатами, совместный помол с портландцементом) для достижения требуемых показателей качества.

5. Результаты данного исследования подчеркивают важность комплексного подхода к оценке ЗШМ, включающего химический состав, физические свойства и показатели вяжущей способности, для их успешной утилизации в строительной индустрии.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Овчаренко, Г. И. Воздушные вяжущие вещества: курс лекций для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по профилю «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций» (бакалавриат) / Г. И. Овчаренко. – Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2015. – 32 с.

**Агафонов Олег Викторович** – ассистент, аспирант кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: ov\_agafonov@mail.ru;

**Мещеряков Даниил Денисович** – студент группы С-35 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: den89941@gmail.com.



# ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И МЕТОДИКИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА В БАРНАУЛЕ

**Б. Ф. Азаров, К. Д. Засыпкин**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены конструктивные и объемно-планировочные решения многофункционального высотного комплекса, проектируемого в центральной части г. Барнаула, и обоснована необходимость организации геотехнического мониторинга при его строительстве. Объект характеризуется значительной этажностью (27 этажей), наличием подземных сооружений, свайно-плитных фундаментов и сложных инженерно-геологических условий. Сформулированы цели и задачи геотехнического мониторинга, приведена методика его организации с учетом требований действующих нормативных документов. Показано, что систематический контроль деформаций оснований, фундаментов и ограждающих конструкций котлована является обязательным элементом обеспечения безопасности строительства в условиях плотной городской застройки.*

**Ключевые слова:** геотехнический мониторинг, высотное строительство, свайно-плитный фундамент, осадки зданий, ограждение котлована, напряженно-деформированное состояние основания.

Современное высотное строительство в условиях плотной городской застройки сопровождается значительными нагрузками на основания и существенным техногенным воздействием на грунтовый массив. Наличие подземных сооружений, глубоких котлованов и неоднородных грунтовых условий повышает риск развития неравномерных деформаций, способных повлиять как на возводимые здания, так и на прилегающую застройку.

В соответствии с требованиями СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений», СП 24.13330 «Свайные фундаменты», а также СП 305.1325800 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга», при строительстве объектов повышенной ответственности должна быть организована система геотехнического мониторинга, обеспечивающая контроль фактического поведения конструкций и грунтов основания [1-7].

Возводимый объект расположен в городе Барнауле по адресу: ул. Площадь Баварина, 8, в зоне плотной городской застройки. Объект представляет собой многофункциональный строительный комплекс, включающий несколько взаимосвязанных зданий различного назначения.

В состав комплекса входят (таблица 1):

- Объект 1 – высотное жилое здание (корпус №1, 1 этап строительства);
- Объект 2 – высотное жилое здание

(корпус №2, 2 этап строительства);

- Объект 3 – стилобат с подземной автостоянкой;
- Объект 4 – стилобат со встроенными административными и общественными помещениями;

Строительство объекта предусматривается в два этапа. На первом этапе возводится жилой корпус № 1 со стилобатной частью и подземной автостоянкой в границах первой очереди строительства. На втором этапе возводится жилой корпус № 2, а также стилобат и подземная автостоянка в границах второй очереди строительства.

Комплекс представляет собой единый многофункциональный жилой объект, состо-

Таблица 1 – Перечень зданий подлежащих геотехническому мониторингу

| № здания / сооружения | Наименование зданий / сооружений                                      | Уровень ответственности | Класс сооружения |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|
| 1                     | Высотное жилое здание                                                 | нормальный              | КС-2             |
| 2                     | Высотное жилое здание                                                 | нормальный              | КС-2             |
| 3                     | Стилобат с подземной автостоянкой                                     | нормальный              | КС-2             |
| 4                     | Стилобат со встроенными административными и общественными помещениями | нормальный              | КС-2             |

ящий из двух жилых корпусов, объединённых общей стилобатной частью с подземной автостоянкой и встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения (рисунок 1). Жилые корпуса предназначены для размещения квартир, технических помещений инженерного оборудования и вертикальных коммуникаций (лифтовых и лестничных узлов). Жилые помещения начинаются с уровня 4-го этажа, ниже располагаются помещения общественного назначения и встроенные функциональные зоны.

В стилобатной части комплекса размещаются помещения различного функционального назначения:

- на первом этаже: коммерческие помещения и детский сад кратковременного пребывания;
- на втором этаже: фитнес-зал;
- на третьем этаже: офисные помещения;
- в подземной части (1 и 2 этажи): двухуровневая автостоянка.

Подземная автостоянка связана с жилыми корпусами лифтовыми и лестничными узлами, а также оборудована самостоятельными эвакуационными выходами наружу. Жилые корпуса запроектированы как монолитные железобетонные каркасные здания с заполнением газобетонными блоками. Стилобатная часть выполнена в виде монолитного железобетонного каркаса с кирпичным заполнением.

Значительная этажность обуславливает высокие вертикальные нагрузки на основания и предъявляет повышенные требования к контролю осадок и кренов.

Фундаменты зданий выполнены в виде монолитных железобетонных плитных и свайно-плитных конструкций. Применение свайно-плитных фундаментов обусловлено:

- наличием слабых и водонасыщенных грунтов в верхней части разреза;
- необходимостью ограничения абсолютных и относительных осадок;
- значительными расчетными нагрузками от высотных зданий.

Основание представлено неоднородными по составу грунтами, что повышает вероятность развития дифференциальных осадок.

Подземная часть комплекса включает автостоянку и технические помещения, для устройства которых предусмотрена разработка котлована значительной глубины. Ограждение котлована выполнено из железобетонных конструкций. Разработка котлована вызывает перераспределение напряжений в грунтовом массиве и может сопровождаться:

- горизонтальными перемещениями ограждений,
- дополнительными осадками,
- воздействием на прилегающие здания и инженерные сети.

Основной целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатации комплекса путем систематического контроля фактического напряженно-деформированного состояния основания и конструкций. Мониторинг должен обеспечивать:

- подтверждение корректности расчетных моделей;
- контроль соответствия фактических деформаций проектным значениям;
- раннее выявление опасных тенденций;
- возможность оперативного принятия технических решений.

В рамках реализации поставленной цели должны решаться следующие задачи:

- контроль абсолютных осадок фундаментов.
- контроль неравномерности и дифференциальных осадок.
- контроль кренов высотных зданий.
- наблюдение за горизонтальными перемещениями ограждений котлована.
- контроль деформаций подземных конструкций.
- мониторинг состояния прилегающей застройки.
- сравнение фактических данных с расчетными.



Рисунок 1 – Схема расположения объектов

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И МЕТОДИКИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА В БАРНАУЛЕ

- оценка динамики деформационных процессов.

Методика мониторинга разрабатывается в соответствии с требованиями СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений», СП 24.13330 «Свайные фундаменты», СП 305.1325800 «Правила проведения геотехнического мониторинга».

В процессе строительства подлежат контролю:

- осадки фундаментов;
- относительные осадки фундаментов;
- горизонтальные перемещения конструкций;
- крены зданий;
- деформации прилегающей застройки;
- уровень подземных вод (при необходимости)

В составе мониторинга применяются:

- высокоточное геометрическое нивелирование;
- измерения с помощью тахеометра;
- инклинометрические наблюдения;
- визуальный и инструментальный контроль трещинообразования.

Мониторинг осуществляется:

- на подготовительном этапе (до начала разработки котлована);
- в процессе разработки котлована;
- в период возведения подземной части;
- при строительстве надземной части;
- в начальный период эксплуатации.

Оценка производится путем сравнения фактических значений деформаций с:

- предельно допустимыми значениями;
- расчетными прогнозами;
- контрольными (тревожными) уровнями.
- при превышении допустимых значений предусматривается разработка корректирующих мероприятий.

### Заключение

Рассматриваемый многофункциональный высотный комплекс характеризуется:

- 1) значительной этажностью;
- 2) сложной конфигурацией застройки;
- 3) наличием подземных сооружений;
- 4) применением свайно-плитных фундаментов;
- 5) неоднородными инженерно-геологическими условиями.

Указанные факторы формируют слож-

ную картину напряженно-деформированного состояния основания и обуславливают повышенные требования к обеспечению безопасности строительства.

Организация комплексного геотехнического мониторинга позволяет:

- контролировать развитие осадок и перемещений;
- своевременно выявлять отклонения от проектных значений;
- снижать строительные риски;
- обеспечивать надежность и долговечность сооружений.

Таким образом, геотехнический мониторинг является неотъемлемым элементом системы управления безопасностью строительства данного объекта и обязательным условием его устойчивого функционирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. – М. : Минстрой России, 2016. – 78 с.
2. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М. : Минрегион России, 2011. – 85 с.
3. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – М. : Минстрой России, 2017. – 56 с.
4. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М. : Минстрой России, 2016. – 54 с.
5. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. – М. : Минстрой России, 2017. – 66 с.
6. Мангушев, Р. А. Основания и фундаменты: учебник для вузов / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров. – М. : Изд-во АСВ, 2018. – 456 с.
7. Баженов, Ю. М. Геотехнический мониторинг при строительстве зданий и сооружений / Ю. М. Баженов, В. А. Лесников. – М. : Изд-во АСВ, 2015. – 240 с.

**Азаров Борис Федотович** – к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru;

**Засыпкин Кирилл Денисович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: ice.47@bk.ru.



## ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОНТАЖЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ

М. Д. Алексеев, Т. Е. Лютова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены особенности информационного моделирования при монтаже систем вентиляции с помощью BIM-технологий в программном комплексе Autodesk Revit и анализ возможностей от внедрения BIM-технологий при монтаже систем вентиляции в процессе строительства зданий и сооружений в г. Барнауле.*

**Ключевые слова:** монтаж системы вентиляции, информационное моделирование, эффективность BIM-технологий, программный комплекс Autodesk Revit, особенности.

BIM-технология (Building Information Modeling), как правило, включает в себя цифровую модель объекта, которая содержит информацию о его геометрии, конструкции, материалах, инженерных системах, компонентах и трудовых ресурсах (рисунок 1). Она позволяет осуществлять улучшение совместной работы участников проекта, оптимизацию проектирования и точности информации, а также улучшение управления проектом и снижение рисков. BIM моделирование представляет собой не просто трехмерное проектирование, а создание комплексной информационной модели зданий и сооружений, содержащей все данные об инженерных системах [1].

Вентиляция в зданиях и сооружениях различного назначения является одной из ключевых инженерных систем, которая обеспечивает комфортные условия и поддерживает жизнедеятельность людей. Система вентиляции обеспечивает организованный воздухообмен в помещениях, устраняя, в том числе, запахи и газы. В зависимости от назначения здания, система вентиляции может быть приточной, вытяжной или комбинированной.

Естественный воздухообмен через щели в неплотно закрытых окнах и дверях является недостаточно эффективным и не способен обеспечить оптимальные микроклиматические условия. При монтаже системы вентиляции в квартирах и частных домах обычно используются компактные вентиляционные установки. Оптимальным вариантом является приточно-вытяжная система, которая обеспечивает подачу свежего воздуха и удаление отработанного воздуха. В ванных комнатах, санузлах и на кухнях также устанавливаются отдельные вытяжные системы.

Монтаж системы вентиляции без предварительного проектирования может привес-

ти к ряду проблем, таких как неправильно подобранные диаметры воздуховодов, недостаток свежего воздуха, неправильная установка вентиляционных узлов и некачественный монтаж оборудования [2].

Актуальность внедрения BIM-технологий в монтаж систем вентиляции обусловлена необходимостью повышения эффективности строительства и эксплуатации зданий и сооружений в Барнауле. Это соответствует задачам социально-экономического развития города.

Цель данной работы – анализ возможностей от внедрения BIM-технологий для оптимизации процессов монтажа вентиляционных систем в условиях г. Барнаула (рисунок 2).

В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM предполагает работу с интеллектуальными объектами, несущими в себе информацию о геометрии, технических характеристиках, производителях и стоимости.



Рисунок 1 – Структура информационной модели объекта

## ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОНТАЖЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ



Рисунок 2 – Анализ возможностей от внедрения BIM-технологий при монтаже систем вентиляции в процессе строительства зданий и сооружений

Применительно к монтажу систем вентиляции это позволяет:

1. На этапе проектирования выявлять и устранять в системе вентиляции несоответствия между воздуховодами и другими инженерными коммуникациями, что важно не только при реконструкции зданий исторического центра Барнаула, но и при возведении объектов нового строительства. За счет этого снижаются риски дорогостоящих переделок на стройплощадке.

2. Автоматически формировать спецификации оборудования и материалов, что повышает точность заказов и снижает затраты на логистику для строительных объектов города.

3. Оптимизировать маршруты прокладки воздуховодов с учетом конструктивных особенностей зданий, характерных для барнаульской застройки.

Особую значимость от внедрения BIM-технологии приобретают при монтаже систем вентиляции в условиях городского климата.

Информационная модель позволяет:

- Точнее рассчитывать тепловые потери и производительность калориферов для суровых зимних условий;

- Оптимизировать размещение оборудования с учетом требований энергоэффективности;

- Моделировать работу системы вентиляции после монтажа в различных сезонных режимах.

Внедрение BIM-технологий при монтаже систем вентиляции на объектах г. Барнаула демонстрирует существенное сокращение сроков монтажа и уменьшение количества ошибок при выполнении монтажных работ (рисунок 2).

Монтажники получают не набор чертежей, а комплексную 3D-инструкцию, что особенно важно при работе со сложными объектами современной городской застройки.

Однако успешное внедрение BIM-технологий при монтаже систем вентиляции требует решения ряда следующих организационных вопросов:

- Обучение персонала. Необходима программа повышения квалификации не только для монтажников, но и для проектировщиков, инженеров и мастеров.

- Междисциплинарное взаимодействие. BIM-технологии требуют тесной координации всех участников проекта уже на ранних стадиях выполнения работ.

- Первоначальные инвестиции. Затраты на лицензионное ПО. Обучение и организация процессов окупаются за счет снижения издержек на последующих этапах жизненного цикла при эксплуатации смонтированной системы вентиляции [3].

Практическим применением исследования стал опыт создания BIM-модели системы вентиляции для строящегося объекта – поликлиники в Индустриальном районе г. Барнаула для КГБУЗ «Городская поликлиника № 9, г. Барнаул».

В рамках работы в программной среде Autodesk Revit была разработана детализированная модель, которая позволила визуализировать трассировку воздуховодов и размещение оборудования (рисунок 3).

На этапе координации был проведен автоматизированный коллизийный анализ с помощью модуля Autodesk Navisworks Manage. Было выявлено и устранено несколько сотен коллизий с конструкциями и другими инженерными системами, что предотвратило потенциальные задержки при монтаже (рисунок 4).

На основе BIM-модели были автоматически сформированы:

- Комплекты рабочих чертежей (планы, разрезы, узлы) с актуальными обозначениями и спецификациями.

- Сводная спецификация оборудования и материалов с указанием производителя, модели, габаритов и производительности. Этот документ был напрямую использован для подготовки коммерческого предложения поставщиками.

- Ведомость объемов работ по монтажу воздуховодов (в м<sup>2</sup>) и установке оборудования, что значительно упростило составление сметы.

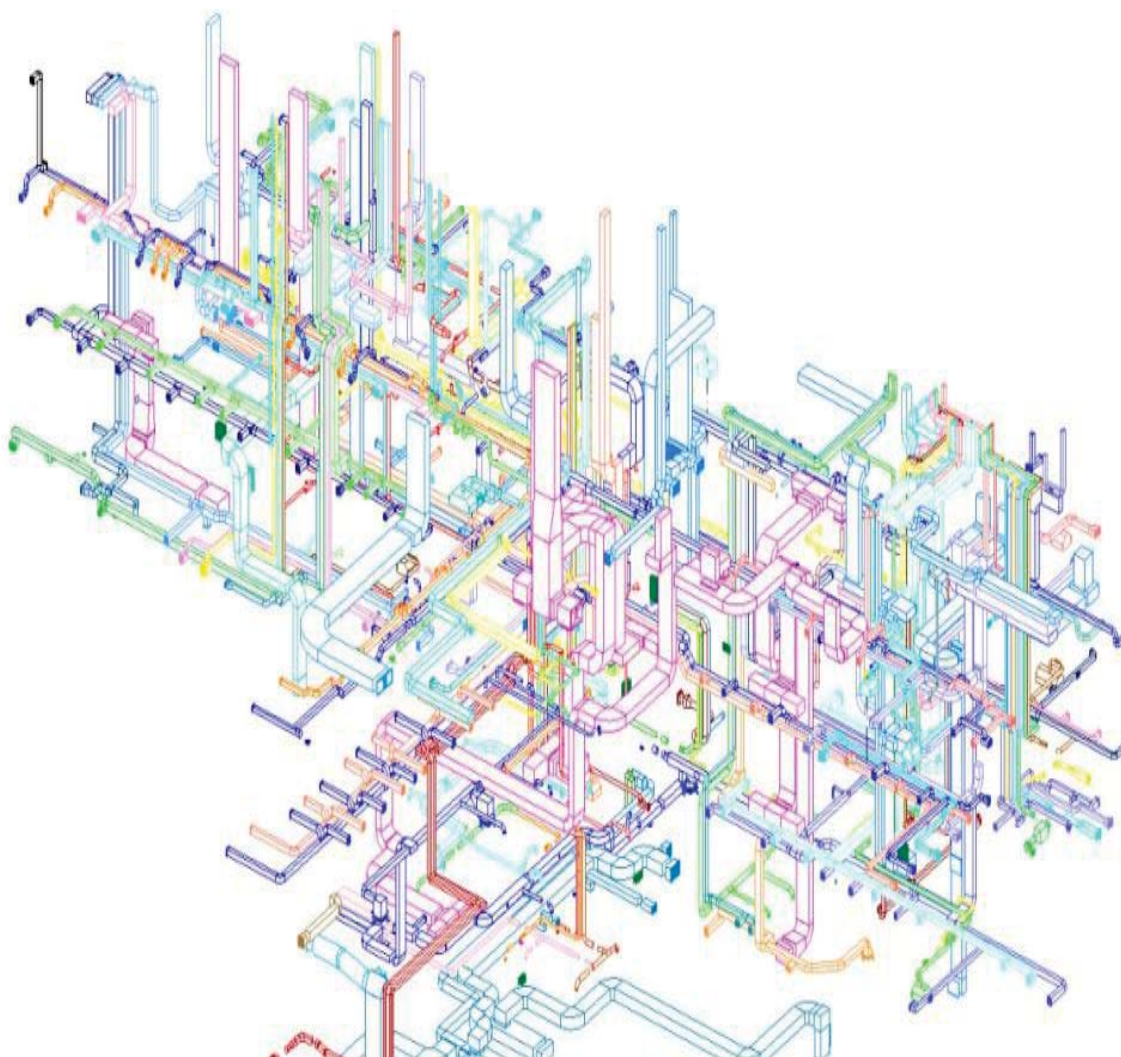


Рисунок 3 – Схема системы вентиляции КГБУЗ «Городская поликлиника №9, г. Барнаул»

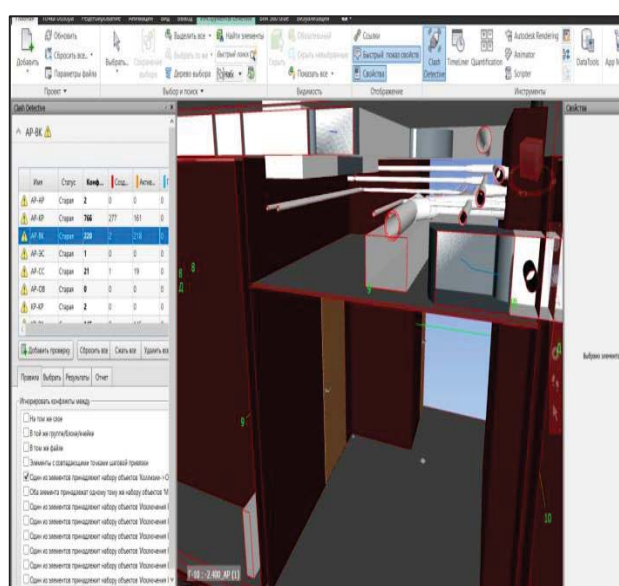


Рисунок 4 – Работа над устранением пересечений в Autodesk Navisworks Manage



## ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОНТАЖЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ

Этот опыт наглядно подтвердил эффективность BIM-технологий для оптимизации проектирования и монтажа вентиляции на социально значимых объектах г. Барнаула.

Полученная модель также была передана заказчику для дальнейшего использования в качестве цифрового двойника объекта при эксплуатации и плановом обслуживании систем [4].

Таким образом, BIM-технология является ключевым инструментом для модернизации строительного комплекса Барнаула, позволяющим перейти к управлению объектами на протяжении всего их жизненного цикла.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 392 с.
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения: 20.02.2026).

3. Петров, С. К. Опыт внедрения BIM-технологий на строительных объектах Сибирского региона / С. К. Петров // Строительные технологии. – 2023. – № 4. – С. 45-50.

4. Устав городского округа – города Барнаула Алтайского края: принят решением Барнаульской городской Думы от 28.02.2018 № 71 // Официальный сайт города Барнаула. – URL: <https://barnaul.org/pravoportal/ustav.php> (дата обращения: 15.10.2024).

**Алексеев Максим Денисович** – студент группы С-23 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [alekseewmaxim04@gmail.com](mailto:alekseewmaxim04@gmail.com);

**Лютова Татьяна Евстафьевна** – старший преподаватель, заместитель заведующего кафедрой «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: [lut-t@mail.ru](mailto:lut-t@mail.ru).

УДК 620.19

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ КОЛОДЦЕВ

**А. К. Андреев, И. А. Бахтина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются современные технологии и материалы для модернизации водопроводных колодцев с целью повышения их герметичности, долговечности и ремонтно-пригодности. Особое внимание уделено бестраншейным методам ремонта и применению полимерных композитов.*

**Ключевые слова:** водопроводный колодец, модернизация, бестраншейные технологии, полимерные материалы, герметизация.

Колодцы остаются важным источником водоснабжения для частных домовладений, дач и сельских территорий. Однако с течением времени их состояние может ухудшаться, что приводит к загрязнению воды, снижению дебита и ухудшению качества эксплуатации [1]. В связи с этим возникает вопрос о модернизации колодца, которая в свою очередь позволяет устранить проблемы и продлить срок его службы. В основном применяются железобетонные колодцы (рисунок 1).

С течением времени в колодцах могут возникать различные проблемы [2]:

1. загрязнение воды – попадание грунтовых вод, бактерий, механических примесей;
2. износ конструкции – разрушение

стенок, трещины в бетонных кольцах, проседание грунта;

3. снижение дебита – уменьшение количества поступающей воды из-за заиливания или засорения водоносного слоя;

4. нарушение герметичности – появление щелей, через которые могут проникать загрязнения;

5. неудобство эксплуатации – устаревшая система подъема воды, отсутствие крышки или утепления.

Надежность водопроводных колодцев определяет их безопасную и безаварийную эксплуатацию [2]. В процессе их эксплуатации оценивают различные виды дефектов

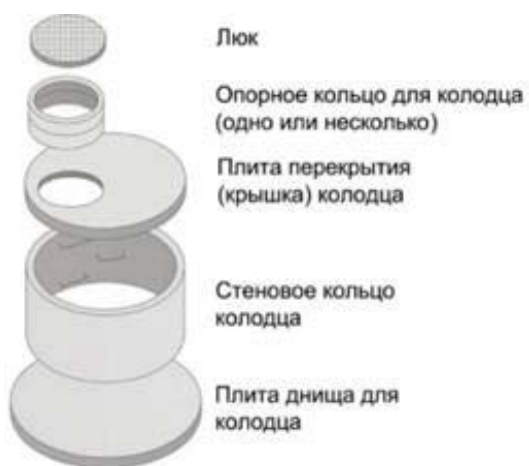


Рисунок 1 – Железобетонный колодец



Рисунок 2 – Установка полимерного колодца в подготовленную шахту

водопроводных колодцев. Дефекты водопроводных колодцев классифицируются на три основных группы.

1) Производственные дефекты, связанные с ошибками или несоблюдением требований при изготовлении водопроводных колодцев:

- неравномерность распределения толщины стенки;
- остаточные термические напряжения;
- дефекты сварных соединений.

2) Дефекты монтажа, связанные с ошибками при устройстве водопроводных колодцев [1]:

- нарушение подготовки основания;
- недостаточное уплотнение грунта;
- отсутствие анкеровки.

3) Эксплуатационные дефекты, обусловленные изменением характеристик канализационных колодцев в процессе их эксплуатации [3]:

- механическая ползучесть;
- циклические нагрузки;

- термоокислительная деградация;
- УФ-деградация.

Традиционные материалы для колодцев (железобетон, кирпич) подвержены коррозии и разрушению от воздействия грунтовых вод и перепадов температур, что приводит к потере герметичности и загрязнению питьевой воды [1]. Современной альтернативой являются полимерные и стеклопластиковые конструкции, обладающие высокой химической стойкостью, малым весом и сроком службы до 50 лет (такие как ИКАПЛАСТ – рисунок 2)

Надежность канализационных колодцев определяет их безопасную и безаварийную эксплуатацию [3]. В процессе их эксплуатации оценивают различные виды дефектов канализационных колодцев.

Дефекты канализационных колодцев классифицируются на три основных группы.

1) Производственные дефекты, связанные с ошибками или несоблюдением требований при изготовлении канализационных колодцев:

- неравномерность распределения толщины стенки;
- остаточные термические напряжения;
- дефекты сварных соединений.

2) Дефекты монтажа, связанные с ошибками при устройстве канализационных колодцев [1]:

- нарушение подготовки основания;
- недостаточное уплотнение грунта;
- отсутствие анкеровки.

3) Эксплуатационные дефекты, обусловленные изменением характеристик канализационных колодцев в процессе их эксплуатации [3-5]:

- механическая ползучесть;
- циклические нагрузки;
- термоокислительная деградация;
- УФ-деградация.

Для ремонта и модернизации применяются следующие методы.

Полимерные вставки (линеры): гибкие рукава, которые устанавливаются внутрь существующего колодца, после чего отверждаются горячим воздухом или УФ-излучением, образуя новый бесшовный герметичный контур.

Напыляемые полимерные покрытия: наносятся на внутреннюю поверхность, восстанавливая её целостность и создавая барьер для протечек.

Торкретирование – технология восстановления несущей способности и геометрии колодца путем нанесения под высоким давлением (0,3-0,7 МПа) мелкозернистой цементно-песчаной смеси (торкрет-бетона) с

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ КОЛОДЦЕВ

полимерными и армирующими добавками (фиброй). Процесс выполняется в два этапа: первый слой (обрызг) для обеспечения адгезии, второй – основной для набора проектной толщины (30-100 мм). Метод позволяет эффективно ремонтировать колодцы со значительными разрушениями стенок. (нанесение торкрет-смеси на внутренние стенки колодца – рисунок 3).

Бестраншейные технологии ремонта и модернизации колодцев позволяют выполнять работы без вскрытия грунта, что значительно снижает эксплуатационные расходы, сокращает сроки ремонта на 40-60% и минимизирует воздействие на городскую инфраструктуру и окружающую среду [4-6]. Эти методы особенно актуальны в условиях плотной городской застройки, на охраняемых территориях и при ремонте колодцев под проезжей частью.

Рассмотрим основные бестраншейные методы модернизации водопроводных колодцев и технологию санации протяжкой полимерного рукава, которая применяется для восстановления герметичности колодцев с сохранением их несущей способности. Процесс включает следующие этапы:

- предварительную видеоинспекцию внутренней поверхности колодца;
- механическую очистку стенок от отложений и наслоений;
- установку гибкого полимерного рукава (обычно из полиэстера, армированного стекловолокном);
- нагнетание теплоносителя (пара или горячей воды температурой 80-120°C) для

отверждения материала;

- контроль качества полученного покрытия ультразвуковой дефектоскопией.

Преимущества: полное восстановление герметичности, увеличение гидравлической гладкости стенок, срок службы до 50 лет.

Рассмотрим метод торкретирования с применением роботизированных систем. Современное торкретирование выполняется с использованием дистанционно управляемых манипуляторов, что позволяет:

- соблюдать точное дозирование смеси (соотношение цемент: песок 1:3 с добавкой полимерных модификаторов),
- автоматически поддерживать оптимального давления подачи (0,4-0,6 МПа),
- равномерно наносить слой толщиной 50-80 мм за один проход,
- обеспечивать минимальный отскок материала (не более 10-15%).



Рисунок 3 – Торкрет-смеси на стенки колодца с помощью ручного сопла

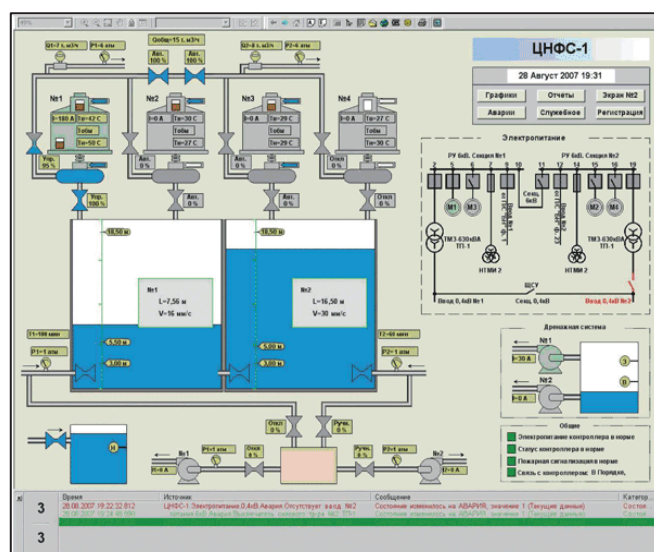


Рисунок 4 – Автоматизированная система управления



Применение горизонтального направленного бурения (ГНБ) для подводки коммуникаций используется для модернизации вводов и выводов труб. Основные условия применения метода ГНБ:

- диаметр прокола: 100-400 мм;
- длина трассы: до 50 м;
- точность выхода:  $\pm 50$  мм;
- использование полиэтиленовых труб

ПЭ 100 с электросварными муфтами.

Системы автоматизированного мониторинга и диагностики позволяют осуществлять непрерывный контроль технического состояния колодцев в реальном времени – рисунок 4 [4].

Датчиковое оборудование системы автоматизированного мониторинга состоит из стандартного комплекта, которое включает:

- ультразвуковые датчики уровня (точность  $\pm 1$  мм, диапазон 0-10 м);
- датчики давления (0-16 бар, класс точности 0.5);
- газоанализаторы ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) с пороговой сигнализацией;
- термодатчики ( $-40\dots+80^\circ\text{C}$ , влагозащищенное исполнение IP68);
- акустические датчики утечек (чувствительность 0.1 л/мин).

Также в систему автоматического мониторинга входит блок передачи данных и программное обеспечение:

- протоколы связи: LoRaWAN, NB-IoT, GSM;
- автономность работы: 3-5 лет от встроенных батарей;
- платформы обработки данных: SCADA-системы, облачные сервисы;
- функции аналитики: прогнозирование остаточного ресурса, автоматическое формирование заявок на ремонт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, А. К., Исследование полиэтиленовых колодцев на наличие дефектов в процессе эксплуатации / А. К. Андреев, И. А. Бахтина, В. А. Капорин. – Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием) / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2025. – С. 262-265.
2. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117293/> (дата обращения: 15.02.2026).
3. ГОСТ 32972-2015. Колодцы полимерные для подземных инженерных сетей. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58781/> (дата обращения: 15.02.2026).
4. ГОСТ Р 22.1.03-2019. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Система мониторинга инженерных систем зданий и сооружений. Технические требования. Протоколы информационного обмена [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/73000/> (дата обращения: 15.02.2026).
5. ТСН 40-303-2003. Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294844/4294844876.htm> (дата обращения: 15.02.2026).

**Андреев Александр Константинович** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [aa.sanyu19999@gmail.com](mailto:aa.sanyu19999@gmail.com);

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [bia-altai@mail.ru](mailto:bia-altai@mail.ru).

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ НА СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ

О. С. Анненкова, Д. И. Кушнерева, Е. А. Бисс

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются применяемые в современном строительстве технологии 3D-печати. В ходе исследования были изучены основные методы 3D-печати, их свойства и особенности применения в строительстве. Рассматриваются материалы и добавки, необходимые для качественной 3D-печати, а так же методы теоретических расчетов основных параметров. Статья позволяет получить представление о том, как 3D-печать влияет на архитектурное совершенство современных зданий.*

**Ключевые слова:** 3D-печать, монолитная 3D-печать, модульная (сборочная) 3D-печать, 3D-принтер, метод спекания, лазерная стереолитография, метод послойного экструдирования.

Современная строительная отрасль переживает трансформацию под влиянием цифровых технологий, среди которых аддитивное производство (3D-печать) занимает одно из наиболее перспективных мест. Данная технология переходит из стадии экспериментов в фазу практического внедрения, предлагая альтернативу традиционным методам возведения зданий.

Ключевыми архитектурно - конструктивными направлениями её развития являются два основных метода:

- монолитная 3D-печать (рисунок 1) на строительной площадке, направленная на создание полноценных несущих конструкций;
- модульная (сборочная) 3D-печать (рисунок 2), ориентированная на промышленное производство сложных элементов здания.

В полностью автоматизированной монолитной 3D-печати стены и конструктивные элементы здания возводятся роботом-принтером непосредственно на строительной площадке, не используя традиционную опалубку и кладку. Печатаются как отдельные архитектурные элементы (колонны, простенки), так и цельные контуры несущих стен. Цифровой процесс заменяет габаритные вспомогательные конструкции и большое количество ручного труда, а слой материала (бетонной смеси) практически не ограничивает свободу формы, если грамотно подбирать рецептуры смеси и алгоритмы послойного нанесения.

Для реализации технологии используются два основных метода. Печать с армированием позволяет создавать несущие конструкции, где в процессе печати интегрируется стальная арматура или сетка для компенсации растягивающих нагрузок. Печать без

внешнего армирования позволяет полностью полагаться на геометрию и состав материала, создавая самонесущие арочные, сводчатые или ребристые структуры, что придает конструкции чистую, монолитную эстетику.

Этот метод строительства имеет множество преимуществ:

- Прочность и долговечность
- Устойчивость к сейсмическим нагрузкам (за счет монолитности)
- Энергоэффективность (оптимизированная форма и толщина стен)
- Снижение логистики и отходов
- Возможность интеграции коммуникаций в печать.

Данная система обеспечивает отличную герметичность и тепловую эффективность конструкции за счет отсутствия традиционных швов и мостиков холода. Технология остается дорогой и сложной в применении, так как требует высокоточного инженерного моделирования, специализированного оборудования и тщательного контроля параметров печати



Рисунок 1 – Монолитная 3D-печать



Рисунок 2 – Модульное здание в Китае – WinSun



Рисунок 3 – Самое большое в мире здание, построенное в Дубае, напечатанное на 3D-принтере



Рисунок 4 – Напечатанные сборочные панели

(температура, влажность, скорость). Дубай занимается активным развитием данной технологии (рисунок 3).

В модульной (сборочной) 3D-печати используются методы послойного синтеза отдельных строительных элементов в контролируемых заводских условиях. Этот метод позволяет добиться максимальной точности геометрии, качества поверхности и конструктивной сложности создаваемых модулей, которые затем монтируются на объекте как детали конструктора. Данный подход применяется в нестандартных проектах, когда здание

задумано с уникальной архитектурной геометрией или требует интеграции сложных функциональных элементов. При использовании обычной монолитной печати на площадке добиться подобной точности и детализации будет практически невозможно. Исходя из этого, применяют два основных подхода в модульной печати.

Первый вариант – печать крупных самонесущих блоков-комнат (volume-printing). Этот способ является классическим для создания жилых модулей. В первую очередь происходит цифровое проектирование и печать полного объема помещения (стены, перекрытия, ниши) как единого элемента в заводских условиях. Далее готовый модуль транспортируют на объект и устанавливают на подготовленный фундамент, соединяя с другими модулями и инженерными сетями.

Во втором варианте используют печать сложных облицовочных панелей (рисунок 4) или декоративных элементов. Так создается фасад или интерьер, которые практически неотличимы от монолитной архитектурной лепнины или скульптурного рельефа, но обладают значительно меньшим весом. Кроме того, такие панели, за счет точного компьютерного расчета и свойств материала, способны выдерживать требуемые эксплуатационные нагрузки.

К достоинствам этих методов относятся:

- высокая скорость строительства, благодаря которой можно печатать здания за несколько недель или месяцев, а также сокращение зависимости от ручного труда;
- снижение затрат, позволяющие уменьшить расходы на материалы за счет точного дозирования и экономия на рабочей силе;
- гибкость проектирования, дающая возможность создавать сложные архитектурные формы, которые трудно или дорого реализовать традиционными методами, легкость в адаптации дизайна;
- экологичность, оставляющая меньше строительных отходов, а также использование перерабатываемых и местных материалов;
- снижение рисков для рабочих при работе на высоте и с тяжестью;
- возможность строительства в труднодоступных местах.

На фоне достоинств у 3D-печати присутствуют так же и недостатки, к ним относятся:

- ограничение по прочности и долговечности. Бетонные конструкции без армирования начинают трескаться;
- высокие начальные инвестиции. На покупку крупных 3D-принтеров и роботизиро-



## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ НА СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ

ванных систем необходимо выделять очень много средств (от 200000\$ до 1000000\$). Так же стоит учитывать и обслуживание таких принтеров, и квалификационные способности оператора;

- недостаточная нормативная база;
- ограниченный выбор материалов. Основой для печати является бетон и примеси. Возникают проблемы при печати металлических и деревянных конструкций;
- технологические ограничения. Возникают проблемы связанные с интеграцией коммуникации во время печати. В связи с этим появляется необходимость в ручных доработках (установке окон, дверей).

В настоящее время известно о существовании двух видов конструкций 3D-принтеров – в виде мостового крана и в виде стрелы-манипулятора.

Строительный 3D-принтер имеет сопло, или экструдер, и выдавливают из него рабочую смесь. Поверхность, на которой создается объемное изделие, называется рабочей зоной и имеет размеры, задаваемые величиной хода сопла, причем опалубки не требуется. Основными составляющими 3D-машины являются рама, на которой смонтировано устройство, перемещающееся линейно в плане по направляющим, установленным вдоль здания, а также устройства для передвижения сопла и поднятия конструкции принтера. Таким образом, движение осуществляется в трех взаимно перпендикулярных направлениях – по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Сама система для печати с помощью 3D-принтера содержит следующие элементы:

- систему движения (козловые краны или роботизированный манипулятор);
- систему экструзии (печатающая головка с насадкой);
- портативную смесительную установку (просеивание и смешивание компонентов);
- систему накачки (контролируется электроникой);
- блок управления (электроника, позиционирование и система управления);
- систему мониторинга (камеры, мониторы слежения за процессом печати);
- систему безопасности (автоматически выключает систему при необходимости).

В строительной 3D-печати используют специальные бетонные смеси. Смеси могут быть как на основе портландцемента, так и с геополимерными вяжущими. Крупность заполнителя обязательно должна соответствовать диаметру сопла экструдера. Это обеспечивает надежную непрерывную экструзию смеси и формирование стабильных слоев.

Толщина одного печатного слоя может варьироваться как 10 мм, так и 30 мм [3]. Наружные слои часто печатаются из смеси с фибровым армированием, а внутренние слои могут содержать легкие заполнители для теплоизоляции.

Для сохранения монолитности и целостности возводимой стены, между соседними печатными слоями необходимо обеспечить оптимальное время схватывания (интервал печати). Это также помогает защитить конструкцию от деформаций, происходящих вследствие гравитационных нагрузок и пластической усадки свежеложенного материала. Эти межслойные швы необходимо тщательно контролировать, так как качество адгезии между слоями не только обеспечивает структурную целостность стены, но и гарантирует ее долговечность как единого целого.

Чтобы правильно подобрать бетонную смесь для 3D-печати [1], необходимо знать следующие ключевые критерии:

- в первую очередь необходимо учитывать геологические свойства: тиксотропию (способность разжижаться при подаче и быстро загустевать) и предельное напряжение сдвига;

- необходимо учитывать скорость схватывания и набор прочности, так как это влияет на максимальную скорость печати и межслойную адгезию;

- поведение смеси при различных температурах окружающей среды (скорость гидратации);

- коэффициент теплопроводности для энергоэффективности;

- усадка при высыхании не должна приводить к критическим трещинам;

- хорошая адгезия к предыдущему слою и, при необходимости, к арматуре.

Используемый бетон относится к высокому классу прочности В50, что позволяет формировать цельную, «органическую» структуру стен с пределом прочности на сжатие до 650-700 кгс/см<sup>2</sup>. Уже в первые сутки после печати конструкция набирает до 25% от проектной прочности, причём такая скорость твердения не ухудшает итоговые свойства материала. Время схватывания смеси варьируется от 3 до 120 минут [2], а её способность сохранять заданную форму является критически важной для послойного нанесения. Кроме того, бетонная смесь отличается низкой усадкой (около 0,6 мм/м через 28 суток) и минимальным водоцементным отношением.

Специальные быстротвердеющие составы на базе бетонной смеси включают в себя

несколько ключевых элементов. Применяется жёсткая бетонная смесь с низким водоцементным отношением, а также разнообразные добавки-ускорители твердения, такие как хлористый кальций или глиноземистый цемент. Также используются технологии домалывания цемента – сухого или мокрого – с небольшим количеством гипса либо со специальными комплексными добавками, а также методы активации цементного раствора.

Среди ускорителей твердения наиболее широко применяется хлористый кальций, который показывает более высокую эффективность по сравнению с другими вариантами. Его количество в бетонной смеси не должно превышать 3% [2]. Этот материал обладает рядом преимуществ: благодаря малому времени сохранения подвижности смеси можно печатать высокие элементы без необходимости промежуточного высушивания. Состав набирает небольшую, но достаточную прочность – 1,6 МПа на сжатие и 1 МПа на растяжение при изгибе к 28 суткам. Хлористый кальций не только ускоряет твердение бетона на ранней стадии, но и позволяет немного снизить расход цемента, а также улучшает удобоукладываемость смеси. Готовый материал характеризуется быстрым набором прочности, высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Ещё одной важной добавкой для бетонной смеси, используемой в 3D-печати, является фибра. Этот армирующий компонент вводится в сухие строительные смеси или растворы для улучшения свойств бетона. Фибры выполняют роль микроармирования,

оптимизируя структуру вяжущего вещества на микроуровне. Их применение зачастую позволяет отказаться от традиционного армирования стальными стержнями, так как фибры в достаточной мере обеспечивают необходимую прочность и жёсткость конструкции. В результате снижается общий вес конструкции и сокращаются затраты, связанные с процессом армирования.

Кроме того, известно использование быстротвердеющей бетонной смеси в качестве строительного материала, армированного стальной или полимерной микрофиброй. Для увеличения несущей способности и прочности стены могут также применяться различные виды армирования при помощи стальной арматуры. Армирование при помощи металлической (стальной) арматуры может производиться как в горизонтальном, так и вертикальном направлении. Вертикальная арматура устанавливается в технологические пустоты стен после печати с последующей заливкой бетоном нужной марки. Горизонтальное армирование проводится между слоями конструкции в процессе печати с использованием стальных прутков или плоских армокаркасов.

#### **Основы методов теоретических расчетов основных параметров.**

Существуют три основных метода 3D-печати, используемых при строительстве:

- Метод спекания (рисунок 5) (селективного спекания) заключается в следующем: 3D-принтер расплавляет рабочую смесь [1] (обыкновенный песок) с помощью сконцентрированного лазера или солнечного луча.



Рисунок 5 – Метод спекания (селективного спекания) с помощью 3D-принтера



Рисунок 6 – Лазерная стереолитография с помощью 3D-принтера



Рисунок 7 – Метод послойного экструдирования с помощью 3D-принтера

На данный момент известно о существовании только одного образца такого устройства. Его изобрел инженер Маркус Кайзер – студент Королевского колледжа искусств (Royal College of Art).

Установка включает в себя солнечный резак, оборудованный кулачковым механизмом, при помощи которого задаются траектории резания материала, горизонтальные и круговые разрезы. Механизм перемещения обрабатываемого материала приводится в движение небольшим двигателем, запускающим движение зубчатого ремня привода распределительного вала. Одновременно сфокусированная шаровая линза насквозь прожигает материал, находящийся под ней.

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 1 2026

- Лазерная стереолитография (рисунок 6). Для ее реализации используется лазерная установка с ванной, оборудованной специальным столом. Эту ванну заполняют жидкой фотополимеризующейся под воздействием лазерного луча композицией. Спекание материала выполняется послойно, путем перемещения лазерного луча по намеченной траектории. При завершении обработки первого слоя стол ванны опускается на шаг, и выполняется формирование следующего слоя.

- Метод послойного экструдирования (рисунок 7) является основным способом 3D-печати большинства строительных принтеров. Его суть заключается в том, что рабочее сопло, или экструдер, 3D-машины выдавли-



вает быстротвердеющую бетонную смесь, в которую включены различные добавки, улучшающие характеристики будущей конструкции. Каждый очередной слой выдавливается 3D-принтером поверх предыдущего, благодаря чему формируется определенная конструкция [3].

Методы селективного спекания и напыления являются экологически безвредными, поскольку их реализация подразумевает использование солнечной энергии, а рабочей смесью является песок.

3D-печать зданий требует сложных инженерных расчетов – от проектирования до контроля качества. Для этого используют обширный перечень программ.

- Autodesk Revit (BIM-платформа): основной инструмент. Позволяет создавать не просто модель, а интеллектуальный объект с данными о материалах, слоях стены, коммуникациях. Критически важен для расчета нагрузок и интеграции с другими инженерными системами.

- Rhino 3D + Grasshopper: Золотой стандарт для сложной, нелинейной (криволинейной) архитектуры. Плагин Grasshopper позволяет создавать параметрические модели и алгоритмы, автоматически адаптирующие геометрию под структурные нагрузки и ограничения принтера.

- Cura (адаптированные версии для строительства): используется как база для многих систем.

- ЧПУ-контроллеры и специализированное ПО: Программы Mach3, LinuxCNC или проприетарные системы, которые напрямую управляют шаговыми двигателями, насосами

и исполнительными механизмами принтера по G-коду.

Таким образом, можно сделать вывод, что аддитивные технологии (3D-печать) становятся важнейшим элементом в строительстве, без которого современная архитектура не может полноценно развиваться в сторону устойчивости, экономической эффективности и формальной свободы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулебякин, А. А. Новые технологии. Развитие 3D-печати: перспективы и последствия / А. А. Кулебякин // Молодеж. науч.-техн. вестник. – 2015. – № 3. – С. 48.
2. СП 63.13330.2018 (СНиП 52-01-2003). Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: дата введения 2019-06-20. – М. : Минстрой России, 2019. – 150 с.
3. Ракитин, С. Ю. Формирование послойных контуров 3D-моделей для аддитивного производства / С. Ю. Ракитин, А. А. Илькубаев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. – Оренбург, 2016. – С. 223–230.

**Анненкова Ольга Семеновна** – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: 222-ru@mail.ru;

**Кушнерева Дарья Ивановна** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kushnerevad@mail.ru;

**Бисс Егор Александрович** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: egorbiss7@gmail.com.

## МЕТОДИКА УКЛАДКИ БЕТОННОГО ПОЛОТНА «CONCRETE CANVAS»

О. С. Анненкова, М. Н. Пономаренко

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В этой статье подробно рассматривается бетонное полотно «Concrete Canvas» – инновационный материал с уникальными свойствами. Раскрыты его основные преимущества и ограничения, а также приведены примеры использования в различных сферах строительства и ремонта. Большое внимание уделено особенностям монтажа.*

**Ключевые слова:** бетонное полотно, геосинтетический цементирующий композитный мат, методы монтажа, инновационный материал, быстрый монтаж, гибкость и легкий вес, гидроизоляция и защита, ремонт инженерных систем, рулон, мембрана.

Ремонт уже существующих инженерных систем представляет серьезный вызов для частных и государственных учреждений, как с точки зрения временных затрат, так и финансовых ресурсов. Важно не только уложиться в утвержденный бюджет, но и свести к минимуму влияние ремонтных и модернизационных работ на функционирование объектов. Это объясняется тем, что оптимизация процессов позволяет повысить эффективность работы, сократить издержки и улучшить производительность труда.

В данной статье рассмотрены сферы применения, преимущества и недостатки инновационного материала – бетонного полотна под торговой маркой «Concrete Canvas».

Бетонное полотно «Concrete Canvas» состоит из специализированной бетонной смеси, пропитанной полимерной сеткой, покрытой тканевой поверхностью и водонепроницаемой полимерной мембраной. Полимерные нити формируют каркас, который удерживает бетон и придает конструкции эластичность. Тканевая верхняя часть обеспечивает равномерное впитывание влаги, а нижний слой из полимера защищает от воды и агрессивных внешних воздействий (рисунок 1). При увлажнении материал затвердевает, достигая 80% прочности уже спустя сутки, что делает его пригодным к эксплуатации.

«Concrete Canvas» относится к инновационной группе продуктов – GCCM (Geosynthetic Cement Composite Mat), которая занимает нишу между жесткими и гибкими бетонными системами (рисунок 2). Эта технология открывает новые рынки, где традиционные геосинтетические материалы не применялись.

Одновременное замещение нескольких обычных слоев одним композитным покрытием улучшает реализацию проектов за счет

экономии времени, упрощения монтажа и снижения затрат [1].

Материал поставляется в рулонах шириной один метр, что облегчает его ручную транспортировку. Благодаря компактности и малому весу, по сравнению с обычным сыпучим бетоном, его удобно доставлять и укладывать даже в труднодоступных местах.

Благодаря своим уникальным свойствам, бетонное полотно нашло применение в самых различных сферах. Его используют для строительства дренажных систем и ка-

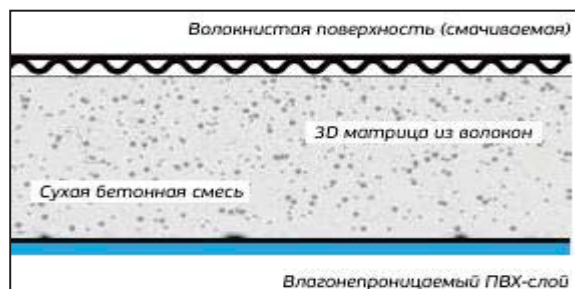


Рисунок 1 – Состав бетонного полотна



Рисунок 2 – Полотно «Concrete Canvas»



Рисунок 3 – Устройство бетонного полотна в проектное положение



Рисунок 4 – Крепление бетонного полотна



Рисунок 5 – Укрепление траншеи бетонным полотном

нав, а также для укрепления склонов, защищая их от водной и ветровой эрозии. Также оно эффективно применяется для защиты береговых линий каналов от разрушительного воздействия воды и ветра. В сфере ремонта оно используется для восстановления бетонных конструкций разного типа и назначения, в том числе тех, что работают в условиях агрессивных сред – с содержанием хлоридов, щелочей и кислот. Кроме того, материал

применяется для герметизации и защиты стен тоннелей, шахт, колодцев и систем водосбора. Он также успешно используется при строительстве вентиляционных, огнезащитных и теплоизоляционных перемычек в шахтах, а также для защиты трубопроводов от механических повреждений. В случае повреждения бетонных поверхностей в отстойных прудах его используют для ремонта, при этом исключается необходимость укладывать новый бетонный слой прямо на поверхность искусственного водоема.

Технология монтажа бетонного полотна:

1. Подготовка поверхности. Бетонное полотно подходит для укладки на любые основания и достаточно гибко, чтобы принять сложную форму. Однако, перед укладкой, желательно очистить поверхность и устранить пустоты по проекту, удалить острые и выступающие предметы. При использовании на бетонных конструкциях нужно учитывать арматуру и ликвидировать крупные трещины.

2. Развертывание рулона и укладка. Рулон можно располагать вручную или с помощью траверсы и строп в зависимости от сложности поверхности. Для резки используют стандартные инструменты – нож, пилу или канцелярское лезвие (рисунок 3). Перед укладкой материал укладывают мембраной вниз и закрепляют внахлест.

3. Крепление к основанию. Для фиксации полотна применяют металлические анкеры (рисунок 4). На склонах используют анкеры в траншеях, а на каменистых или бетонных основаниях – цементный раствор, анкеры или болты. Также применяют цементную затирку в местах сопряжения.

4. Соединение отрезков бетонного полотна между собой. Метод соединения зависит от покрытия: на грунте используют саморезы, на бетонных поверхностях – дюбель-гвозди. Для герметичности используют клей-герметик или сварку.

5. Смачивание. Для запуска процесса затвердевания полотну дают намочить водой. Вода может быть как пресной, так и солёной – это не влияет на прочность. После смачивания поверхность должна оставаться влажной в течение нескольких минут.

6. Затвердевание. Материал начнёт затвердевать в течение 1-3 часов, в зависимости от температуры воздуха. В это время с полотном ещё можно работать. После этого ходить по нему нежелательно, чтобы не оставить следы. Через 24 часа структура набирает примерно 80% прочности [2].

Бетонное полотно конкурирует с обычным монолитным или сборным бетоном в со-



четании с геомембраной (рисунок 5). Таким образом, составная конструкция бетонного полотна имеет значительные преимущества по сравнению с этими традиционными решениями.

Основные преимущества бетонного полотна:

- Быстрый и простой монтаж: бетонное полотно устанавливается гораздо быстрее и проще, чем монолитный бетон с геомембраной.
- Более легкий вес: бетонное полотно легче монолитного бетона, что упрощает его транспортировку и установку.
- Большая долговечность: бетонное полотно более устойчиво к воздействию химических веществ, ультрафиолетового излучения и других факторов окружающей среды по сравнению с монолитным бетоном. Это обеспечивает более длительный срок службы и снижает затраты на техническое обслуживание.

Основные недостатки бетонного полотна:

- Стоимость – может обходиться дороже по сравнению с традиционными методами, особенно при крупных строительных проектах.
- Ограниченная толщина – обычно не превышает определённых размеров, что ограничивает применение в условиях, требующих толстый бетон.
- Ремонт – восстановление повреждённых участков может оказаться сложным и затратным, нередко требует полной замены повреждённых сегментов [3].

Несмотря на возможные минусы, бетонное полотно остаётся ценным ресурсом для создания прочных, водонепроницаемых и долговечных покрытий, особенно при необходимости быстрого монтажа на больших площадях.

Бетонное полотно «Concrete Canvas» активно интегрируется в современные инженерные решения благодаря своей гибкости и скорости монтажа, что особенно важно в условиях ограниченных временных рамок и необходимости быстрого реагирования. Оно позволяет значительно сокращать сроки выполнения строительных и ремонтных работ, а также снижать издержки на оборудование и рабочую силу. Благодаря своим уникальным свойствам, материал не только облегчает

работу с труднодоступными и сложными площадками, но и обеспечивает устойчивость конструкции к различным климатическим условиям.

Кроме того, развитие этой технологии открывает новые возможности для применения в экстремальных условиях, таких как зоны с высоким уровнем сейсмической активности или воздействия сильных ветров и воды. Внедрение бетонного полотна способствует повышению стандартов экологической безопасности за счет уменьшения использования тяжелой техники и сокращения строительных отходов. Таким образом, «Concrete Canvas» становится важным инструментом для реализации экологически ответственных и устойчивых проектов в строительной индустрии.

Будущее бетона «Concrete Canvas» связано с возможностью интеграции с другими инновационными материалами и системами автоматизации строительства, что позволит еще более расширить его применение и улучшить показатели долговечности и эффективности. С развитием технологий такие материалы со временем станут неотъемлемой частью прогрессивных инфраструктурных решений по всему миру.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетонное полотно – прочность армированного бетона, гибкость рулонных материалов. - Текст: электронный // СФЕРА ГАЗ И НЕФТЬ: [сайт]. – URL: <https://xn--80aagboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/concrete-2018-2/#> (дата обращения: 10.02.2026).
2. CONCRETE CANVAS бетон в рулоне. – Текст: электронный // United Concrete Canvas: [сайт]. – URL: <https://uccr.su/> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Бетонное полотно CONCRETE CANVAS. – Текст: электронный // CONCRETECANVAS: [сайт]. – URL: <https://betonnoepolotno.ru/> (дата обращения: 09.02.2026).

**Анненкова Ольга Семеновна** – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: 222-ru@mail.ru;

**Пономаренко Максим Николаевич** – студент группы 8Спс-51 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: mr.mufka@mail.ru.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ REVIT ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Н. О. Арзамазов, И. А. Бахтина

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены методические и практические аспекты применения инструмента «Спецификация» программного комплекса Autodesk Revit при проектировании систем внутреннего водоснабжения зданий.*

**Ключевые слова:** внутреннее водоснабжение, BIM, Autodesk Revit, спецификация, трубопроводы, запорно-регулирующая арматура, водосчетчики.

На современном этапе развития строительной отрасли информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) является одним из ключевых инструментов повышения качества и эффективности проектирования инженерных систем. В отличие от традиционных методов, основанных на двухмерных чертежах и разрозненных расчетах, BIM-подход предполагает создание единой цифровой модели объекта, содержащей геометрические, физические, технологические и эксплуатационные характеристики.

Системы внутреннего водоснабжения относятся к числу наиболее ответственных инженерных систем зданий, так как от их надежности и корректности проектных решений напрямую зависят санитарно-гигиенические условия, эксплуатационная безопасность и экономичность объекта. Проектирование данных систем требует точного подбора трубопроводов, арматуры и приборов учета воды в соответствии с расчетными расходами, давлением и требованиями действующих нормативных документов, в том числе СП 30.13330.2020, регламентирующего допустимые скорости движения воды, расчетные расходы и условия установки приборов учета [1].

В программном комплексе Autodesk Revit значительная часть задач, связанных с анализом и оформлением проектных решений, может быть решена с помощью инструмента «Спецификация», обеспечивающего автоматизированный сбор и обработку данных информационной модели. В связи с этим актуальной является задача исследования возможностей использования спецификаций Revit при проектировании систем водоснабжения.

Система внутреннего водоснабжения здания включает в себя трубопроводы холодного и горячего водоснабжения, циркуляционные линии, запорно-регулирующую ар-

матуру, фильтры, приборы учета, а также санитарно-технические приборы [2]. В среде Revit данные элементы представлены инженерными семействами, которые содержат набор параметров, используемых как для графического отображения, так и для расчетов и формирования спецификаций.

Процесс проектирования систем водоснабжения в Revit начинается с подготовки информационной модели здания: задания уровней, настройки координат, определения пространств и зон, а также назначения расчетных параметров. Далее формируются инженерные системы ХВС и ГВС, выполняется трассировка трубопроводов с заданием диаметров, материалов, уклонов и высотных отметок. Все изменения, вносимые в модель, автоматически отражаются в параметрах элементов, что обеспечивает целостность и актуальность данных (рисунок 1).

Инструмент «Спецификация» Autodesk Revit позволяет создавать параметрические таблицы, связанные с информационной моделью и обновляющиеся в автоматическом режиме. Для трубопроводов систем водоснабжения спецификация может включать как геометрические, так и технические характеристики, в том числе: тип инженерной системы (ХВС, ГВС, циркуляция); материал трубопровода; номинальный диаметр; фактическую длину труб; условные обозначения и примечания (рисунок 2).

Анализ данных спецификаций позволяет проектировщику определить суммарную протяженность труб различных диаметров и материалов, что является основой для технико-экономической оценки проектных решений и подбора материалов.

Например, при формировании спецификации трубопроводов системы ХВС возможно определить общую длину труб диаметром 25 и 32 мм, используемую при оценке потребности в материалах и стоимости системы.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ REVIT ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

| Наименование и техническая характеристика                                             | Тип, марка, обозначение документа опросного листа | Код продукции | Поставщик          | Ед измерен<br>ия | Кол. | Масса 1<br>ед., кг | Примечание |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|--------------------|------------------|------|--------------------|------------|
| В                                                                                     | С                                                 | D             | E                  | F                | G    | H                  | I          |
| Воздухоотводчик автоматический, DN15                                                  | VT 502 INV.04                                     |               | Valtec             | шт.              | 1    |                    |            |
| Задвижка запорная «Г» рамар» с обозначенным клином, с электроприводом серии SA, DN80  | KR15.02.080.16 Ф/Ф с КОФ с электропривод          |               | ADL                | шт.              | 1    |                    |            |
| Задвижка запорная «Г» рамар», чугунная, с обозначенным клином, DN80                   | KR11.02.080.16 Ф/Ф                                |               | ADL                | шт.              | 2    |                    |            |
| Задвижка запорная «Г» рамар», чугунная, с обозначенным клином, DN100                  | KR11.02.100.16 Ф/Ф                                |               | ADL                | шт.              | 2    |                    |            |
| Загвор дисковый поворотный с ручкой, DN65                                             |                                                   |               |                    | шт.              | 1    |                    |            |
| Кран для манометра трехходовой, DN15                                                  | VT.1807.RG                                        |               | Valtec             | шт.              | 2    |                    |            |
| Кран шаровой латунный с ручкой типа «бабочка», BP-BP, DN15                            | VT.217.N.04                                       |               | Valtec             | шт.              | 1    |                    |            |
| Кран шаровой латунный с рычагом из стали, BP-BP, DN65                                 | VT.214.N.09                                       |               | Valtec             | шт.              | 1    |                    |            |
| Кран шаровой полипропиленовый, DN20                                                   | VTp.743.0.020                                     |               | Valtec             | шт.              | 230  |                    |            |
| Кран шаровой полипропиленовый, DN25                                                   | VTp.743.0.025                                     |               | Valtec             | шт.              | 230  |                    |            |
| Кран шаровой Valtec Base с полусгоном DN15                                            | Valtec Base                                       |               | VALTEC             | шт.              | 1    |                    |            |
| Кран шаровой BH-HP DN15                                                               | VT.218.N.04                                       |               | Valtec             | шт.              | 230  |                    |            |
| Кран шаровый из нержавеющей стали BP-BP, DN15                                         | BV15.04.015.63 R/P                                |               | ADL                | шт.              | 1    |                    |            |
| Манометр с нижним подключением, диал. изм. 0-16 бар, DN15                             | TM-510P                                           |               | 3AO "РОСМА"        | шт.              | 2    |                    |            |
| Манометр с осевым подключением, диал. изм. 0-16 бар, DN15                             | TM-210T                                           | 8552          | 3AO "РОСМА"        | шт.              | 231  | 0.1                |            |
| Обратный клапан «Г» ранко» подъемный, фланцевый, чугунный, DN80                       | RD16.81.080.16 Ф/Ф с КОФ                          |               | ADL                | шт.              | 1    |                    |            |
| Обратный клапан «Г» ранко», DN100                                                     | CV16.01.100.16 М/Ф                                |               |                    | шт.              | 2    |                    |            |
| Распределительный коллекторный узел для водоснабжения на 10 подключений, в комплекте: | SWH-40-10-R-25-PRV111111111111-CV111111           |               | ООО САЕНТЕК ПРО    | к-т              | 23   | 2.235              |            |
| Счетчик холодной воды с импульсным выходом, турбинный, DN65                           | BCXHA-65                                          |               | АО "Тепловодогреп" | шт.              | 1    |                    |            |
| Фильтр механической очистки универсальный BP-BP, DN15                                 | VT.386.N.04                                       |               | Valtec             | шт.              | 230  |                    |            |

Рисунок 1 – Фрагмент параметрической таблицы спецификации

|                                                                      |                 |  |   |        |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|--|---|--------|
| Труба полипропиленовая PN10, Ø20x1,9                                 | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 1359,8 |
| Труба полипропиленовая PN10, Ø25x2,3                                 | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 519,8  |
| Труба полипропиленовая PN10, Ø32x3                                   | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 5,7    |
| Труба полипропиленовая PN10, Ø50x4,6                                 | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 0,1    |
| Труба полипропиленовая PN10, Ø63x5,8                                 | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 0,2    |
| Труба полипропиленовая PN10, Ø75x6,9                                 | ГОСТ 32415-2013 |  | М | 98,3   |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø15x2,8  | ГОСТ 3262-75    |  | М | 0,2    |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø32x3,2  | ГОСТ 3262-75    |  | М | 4,8    |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø50x3,5  | ГОСТ 3262-75    |  | М | 0,1    |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø65x4    | ГОСТ 3262-75    |  | М | 0,4    |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø80x4    | ГОСТ 3262-75    |  | М | 27,8   |
| Труба стальная водогазопроводная оцинкованная обыкновенная, Ø100x4,5 | ГОСТ 3262-75    |  | М | 0,4    |
| Труба стальная электросварная Ø219x6                                 | ГОСТ 10704-91   |  | М | 1,5    |

Рисунок 2 – Фрагмент параметрической таблицы спецификации труб

Свойства



ADL\_BV15.04.DN8-80.PN6,3-4,0.PP

Арматура трубопроводов (1)

Изменить тип

Зависимости

Уровень

Этаж 1

Отметка от уровня

1371,9

Строительство

Классификатор\_Конструкция

Классификатор\_Материал

Классификатор\_Параметры

Классификатор\_Характеристика\_материала

Цена\_за\_работу

Цена\_материала

РПК\_Шифр

Группировка работ

Этап строительства

Секция работ

Этаж работ

Тип работ

Код ДДС

Классификатор\_Секция

Классификатор\_Этаж

Графика

Использовать масштаб аннотаций

☐

Текст

ИмяСистемы\_Текст

А5\_Позиция

Система

Р1\_Группирование

В1

Размеры

Высота логотипа

s1

r1

s

r

g

dugo

b2

b1

b

S1

S

RS1

R

Lkof

L1

L

H3

H2

H1

H

G

Dugo

C

B4

B3

B2

8,0

5,6

7,6

12,1

7,5

7,9

7,9

3,8

4,5

3,0

11,1

24,2

5,6

0,8

47,6

15,9

63,5

3,8

3,0

23,5

53,0

18,6

23,8

13,5

17,0

7,6

15,0

Рисунок 3 – Семейство шарового крана Valtec VT.218.N.04



Существенным преимуществом является то, что при изменении трассировки труб или корректировке параметров системы все значения в спецификациях пересчитываются автоматически, исключая необходимость повторного ручного анализа.

Запорно-регулирующая арматура выполняет функции отключения отдельных участков системы, регулирования расхода воды и обеспечения безопасной эксплуатации водопроводных сетей. В информационной модели Revit арматура представлена семействами с заданными типоразмерами, условными проходами и расчетными характеристиками.

С помощью спецификаций возможно сформировать структурированный перечень всей арматуры системы водоснабжения с указанием наименования изделия, условного прохода, номинального давления, количества элементов [3]. Полученные данные позволяют проводить контроль полноты и корректности принятых проектных решений, а также использовать спецификации в качестве основы для формирования ведомостей оборудования и материалов. Таким образом, спецификации становятся инструментом не только

оформления, но и инженерного анализа системы (рисунок 3) [4].

Приборы учета воды являются обязательным элементом систем водоснабжения и подлежат обязательному учету при проектировании. В Revit водосчетчики моделируются как отдельные семейства, содержащие параметры, характеризующие их метрологические и эксплуатационные свойства (рисунок 4).

Использование спецификаций позволяет определить количество и типы приборов учета, проверить соответствие их диаметров и диапазонов расходов расчетным значениям, а также обеспечить корректное отображение данных в проектной документации. На основе спецификаций возможно выполнение предварительного анализа правильности выбора приборов учета без привлечения сторонних расчетных программ (рисунок 5).

Применение спецификаций при проектировании систем водоснабжения обеспечивает ряд существенных преимуществ: снижение трудоемкости подготовки проектной документации; повышение точности подсчета материалов и оборудования; оперативное внесение изменений в проект; улучшение качества контроля проектных решений (рисунок 6).

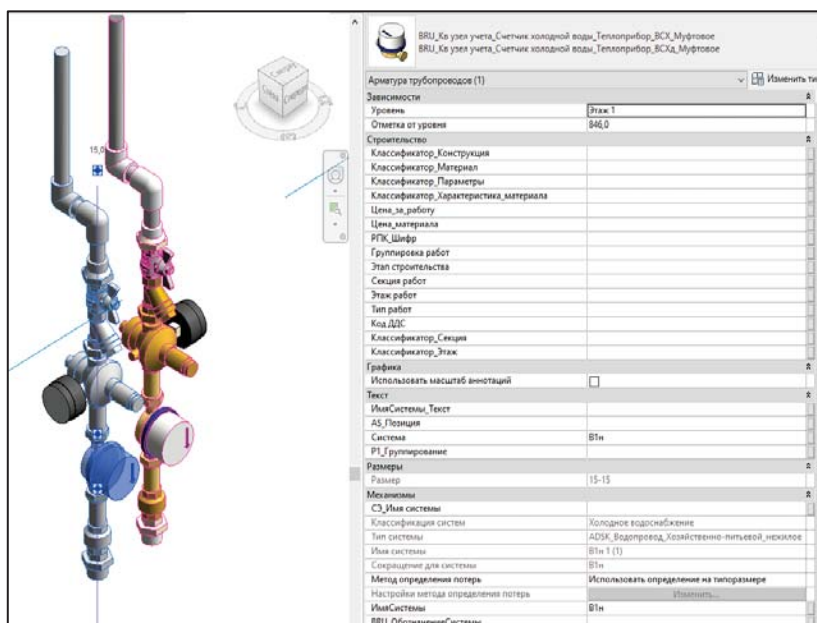


Рисунок 4 – Семейство счетчика ХВС и ГВС с импульсным выходом АО «Тепловодемер»

|                                                              |          |                   |     |   |
|--------------------------------------------------------------|----------|-------------------|-----|---|
| Счетчик горячей воды с импульсным выходом, DN15              | ВСГд-15  | АО «Тепловодемер» | шт. | 6 |
| Счетчик холодной воды с импульсным выходом, DN15             | ВСХд-15  | АО «Тепловодемер» | шт. | 6 |
| Счетчик холодной воды с импульсным выходом, крыльчатый, DN15 | ВСХНд-15 | АО «Тепловодемер» | шт. | 1 |
| Счетчик холодной воды с импульсным выходом, крыльчатый, DN25 | ВСХНд-25 | АО «Тепловодемер» | шт. | 1 |
| Счетчик холодной воды с импульсным выходом, турбинный, DN65  | ВСХНд-65 | АО «Тепловодемер» | шт. | 1 |

Рисунок 5 – Фрагмент параметрической таблицы спецификации счетчиков



## ПОЛУЧЕНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА СВЕТЛЫХ ТОНОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

**А. В. Викторов, К. П. Черных**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Данное исследование имело своей целью нивелировать конкурентные преимущества автоклавного газобетона относительно неавтоклавного, такие как цветовые и прочностные показатели. Такие требования диктует рынок газобетона – в связи с выявленным в ходе маркетинговых исследований фактом, что газобетон белых и светлых оттенков более высоко востребован и лучше продается. Предварительно были исследованы основные свойства сырьевых материалов – портландцемента различных производителей и нескольких вариантов песка для строительных работ. Портландцемент испытывали в соответствии с требованиями ГОСТ 30744-2001 (по методике с полифракционным песком), определялась группа эффективности при пропаривании. Пески испытывали в соответствии с методикой ГОСТ 8735-88, определяли следующие показатели: зерновой состав, модуль крупности. Были подобраны составы неавтоклавного теплоизоляционно-конструкционного газобетона, который сопоставим по светлосте и прочности с автоклавным газобетоном. Результаты исследований представлены в таблице.*

**Ключевые слова:** газобетон, автоклавный газобетон, неавтоклавный газобетон, алюминиевая пудра, гидроксид натрия, портландцемент, песок, мытый песок, мел, минеральный порошок, цветовые показатели, прочностные показатели, пластификаторы, ускорители твердения.

На сегодняшний день основным стеновым материалом для гражданского строительства, кроме кирпича, древесины и железобетона стал газобетон. История производства газобетона началась в Европе, точнее в Швеции около 100 лет.

Если сравнивать объёмы производства газобетона в Европе и России, то в настоящее время в Европе более 50% всех зданий строятся из газобетона, а в России доля использования газобетона оценивается в 30-35%. Но в России наблюдается тенденция роста использования газобетона для индивидуального жилищного домостроения, в связи с развитием государственных социальных программ по поддержке жилищных условий молодых и многодетных семей.

Но почему же строители выбирают газобетон в качестве стенового материала? Эффективно этот выбор обусловлен в первую очередь малой стоимостью, как при строительстве, так и при эксплуатации таких зданий. А точнее это легкость и скорость монтажа, то есть возможность обработки и резки материала с помощью ручной ножовки, а сроки строительства сокращаются в несколько раз по сравнению с кирпичом. Для молодых семей это особенно актуально. Основными преимуществами при эксплуатации таких зданий являются высокий показатель звукоизоляции стен, отсутствие вредных примесей

для человека и высокий коэффициент паропроницаемости (т.е. стены дышат, как говорят строители, газобетон – это искусственное дерево), а также высокая огнестойкость (пожаробезопасность) в отличие от дерева. При всём этом главным преимуществом газобетона является низкая теплопроводность при достаточной прочности материала стены. Так, толщина стены, по показателю теплозащиты для сибирского региона, из газобетона с маркой по плотности D600 составляет всего 0,51 м, в отличие от стены из полнотелого керамического кирпича – 2,4 м. Это сокращает материалоемкость и объёмы работ почти в 5 раз [1, 2].

Однако нужно разделять рынок газобетона на два направления, которые отличаются по технологии производства газобетона или способу твердения:

- автоклавный, который твердеет при избыточном давлении (0,8-1,3 МПа) и повышенной температуре (170-210°C). Применение автоклавной обработки позволяет получить более прочный и светлый газобетон;

- неавтоклавный, предусматривает естественное твердение или тепло-влажностную обработку с использованием теплового воздействия при атмосферном давлении (при температуре около 90°C).

Автоклавный и неавтоклавный газобетоны конкурируют между собой. Каждый из



## ПОЛУЧЕНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА СВЕТЛЫХ ТОНОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

данных видов имеет свои достоинства и недостатки. При сравнении свойств газобетонов среднего производителя по Барнаулу мы увидим, что при одинаковой плотности этих видов, прочность автоклавного газобетона будет выше примерно на один класс по прочности, но есть и минус автоклавного газобетона относительно неавтоклавного, так автоклавный газобетон более гигроскопичен и менее водостоек. И если бы удалось объединить достоинства обоих видов газобетона в неавтоклавном, то такой вид газобетона был бы вне конкуренции.

### Цель исследования

Данное исследование имеет своей целью нивелировать конкурентные преимущества автоклавного газобетона относительно неавтоклавного, такие как цветовые и прочностные показатели. То есть, подобрать состав неавтоклавного теплоизоляционно-конструкционного газобетона, который был бы сопоставим по светлости и прочности с автоклавным газобетоном.

### Описание решаемой задачи

Для осуществления такого подбора состава неавтоклавного газобетона необходимо было провести исследования в несколько этапов.

На первом этапе исследования был произведён поиск наиболее подходящих сырьевых

материалов для получения неавтоклавного газобетона светлых тонов.

В качестве вяжущего были выбраны цементы типа ЦЕМ I Искитимского, Топкинского и Голухинского цементных заводов.

В качестве заполнителя выбрали кварцевый мытый песок, боровой карьерный песок и речной полевошпатовый песок. Газообразователь – алюминиевая пудра ПАП-1, известь комовая (3 сорт), гидроксид натрия гранулированный технический (NaOH).

А также добавки: сульфат натрия, хлорид кальция в качестве ускорителя набора прочности; диоксид титана, минеральный порошок неактивированный МП-2, мел (побелка меловая Axton) для достижения светлых тонов газобетона; базальтовое фиброволокно для объёмного армирования и суперпластификатор.

До начала исследований была произведена проверка качества и подготовка сырьевых компонентов, в результате которой было выявлено, что:

- прочность при сжатии после пропаривания портландцемента: «Искитим» 31,8 МПа, «Топки» 32,4 МПа, «Голуха» 32,5 МПа;
- модуль крупности песка: кварцевый мытый 1,4; боровой карьерный 0,9; речной полевошпатовый 1,3.

Таблица 1 – Результаты исследования (лучшие составы)

| № со-<br>става | Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup> |     | Высота<br>вспучивания,<br>% | Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Прочность че-<br>рез 28 суток,<br>МПа | Прочность че-<br>рез 20 меся-<br>цев, МПа |
|----------------|---------------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1              | Вода                                  | 250 | 110                         | 600                             | 1,15                                  | 1,50                                      |
|                | Известь                               | 12  |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Цемент ЦЕМ I «Голуха»                 | 340 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Песок кварцевый                       | 160 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Al– пудра (ПАП-1)                     | 1   |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | CaCl <sub>2</sub>                     | 2,5 |                             |                                 |                                       |                                           |
| 2              | Вода                                  | 275 | 103                         |                                 | 0,94                                  | 1,20                                      |
|                | Известь молотая                       | 16  |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Цемент ЦЕМ I «Топки»                  | 340 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Песок боровой                         | 260 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Al – пудра (ПАП-1)                    | 1   |                             |                                 |                                       |                                           |
|                |                                       |     |                             |                                 |                                       |                                           |
| 3              | Вода                                  | 250 | 104                         |                                 | 1,12                                  | 1,40                                      |
|                | Известь молотая                       | 30  |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Цемент ЦЕМ I «Голуха»                 | 340 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Песок речной                          | 260 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Al - пудра (ПАП-1)                    | 0,9 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                |                                       |     |                             |                                 |                                       |                                           |
| 4              | Вода                                  | 250 | 105                         |                                 | 0,90                                  | 1,18                                      |
|                | Известь молотая                       | 30  |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Цемент ЦЕМ I «Искитим»                | 340 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Песок боровой                         | 260 |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Al – пудра (ПАП-1)                    | 1   |                             |                                 |                                       |                                           |
|                | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>       | 3,4 |                             |                                 |                                       |                                           |

- боровой песок требовал дополнительного просева через сита 1,25 мм и 0,2 мм из-за большой примеси пылевидных и глинистых частиц.

Далее производили подборы составов газобетона и их анализ для выявления требуемых характеристик, установленных заказчиком, т.е. в конечном итоге получение неавтоклавного газобетона светлых тонов, по внешнему виду схожего с автоклавным – изготовленным на основе извести и молотого кварцевого песка.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

#### Обсуждение и выводы

1. Наилучшие параметры (по светлости, прочности и срокам схватывания) неавтоклавного газобетона обеспечивает использование цемента Голухинского цементного завода в качестве вяжущего для газобетона, по сравнению с другими цементами.

Как следует из данных, представленных на рисунке 1, самый темный оттенок газобетона получился на основе портландцемента «Топки», средней светлости – «Искитим», самый светлый – «Голуха». Таким образом, определяющее влияние на цвет готового газобетона оказывает производитель цемента.

2. У составов на речном или боровом песке нет разницы в цвете, но конечная прочность состава с речным песком выше.

3. При изготовлении газобетона на речном песке, вместо борового, необходимо снижать расход воды (в пределах 8%).

4. Боровой песок требует просева через сита 1,25 и 0,2 мм из-за большой примеси пыли и глины.

5. Использование мела при частичной замене песка должно быть в пределах от 10 до 15% по массе от количества цемента, это даёт заметное осветление как смеси, так и распалубленных образцов газобетона.

На фотографии (рисунок 2) образцы РМ15, где 15% песка заменили мелом, выглядят намного светлей, чем цементно-песчаные образцы Р1.

6. Использование извести вместо каустика не даёт изменение цвета образцов (возможно, из-за низкого сорта извести).

7. Минеральный порошок МП-2 и мел оказывают одинаково заметное влияние на формирование ячеистой структуры без заметного оседания газомассы после вспучивания.

Этот эффект можно наблюдать на фотографии (рисунок 3), на составах с мелом М10, М15 и М20 (содержание мела 10, 15 и 20% соответственно). Но при этом увеличивается

водопотребность и снижается конечная прочность газобетона.



6а – «Голуха», 6 – «Искитим», 6б – «Топки»

Рисунок 1 – Фото образцов газобетона на основе различных цемента



Рисунок 2 – Сравнение цветов образцов газобетона (без мела / с 15% мела)



Рисунок 3 – Фото оседания газомассы различных составов

## ПОЛУЧЕНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА СВЕТЛЫХ ТОНОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Для уменьшения данного эффекта необходимо использовать добавку пластификатор С-3 (0,5%) с уменьшением расхода воды на 20% (при введении С-3 более 1% наблюдается оседание массива с пробуккиванием (вскипанием) газа из газомассы за счёт расслоения).

8. Добавка ускорителя сульфата натрия в количестве 1% ускоряет набор пластической прочности (схватывание) газомассы, а также ускоряет её вспучивание.

9. Добавка ускорителя хлорида кальция в количестве 1-1,4% ускоряет набор конечной прочности, но значительно замедляет вспучивание газомассы (но при введении добавки в смесь вместе с Al пудрой вспучивание проходило нормально).

10. На данный момент требуются испытания некоторых цементно-известково-песчаных составов газобетона с добавкой С-3, т.к. только с пластификатором можно достичь марочной прочности. Но при этом возможно оседание газомассы (за счёт гидрофобизации извести и цемента от С-3, т.е. замедление гидратации и схватывания). Поэтому необходимо рассматривать варианты введения С-3 отдельно в конце перемешива-

ния смеси, а не с водой затворения, а также введение С-3 комплексно с ускорителем сульфата натрия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажнев, Н. П. Производство, свойства и применение ячеистого бетона неавтоклавного твердения / Н. П. Сажнев, Н. К. Шелег, Н. Н. Сажнев // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 2-6

2. Баранов, И. М. Новые эффективные строительные материалы для создания конкурентных производств / И. М. Баранов // Строительные материалы. – 2001. – № 2. – С. 26-28

**Викторов Артем Владимирович**, – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: viktorovav@altgtu.ru;

**Черных Константин Павлович**, – к.т.н., преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: chernyhkp@altgtu.ru.



# ВИНТОВЫЕ СВАИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**В. М. Гальчин, И. В. Носков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен систематизированный обзор современного состояния исследований и практики применения винтовых свай. Отмечены экологические и экономические преимущества технологии, а также тренды цифровизации - BIM-проектирование, автоматизированный монтаж, «умные» фундаменты. Выявлены проблемы в российской нормативной базе.*

**Ключевые слова:** винтовые сваи, обзор, технологии монтажа, практика применения, перспективы развития.

Идея винтового фундамента восходит к 1830-м годам, когда инженеры Дж. Мур и А. Митчелл впервые применили винтовые сваи для строительства маяков в прибрежных зонах Великобритании. Уже в XIX веке технология распространилась на мосты, причалы и военные укрепления.

Однако широкое применение стало возможным лишь в XXI веке благодаря развитию металлургии, точного металлообрабатывающего оборудования и мобильной техники для поопогружения винтовых свай [1].

Винтовые сваи – один из наиболее перспективных типов фундаментов, сочетающий технологичность, экологичность и адаптивность к сложным условиям строительства. Несмотря на историю, насчитывающую почти 200 лет, массовое применение они получили лишь в XXI веке. В России интерес к технологии растёт, особенно в условиях расширения малоэтажного и модульного строительства, а также освоения арктической зоны. Однако научное и нормативное сопровождение отстаёт от практики. Винтовые сваи обладают высокими преимуществами: они проще в изготовлении и монтаже, не зависят от погодных условий, а также являются более экологичными. Несмотря на это, винтовые сваи не пользуются большой популярностью, уступая традиционным видам фундамента.

Основным сдерживающим фактором применения таких свай является недостаточная изученность их работы и отсутствие нормативной базы. Согласно аналитическим данным (Grand View Research, 2024), мировой рынок винт-овых свай растёт со среднегодовым темпом 6,8%, а в России – более чем на 12% ежегодно (по оценкам Ассоциации производителей винтовых свай, 2023

[2]). Это связано с ростом малоэтажного строительства, программой «Комфортная городская среда», а также освоением арктической зоны, где традиционные фундаменты неэффективны.

Несмотря на растущую популярность, винтовые сваи остаются недостаточно представленными в российских нормативных документах в качестве основного решения для ответственных сооружений [3, 4].

Цель настоящей статьи – систематизировать современные знания, обобщить международный и отечественный опыт, выявить научные и нормативные пробелы и наметить пути развития технологии.

**Современные винтовые сваи классифицируют по нескольким признакам:**

1) По числу лопастей: одно-, двух- и многолопастные (рисунок 1). Однолопастные применяются в плотных грунтах, многолопастные – в слабых, насыпных или илистых грунтах для равномерного распределения нагрузки.



Рисунок 1 – Винтовые сваи со сварным наконечником

## ВИНТОВЫЕ СВАИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ



Рисунок 2 – Винтовые сваи с литым наконечником



Рисунок 3 – Монтажное ручное оборудование

2) По диаметру ствола и лопастей: от 48 мм (для лёгких заборов) до 325 мм и более (для промышленных объектов и ЛЭП).

3) По типу наконечника: литой (моноконтный), сварной или съёмный. Литые наконечники обладают повышенной прочностью и применяются при ввинчивании в плотные или каменистые грунты (рисунок 2).

4) По назначению:

- компрессионные – воспринимают вертикальные сжимающие нагрузки;
- анкерные (растягивающие) – используются для крепления оттяжек, подпорных стен;
- комбинированные – работают одновременно на сжатие и выдергивание.

Также выделяют уширенные (с увеличенной лопастью на конце) и составные (сегментные) сваи, собираемые на месте для достижения большой глубины погружения.

Винтовые сваи представляют собой стальные трубы с приваренными спиральными лопастями. Несущая способность определяется в основном опорным давлением под лопастью.

В России расчёт производится по СП 24.13330.2011. Несущую способность  $F_d$ , кН, винтовой сваи диаметром лопасти  $d \leq 1,2$  м и длиной  $l \leq 10$  м, работающей на сжимающую или выдергивающую нагрузку, следует определять по формуле (7.15 СП 24.13330.2011),

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 1 2026

а при диаметре лопасти  $d > 1,2$  м и длине сваи  $l > 10$  – только по данным испытаний винтовой сваи статической нагрузкой.

Монтаж винтовых свай – ключевой этап, определяющий надёжность и долговечность фундамента.

В отличие от забивных или буронабивных свай, ввинчивание осуществляется без разрушения структуры грунта, что минимизирует осадки и позволяет выполнять работы в стеснённых условиях.

Технологический процесс включает несколько этапов: подготовку, погружение, контроль и окончательную обработку.

### Этапы монтажа:

1) Разбивка и подготовка площадки.

Перед началом работ выполняется геодезическая привязка осей здания в соответствии с проектом. Удаляется растительный слой (при необходимости), выравнивается поверхность. На участках с плотными или каменистыми грунтами проводится пробное ввинчивание для оценки проходимости.

2) Предварительное позиционирование.

Свая устанавливается в вертикальное положение с помощью монтажной техники или вручную (для лёгких свай). Точность установки контролируется оптическим или лазерным уровнем.

3) Ввинчивание.

- Основной этап – вращение сваи с одновременным приложением вертикального усилия. Важно обеспечить равномерное вращение без ударных нагрузок, чтобы избежать деформации лопастей.

Глубина погружения определяется проектом и контролируется по фактическому сопротивлению грунта (крутящий момент).

- Обрезка и выравнивание.

После достижения проектной отметки или необходимого крутящего момента сваи обрезаются до единого уровня (с помощью газорезки или абразивного диска). Отклонение по высоте не должно превышать  $\pm 20$  мм.

- Заполнение и обработка.

Полость ствола заполняется бетоном (марки не ниже В15) или антикоррозионным составом для предотвращения внутренней коррозии. Оголовки привариваются или устанавливаются на болтовых соединениях.

Классификация монтажного оборудования:

- ручные монтажные рычаги: применяются для лёгких конструкций (заборы, террасы). Диапазон диаметра сваи до 89 мм (рисунок 3).

- мини-установки на базе УАЗ, ГАЗ: применяются для ИЖС, дачное строительство.



Рисунок 4 – Монтажное механизированное оборудование

Диапазон диаметра свай от 57 до 159 мм (рисунок 4).

- гидравлические сваевёрты на экскаваторах: применяются в промышленном строительстве, ЛЭП. Диапазон диаметра свай от 89 до 325 мм (рисунок 4).

- стационарные сваевёртные комплексы: используются при возведении крупных инфраструктурных объектов (портовые сооружения, ветропарки). Диапазон диаметра свай до 610 мм.

Современные установки оснащаются электронными системами мониторинга, фиксирующими в реальном времени:

- крутящий момент (Н·м);
- скорость вращения (об/мин);
- глубину погружения (м);
- угол отклонения от вертикали.

**Особенности монтажа в сложных условиях:**

- Вечная мерзлота: сваи ввинчиваются без предварительного прогрева грунта, что сохраняет его температурный режим. Рекомендуется использовать сваи с литыми наколками для преодоления ледяных включений.

- Скальные и крупнообломочные грунты: при встрече с препятствием сваю можно слегка наклонить или сместить на 10-15 см (с согласованием в проекте).

- Урбанизированная застройка: монтаж выполняется без вибраций и шума, что позволяет работать вблизи жилых домов и исторических зданий.

- Зимний период: технология применима при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$ , так как не требует бетонных работ.

Контроль качества монтажа: согласно ГОСТ Р 58327-2018 и СП 45.13330.2017, контроль включает:

- визуальный осмотр свай на наличие повреждений цинкового покрытия;
- проверку вертикальности (допуск  $\pm 2^{\circ}$ );
- фиксацию крутящего момента для каждой сваи;
- выборочное (не менее 3%) статическое испытание вытаскиванием или вдавливанием.

Отклонения от проектных параметров (например, преждевременное «запирание» свай) требуют корректировки проекта: увеличения числа свай или перехода на другой тип.

Перспективные методы монтажа:

- Автоматизированный монтаж с GPS или ГЛОНАСС: точность установки до  $\pm 10$  мм, интеграция с BIM-моделью.
- Роботизированные сваевёрты: применяются в Канаде и Германии для возведения модульных ферм и ветропарков.
- Беспилотный мониторинг: дроны фиксируют ход работ и генерируют отчёт о выполнении.

Таким образом, технология монтажа винтовых свай сочетает высокую степень механизации, гибкость в сложных условиях и точный контроль параметров, что делает её одной из самых адаптивных в современном фундаментостроении.

**Опыт применения винтовых свай в России и за рубежом.**

В Канаде и на Аляске винтовые сваи применяются с 1970-х годов для жилых домов на вечной мерзлоте.

Компания «Chance» (США) поставляет сваи диаметром до 610 мм для мостов и портов.

В Германии и Нидерландах технология используется в реконструкции исторических зданий благодаря минимальной вибрации.

В России массовое применение началось в 2010-х годах. Основные производители – «Старк», «ТехноСвая», «Винтовые сваи Плюс». Однако до сих пор отсутствуют крупные инфраструктурные проекты с применением винтовых свай, что связано с консерватизмом проектных организаций и пробелами в нормативах (таблица 1).

**Долговечность винтовых свай.**

Основной риск – коррозия. По зарубежному опыту при горячем цинковании (толщина покрытия  $\geq 80$  мкм) срок службы превышает 75 лет в большинстве грунтов умеренного климата.



## ВИНТОВЫЕ СВАИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 1 – Сравнение нормативных подходов к проектированию винтовых свай

| Страна | Документ                            | Особенности                                              |
|--------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| РФ     | СП 24.13330.2011, ГОСТ Р 59106-2020 | Общие положения; нет методик для многолопастных свай     |
| США    | ICC-ES AC308                        | Обязательны полевые испытания                            |
| Канада | CHSRA Guidelines                    | Учёт мерзлоты, сейсмичности, циклических нагрузок        |
| ЕС     | EN 1997-1 + нац. приложения         | Фрагментарное регулирование; отсутствует единый стандарт |

В РФ недостаточно долгосрочных наблюдений, особенно в агрессивных условиях. Работы российских исследователей подчёркивают необходимость локальной оценки коррозионной активности грунта по ГОСТ 9.602.

### Экология и цифровизация.

LCA-анализы показывают снижение углеродного следа на 30-50% по сравнению с буронабивными сваями. Внедряются BIM-модели (Revit), GPS-мониторинг монтажа, а также экспериментальные «умные» сваи с датчиками (Канада, Германия).

### Выводы:

1. Винтовые сваи – технологически зрелое решение с высоким потенциалом для устойчивого строительства, как гражданского, так и промышленного.

2. Российская нормативная база (СП 24.13330.2011) требует дополнения специализированными методиками расчёта многолопастных свай и долговечности в агрессивных грунтах.

3. Необходимы долгосрочные мониторинговые исследования коррозии в различных климатических зонах РФ.

4. Перспективны интеграция с BIM-технологиями, применение «умных» датчиков и расширение использования в инфраструктурных проектах (ЛЭП, ветропарки, модульные школы и ФАПы).

5. Важно развивать отечественную научно-техническую базу: лабораторные и полевые испытания, публикации в рецензируемых журналах, подготовку кадров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перко, Х. А. Винтовые сваи: практическое руководство по проектированию и установке / Х. А. Перко. – М. : Техносфера, 2015. – 288 с.
2. Ассоциация производителей винтовых свай. Аналитический отчёт о рынке РФ. – М., 2023.
3. Носков, И. Применение винтовых свай для устройства фундаментов шумозащитных экранов в сложных инженерно-геологических условиях регионов [Электронный ресурс] / И. В. Носков, К. А. Вагнер. – Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 2018. – Режим доступа: [http://elibrary.altstu.ru/journals/Files/pa2018\\_02/pdf/144Noskov.pdf](http://elibrary.altstu.ru/journals/Files/pa2018_02/pdf/144Noskov.pdf).
4. Носков, И. В. Современное состояние, проблемы применения винтовых свай в строительстве / И. В. Носков, А. Г. Суртаев, С. А. Ананьев // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 1-10.

**Гальчин Владислав Михайлович** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [vladislav.galchin@yandex.ru](mailto:vladislav.galchin@yandex.ru);

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [noskov.56@mail.ru](mailto:noskov.56@mail.ru).

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СТЕН С УЧЕТОМ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Ю. В. Гильмиярова, Д. Д. Шуба

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен комплексный анализ современных стеновых материалов с позиций строительной теплофизики. Рассмотрены ключевые теплотехнические характеристики материалов: теплопроводность, теплоемкость, паропроницаемость и их зависимость от влажностного режима эксплуатации. Проведен сравнительный анализ традиционных материалов (кирпич, газобетон, дерево). Особое внимание уделено влиянию влажности на теплопроводность материалов и проблеме тепловых мостов в ограждающих конструкциях. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании энергоэффективных зданий и выборе оптимальных стеновых материалов для конкретных климатических условий.*

**Ключевые слова:** теплотехническая физика, стеновые материалы, теплопроводность, влажностный режим, тепловая инерция, тепловые мосты, энергоэффективность.

В современной строительной индустрии представлен широкий выбор стройматериалов, каждый из которых характеризуется своими уникальными тепловыми свойствами. Тем не менее, принятие оптимального решения для конкретного строительного проекта требует всестороннего подхода, базирующегося на сопоставлении таких ключевых параметров, как теплопроводность, теплоёмкость, влагопоглощение и ряда других важных показателей. При этом крайне важно учитывать взаимосвязь между характеристиками материалов и условиями их применения, что подразумевает анализ климатических особенностей региона и специфики местного строительства.

Целью данного исследования является сравнение и анализ наиболее эффективных комбинаций основных строительных материалов, соответствующих современным требованиям к строительству, с целью предотвращения конденсации влаги, а также с учетом будущих затрат на теплопотери и стоимости материалов для строительства одного квадратного метра.

В задачи исследования входит:

1. Проведение сравнительного анализа коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и плотности основных материалов, применяемых при строительстве стен (таких как кирпич, блоки, дерево, изоляционные материалы и др.).
2. Изучение методов повышения теплоизоляционных свойств стен.
3. Разработка рекомендаций по выбору материалов для строительства стен, исходя из теплотехнических требований и условий

эксплуатации зданий, на основе проведенного анализа.

Работа включает оценку эффективности существующих решений и поиск оптимальных сочетаний материалов, способствующих повышению энергетической эффективности зданий. Результаты исследования могут оказать существенное влияние на практику проектирования и строительства, предлагая обоснованные рекомендации по выбору наиболее подходящих материалов, учитывая условия эксплуатации.

Объектом исследования являются строительные материалы для возведения стен, а предметом – их теплотехнические характеристики и физические свойства. Научная новизна заключается в разработке рекомендаций для оценки теплофизических свойств разнообразных материалов, учитывающих не только их теплотехнические параметры, но и финансовые издержки на теплопотери и закупку материалов.

Теплопроводность (коэффициент  $\lambda$ , Вт/(м·°C)) является основной характеристикой, определяющей способность материала проводить тепло. Чем ниже этот коэффициент, тем лучше материал сохраняет тепло. Однако при анализе материалов важно понимать, что значение теплопроводности, указываемое производителями в сухом состоянии, может существенно отличаться от реальных эксплуатационных показателей [1].

Исследования, проведенные на образцах автоклавного газобетона от трех крупнейших производителей, показали, что фактические теплофизические характеристики в большинстве случаев не совпадают с заяв-

ленными значениями [1]. Это расхождение приводит к увеличению трансмиссионных теплопотерь через наружные стены и перерасходу тепловой энергии на отопление.

Тепловая инерция – способность материала накапливать тепло и постепенно его отдавать — характеризует стабильность температурного режима в помещении. Колебания температуры внутренней поверхности стены не должны превышать 2°C независимо от суточных колебаний наружной температуры [2].

Наилучшими показателями теплоемкости обладает натуральная древесина, за ней следуют ячеистый бетон, керамзитобетон, керамический и силикатный кирпич [2]. Материалы с высокой тепловой инерцией обеспечивают комфортный микроклимат: в жаркие летние дни в помещениях сохраняется прохлада, а в зимний период – устойчивое тепло.

Важным параметром является также скорость остывания стены. Чем быстрее остывает наружная стена, тем чаще приходится включать систему отопления для поддержания комфортной температуры, что увеличивает эксплуатационные расходы [2].

Паропроницаемость – способность материала пропускать водяной пар – критически важна для обеспечения долговечности конструкции и здорового микроклимата. «Дышащие» материалы (минеральная вата, газобетон, дерево) позволяют избежать накопления влаги в толще стены, тогда как паронепроницаемые материалы (пенополистирол, PIR) требуют организации эффективной вентиляции [3].

Влажностный режим определяет эксплуатационно-технические характеристики ограждающих конструкций, включая долговечность, и непосредственно влияет на теплозащитные свойства [4]. При увеличении влажности материала его теплопроводность возрастает, поскольку вода ( $\lambda \approx 0,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) замещает воздух ( $\lambda \approx 0,026 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) в порах материала.

На сегодняшний день компьютерные технологии и строительство тесно связаны между собой. В частности, ряд некоторых программ позволяют провести верные расчеты и указать на правильность выбранных материалов. В частности, данная работа базируется на использовании **smartcalc** – теплотехнического калькулятора.

Итак, сетевой ресурс **smartcalc** является помощником для тех, кто желает строить или уже возводит дом. Роль ресурса: помощь в выборе конструктивных решений огражда-

ющих конструкций и подбор материалов с точки зрения теплотехнических показателей разрабатываемых конструкций.

Теплотехнический расчет представлен на примере Алтайского края г. Барнаула. Помещение – малоэтажное жилое помещение, с внешней ограждающей конструкцией – стеной.

Температура в помещении составляет 24°C, а за пределами стены – -35°C (приближенная температура в самые холодные дни).

Таким образом, учтем ряд требований для возведения стен с учетом графического анализа материалов и их взаимосвязи.

**Газобетон** является наиболее массовым материалом для строительства частных домов в России и странах СНГ [5]. Его популярность обусловлена оптимальным сочетанием цены, теплоизоляционных характеристик и технологичности.

Рассмотрим возведение стены на основе автоклавного газобетона, толщиной 300 мм. При строительстве также будем учитывать цементно-перлитовый раствор 10 мм. В процессе исследования обнаруживается формирование области конденсации непосредственно внутри структуры газобетона. Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

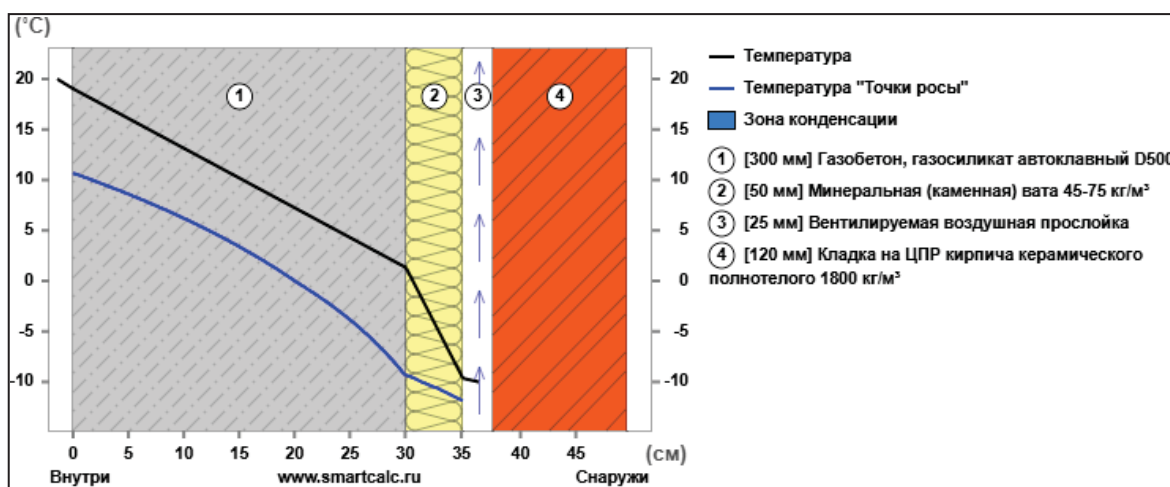
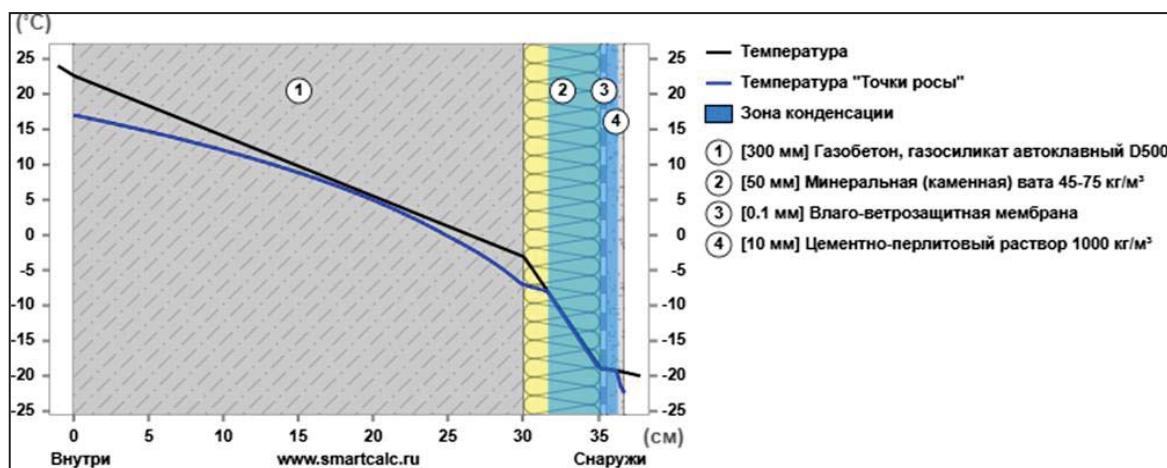
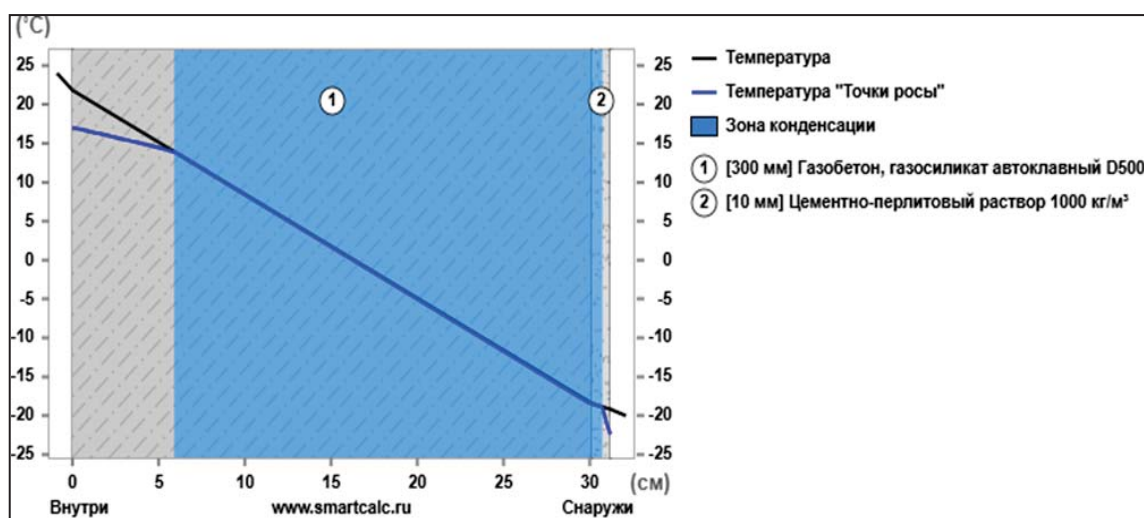
Если возвести стену из автоклавного газобетона и ее оштукатурить, то зона конденсации пройдет по всей стене. В случае применения минеральной ваты в качестве утеплителя толщиной 50 мм, совместно с использованием влаго-ветрозащитной мембраны, сохраняется возможность появления конденсата.

Использование минеральной ваты с последующим нанесением штукатурки приводит к тому, что конденсат образуется непосредственно внутри слоя минеральной ваты.

Оптимальным выбором для возведения и утепления стен, предотвращающим накопление влаги в автоклавном газобетоне, является комбинация: кладка из цельного силикатного или керамического кирпича толщиной 250 мм, слой автоклавного газобетона в 300 мм и финальное покрытие из цементно-перлитовой штукатурки толщиной 10 мм (рисунки 3).

**Керамический кирпич** находит широкое применение в строительной сфере. Его используют при возведении как несущих конструкций, так и ненесущих стен, внутренних перегородок, а также для оформления наружных фасадов зданий жилого и общественного назначения.





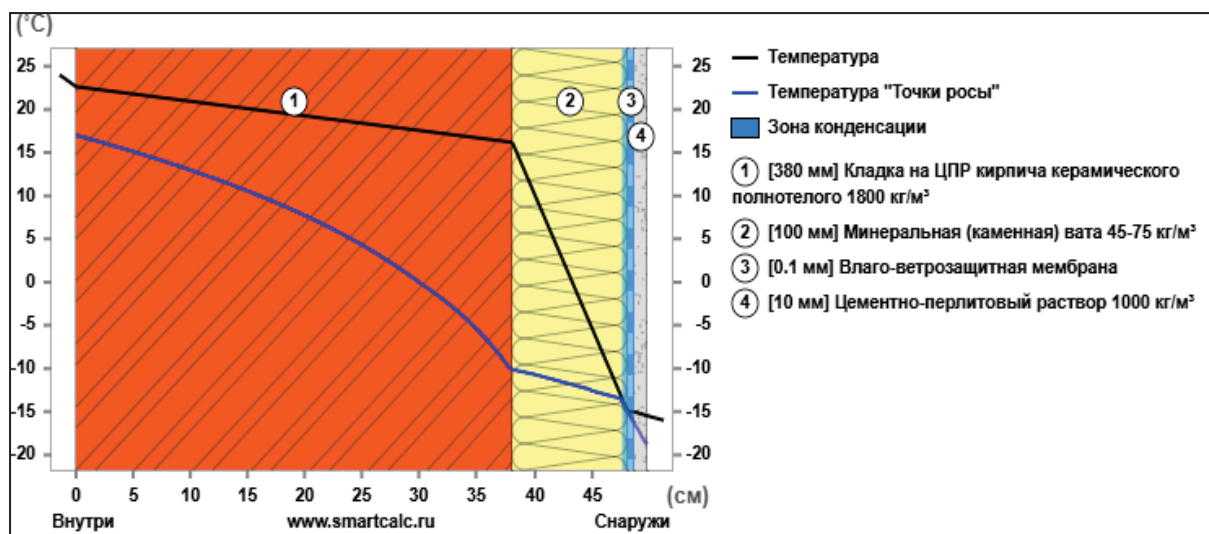


Рисунок 4 – Тепловая защита с учетом сопротивления теплопередаче: 3,37 (м²·°C)/Вт

Кроме того, данный материал востребован для облицовки фасадных частей строений, формирования разнообразных малых архитектурных объектов, таких как садовые тропинки, ограждения, колонны, а также для создания различных декоративных элементов.

Рассмотрим возведение внешней ограждающей конструкции с учетом кладки в 1,5 керамического кирпича и минеральной ваты в 100 мм. Это значение рассчитано для стандартного одинарного кирпича размером 250×120×65 мм.

Стоит заметить, что зона конденсации образуется на поверхности мембраны и штукатурки. Что влечет за собой отслоение раствора от мембраны, по которой стекает влага (рисунок 4). Однако, учитывая расчеты, ограждающая конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите. А также ограждающая конструкция удовлетворяет нормам по тепловой защите при условии выполнения требований к удельному расходу энергии зданием.

Использование в качестве наружного слоя лицевого кирпича и создание воздушной прослойки, позволяет получить конструкцию с высокими теплотехническими характеристиками и отсутствием зоны конденсата.

Достоинства: высокая тепловая инерция – кирпичный дом медленно нагревается, но и медленно остывает, что обеспечивает стабильный температурный режим при постоянном проживании [5].

Недостатки: высокая теплопроводность, необходимость усиленного фундамента из-за

большого веса, образование тепловых мостов в кладочных швах толщиной 10-12 мм.

Деревянное домостроение – это строительная практика, где основным материалом выступает древесина. Этот подход широко применяется для сооружения индивидуальных жилых домов, предназначенных для круглогодичного проживания, загородных резиденций, сезонных дачных построек, а также бань и банных комплексов.

Ключевые достоинства: экологическая чистота используемых материалов, хорошие теплоизоляционные свойства, адаптивность к различным климатическим зонам.

Однако древесина имеет и недостатки: она не устойчива к воздействию влаги и склонна к гниению. В связи с этим, деревянные дома нуждаются в периодической обработке защитными составами, которую рекомендуется проводить каждые 7-10 лет.

Рассмотрим тепловую защиту малоэтажного домостроения из бруса, где брус толщиной 300 мм (рисунок 5).

Анализируя представленные результаты строительства стены, стоит отметить, что при строительстве только из бруса образуется конденсат практически на всю толщину стены. В то время как при использовании, в качестве утеплителя минеральной ваты толщиной 50 мм и наружного слоя в виде теплоизоляционной штукатурки конденсат формируется по минераловатному утеплителю. Что может спровоцировать отслоение штукатурного слоя. Дополнительное применение влаговетрозащитной мембраны не приводит к улучшению ситуации. Аналогичным образом, конденсат формируется в минеральной вате,

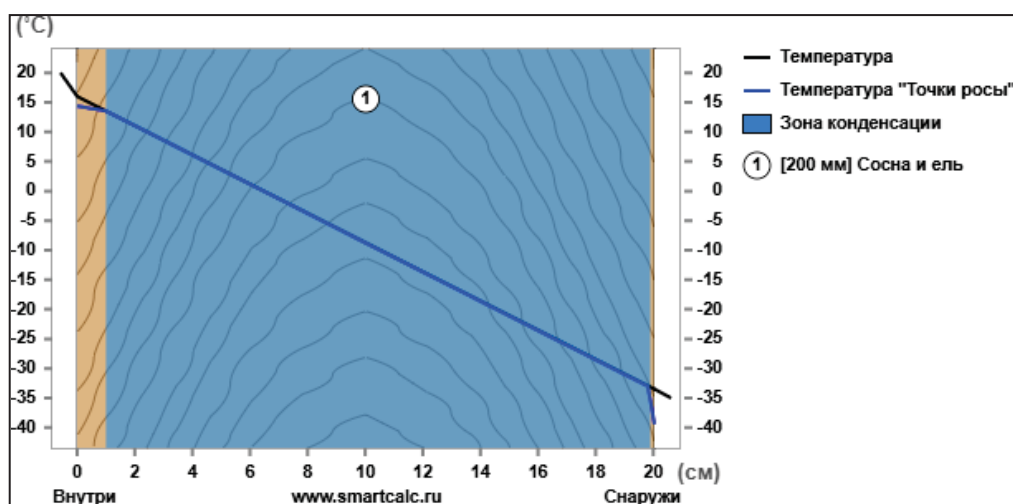


Рисунок 5 – Тепловая защита, с учетом сопротивления теплопередаче:  $1.59 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$

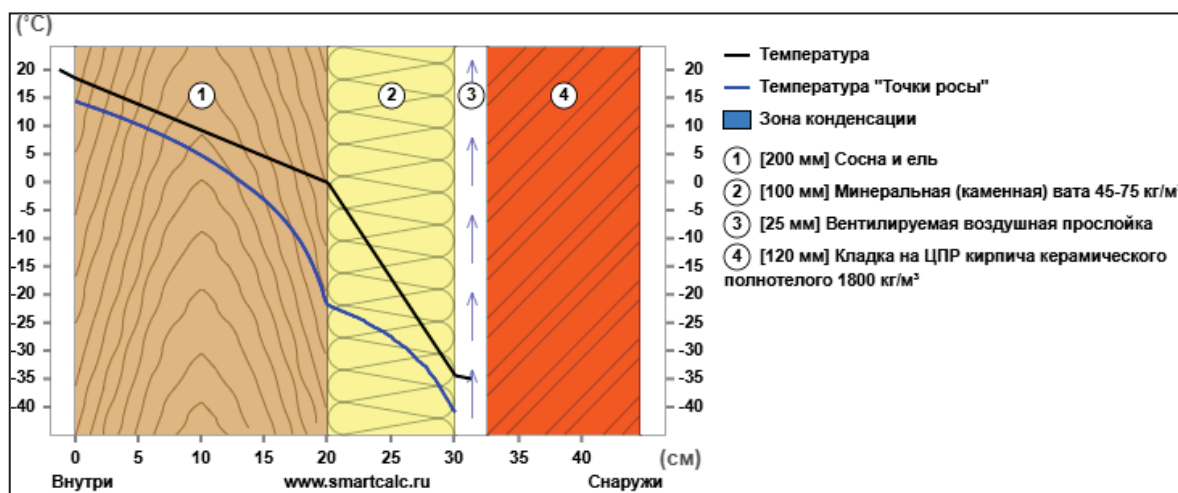


Рисунок 6 – Тепловая защита с учетом сопротивления теплопередаче:  $4.27 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$

что ведет к ее намоканию и утрате первоначальных характеристик.

Облицовка из керамического кирпича, выполненная с учетом воздушной прослойки для вентиляции и слоя минеральной ваты толщиной 50 мм, не приводит к улучшению ситуации, поскольку влага будет конденсироваться внутри деревянного бруса. Положение дел изменится к лучшему, если придерживаться всей последовательности работ, но увеличить толщину минеральной ваты до 100 мм.

**Кладочные швы.** Тепловые мосты – участки с повышенной теплопроводностью, через которые происходят локальные тепловые потери [8]. Основным источником тепловых мостов в стенах являются кладочные швы.

Сравнительный анализ:

- керамические кирпичи и блоки кладутся на цементно-песчаный раствор толщиной

10-15 мм с теплопроводностью  $0,8-1,0 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

- газобетонные блоки монтируются на тонкошовный клей (1-3 мм) с теплопроводностью  $0,2-0,3 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

- каркасные технологии позволяют минимизировать тепловые мосты за счет сплошного слоя утеплителя.

**Перекрытия и узлы примыканий.** Особую проблему представляют перекрытия над оконными и дверными проемами. В домах из керамзитобетона применяются тяжелые железобетонные перекрытия с высокой теплопроводностью, требующие дополнительного утепления. В газобетонных домах используются U-образные блоки с закладкой утеплителя, что значительно снижает тепловые потери [6].

В деревянных домах проблема пере-  
мычек отсутствует, однако требуют тщатель-



ного утепления стыки между венцами и угловые соединения.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Комплексный подход к выбору материалов должен учитывать не только паспортные значения теплопроводности в сухом состоянии, но и реальные эксплуатационные характеристики: зависимость теплопроводности от влажности, тепловую инерцию, паропроницаемость.

2. Влажность является критическим фактором, определяющим эффективность теплозащиты. Исследования показывают линейную зависимость теплопроводности от влажности для большинства материалов, что требует учета реальных условий эксплуатации при проектировании [1, 4].

3. Газобетон при соблюдении технологии строительства обеспечивает оптимальное сочетание теплотехнических характеристик для большинства регионов [5]. Его преимущества – низкая теплопроводность, паропроницаемость, возможность минимизации тепловых мостов за счет тонкошовной кладки.

4. Традиционные материалы (кирпич, дерево) сохраняют свои позиции благодаря высокой тепловой инерции, обеспечивающей стабильность микроклимата, но требуют дополнительного утепления.

5. Проблема тепловых мостов требует особого внимания при проектировании. Выбор материалов с крупными форматами (блоки 600 × 400 мм) и применение технологий, минимизирующих толщину швов, позволяют значительно снизить теплопотери [7].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловая инерция стен // bauroc Eesti. – 2016. – URL: <https://bauroc.ee/ru/информация/строительная-физика/тепловая-инерция-стен/> (дата обращения: 18.02.2026).
2. Мостики холода: из чего построить дом, чтобы тепло не уходило на улицу? – 2025. – URL: <https://uk-servicedom.ru/mostiki-holoda-iz-chego-postroit-dom-chtoby-teplo-ne-yhodilo-na-ylicy.html> (дата обращения: 18.02.2026).
3. Алиев, С. А. Справочное пособие для гигротермических функций строительных материалов : учеб.-метод. пособие / С. А. Алиев, Р. А. Назиров, И. В. Тарасов. – Красноярск : СФУ, 2024. – 46 с.
4. Виды утеплителей для дома: выбираем материал для теплоизоляции // Своё Село. – 2025. – URL: <https://svoe-selo.ru/news/vidy-uteplitelej-dlya-doma-vybiraem-material-dlya-teploizolyacii-78517966> (дата обращения: 18.02.2026).
5. Долгонож, А. В. Исследование теплофизических характеристик стеновых материалов в условиях эксплуатации зданий / А. В. Долгонож, А. А. Бакатович // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2019. – № 8. – С. 45-52.
6. Егоров, А. Из чего строить дом: сравнение популярных материалов для стен // РБК Компании. – 2026. – URL: <https://companies.rbc.ru/news/vQAdew4DEc/iz-chego-stroit-dom-sravnenie-populyarnyh-materialov-dlya-sten/> (дата обращения: 18.02.2026).
7. Vatin, N. Actual thermophysical characteristics of autoclaved aerated concrete / N. Vatin [и др.] // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – № 4 (96). – С. 129-137.

**Гильмиярова Юлия Васильевна** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [yuliaschukina@mail.ru](mailto:yuliaschukina@mail.ru);

**Шуба Дарья Дмитриевна** – магистр ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [schubadaria@yandex.ru](mailto:schubadaria@yandex.ru).

## МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ И ДОПОЛНЕНИЙ ДЛЯ REVIT

Д. С. Драгалин, И. А. Бахтина

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены подходы к выполнению гидравлического расчета газораспределительных сетей в среде Autodesk Revit. Проанализированы возможности встроенных инструментов и специализированных плагинов для автоматизации расчетов, соответствия нормативным требованиям и интеграции результатов в информационную модель.*

**Ключевые слова:** система газоснабжения, гидравлический расчет, BIM, Autodesk Revit, плагины, нормативные требования, потери давления.

Моделирование систем газоснабжения – это процесс создания математической модели, которая описывает поведение системы газоснабжения в различных условиях.

Существует несколько методов моделирования систем газоснабжения, включая гидравлическое моделирование, термодинамическое моделирование и газодинамическое моделирование. Гидравлическое моделирование используется для описания потока газа в трубопроводах, а также для определения давления и скорости газа в различных участках системы. Термодинамическое моделирование используется для описания тепловых свойств газа и его изменения при прохождении через систему газоснабжения. Газодинамическое моделирование используется для описания взаимодействия газа и объектов, таких как компрессоры и газовые турбины. Все эти методы моделирования используются совместно для создания комплексной математической модели системы газоснабжения.

Для расчета конструктивных особенностей система газоснабжения достаточно создать модель трассы объекта, с указанием исходных данных.

Рассмотрим создание информационной модели по средствам ZuluGIS 8.0. Создание информационной модели будущего проекта в ZuluGIS 8.0 начинается с загрузки подложки действующего здания (сооружения) или местности в программный комплекс и далее необходимо прикрепить подложку будущего проекта в формате jpg (рисунок 1).

Создание слоя инженерных сетей – основной шаг, ведь основной частью ошибок газоснабжения при создании модели является неправильная привязка к подложке, неправильный выбор масштаба (рисунок 2).

После создания слоя инженерной сети, следует размещение основных технических устройств и сооружений. Далее необходимо нанести сети газопотребления. Правильное разделение участков газопровода – важная часть при создании модели, в последующем это повлияет на последующие расчеты. Для начала устанавливается газорегуляторный пункт (ГРП) и от него ведется сеть газопотребления к газифицируемому дому (рисунок 3).

Следующим этапом требуется выполнить проверку связей сети, которая позволяет отследить привязку сетей и технических устройств между собой. Чтобы проверить правильность проектируемой сети, нужно по одной из веток выбрать потребителя, на максимальной удаленности от объекта распределения газа, и начать проверку

Далее выполняется гидравлический расчет, который является обязательным и критически важным этапом проектирования систем газоснабжения. Его цель – определение диаметров трубопроводов, проверка потерь давления на всех участках сети и обеспечение стабильной подачи газа к каждому прибору с требуемыми параметрами. Основные требования к расчету изложены в СП 62.13330.2019\* «Газораспределительные системы». При традиционном проектировании расчет выполняется в специализированных программных комплексах отдельно от чертежей, что приводит к необходимости ручного переноса данных и увеличивает риск ошибок [1].

Использование информационного моделирования зданий (BIM) в Autodesk Revit позволяет интегрировать расчет непосредственно в процесс создания модели.

## МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ И ДОПОЛНЕНИЙ ДЛЯ REVIT

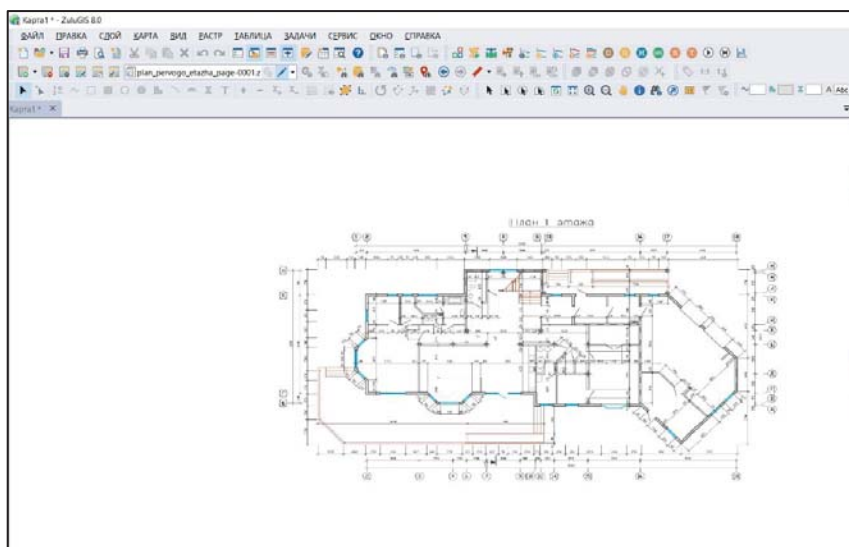


Рисунок 1 – Вид добавленного изображения объекта строительства

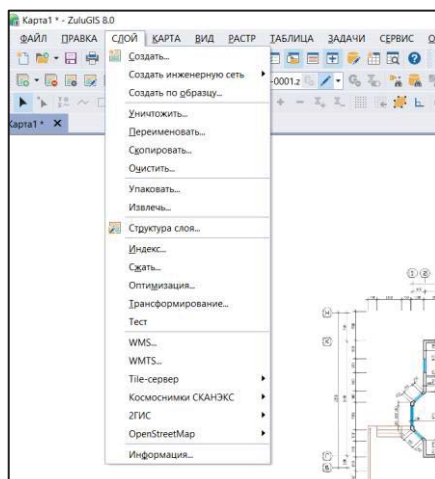


Рисунок 2 – Создание слоя «Инженерная сеть»

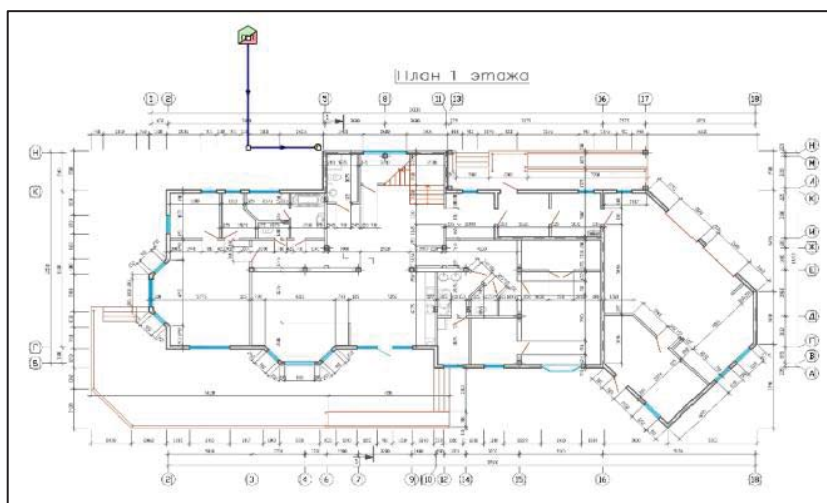


Рисунок 3 – Размещение ГРП (газорегуляторный пункт) согласно действующим нормам проектирования сетей газопотребления



Однако встроенные возможности Revit для гидравлического расчета инженерных систем изначально ориентированы на системы водоснабжения, отопления и вентиляции и не учитывают специфику расчета газовых сетей, регламентируемую российскими нормами.

Основными задачами гидравлического расчета системы газоснабжения являются:

- определение расчетных расходов газа для каждого участка сети;
- предварительное начертание расчетной схемы и нумерация участков;
- определение диаметров трубопроводов на каждом участке исходя из допустимых потерь давления и скорости движения газа;
- подбор и проверка параметров регулирующей и запорной арматуры;
- определение фактических потерь давления от точки подключения до самого удаленного прибора;
- сведение результатов расчета в табличную форму.

В среде Revit подготовка к расчету начинается с создания корректной сети [2]. Все газовые приборы (плиты, котлы), расставленные в модели, должны быть подключены к системе с помощью трубопроводов, образующих связанную сеть. Каждому элементу системы (трубе, фитингу, арматуре) должны быть присвоены соответствующие свойства: материал (PE, St), коэффициент шероховатости, условный проход.

Пример корректно смоделированной

внутренней газовой разводки в Revit представлен на рисунке 4.

Для непосредственного выполнения гидравлического расчета, соответствующего СП 62.13330, необходимо использовать дополнительные плагины (add-ins) или внешние сервисы, интегрируемые с Revit [3]. Одним из таких решений является плагин «HYDRAULIC TOOLSET for Revit» (условное название), который использует геометрию и данные из модели Revit для автоматического формирования расчетной схемы.

Методика работы с подобным плагином включает следующие этапы:

1. Экспорт данных: плагин извлекает из модели Revit топологию сети (последовательность участков, длины), присвоенные диаметры, характеристики оборудования и предварительные расходы газа, рассчитанные на основе мощности приборов.

2. Расчет во внешнем ядре: данные передаются в расчетное ядро, которое выполняет гидравлический расчет по алгоритмам, соответствующим российским нормам. Происходит итерационный подбор диаметров и проверка потерь давления.

Импорт результатов: полученные результаты (окончательные диаметры, фактические потери давления на каждом участке, общие потери в системе) импортируются обратно в модель Revit. Эти данные записываются в свойства соответствующих трубопроводов. Пример интерфейса плагина с результатами расчета приведен на рисунке 5.

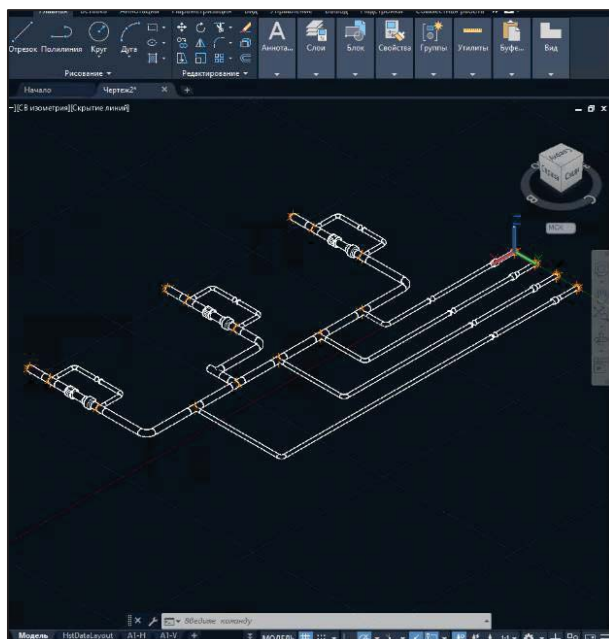
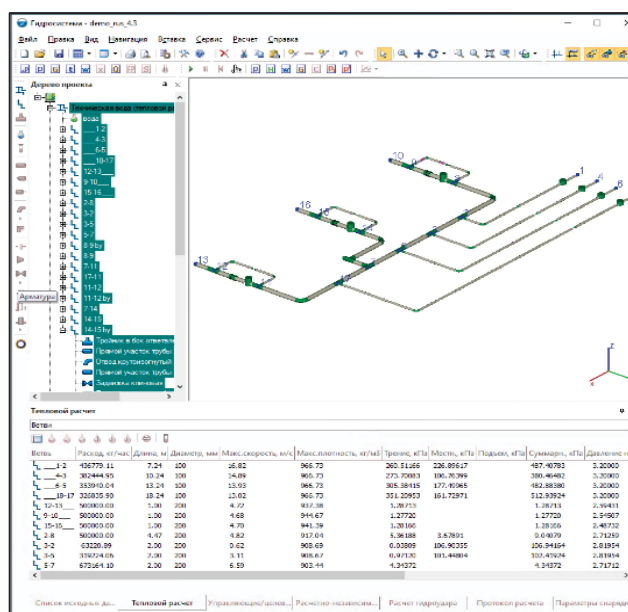


Рисунок 4 – Модель внутридомовой разводки системы газоснабжения в Revit

## МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ И ДОПОЛНЕНИЙ ДЛЯ REVIT



## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРЕНОВ ФУНДАМЕНТОВ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Ю. В. Елисеева, Е. И. Вяткина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Статья посвящена анализу причин возникновения кренов фундаментов, обзору методов устранения кренов фундамента и выбору, на основе полученной информации, наиболее эффективных методов для выравнивания положения фундаментов.*

**Ключевые слова:** крен, жесткость основания, деформация, замачивание оснований, высушивание оснований, выдавливание фундамента, домкраты и винтовые механизмы, инъектирование, силикатизация, геополимер.

Крен фундамента представляет собой наклон, нарушающий вертикальную осевую симметрию конструкции, проявляющийся при несимметричной загрузке основания. Крен происходит относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента. Обычно подобное явление характерно для жестких фундаментов зданий, а также многоэтажных строений [2].

В большинстве случаев причиной крена сооружений является неравномерная жесткость основания. Чтобы остановить и выправить крен здания или башни достаточно повысить жесткость основания со стороны крена, а с противоположной стороны жесткость основания уменьшить.

Все возможные причины возникновения кренов зданий можно разделить на две большие группы – природные и конструктивные [1].

### Основные природные факторы:

1) Неравномерная осадка грунтов. Это одна из наиболее распространенных причин кренов. Грунты под различными частями фундамента имеют разную плотность, влажность и прочность, что приводит к различиям в осадке. Особенно опасно, если грунты слабые или неоднородные, что вызывает наклон здания. Природными факторами, приводящими к неравномерной осадке фундаментов, могут быть:

- локальное вымывание грунта, приводящее к образованию пустот под подошвой основания здания;
- подмывание грунта, вызывающее снижение прочности грунта и его стабильности, происходит в результате пагубного воздействия талых или грунтовых вод;
- промерзание чрезмерно увлажненного грунта, приводит к рыхлению, смещению, вспучиванию грунта;
- морозное пучение грунта – при замер-

зании вода в грунте увеличивается в объеме, что может привести к выдавливанию отдельных участков фундамента.

Наиболее подвержены деформациям фундаменты мелкого заложения, смонтированные без учета глубины промерзания.

2) Динамические воздействия могут возникать из-за природных явлений, включая сейсмическую активность. Смещение и проседание фундаментов также может происходить вследствие воздействия техногенных факторов. Подобное нередко происходит в регионах, близких к местам добычи и разработки полезных ископаемых.

### Основные конструктивные факторы:

1) Неправильный расчет нагрузок на стадии проектирования. Если проектные нагрузки на фундамент были рассчитаны неправильно или не учитывали реальные условия эксплуатации, это может привести к неравномерной деформации в грунтовом основании. Перегрузка одной части здания вызывает проявление большой неравномерности осадок и может вызвать крен фундаментов здания.

2) Ошибки в геологических исследованиях. Недостаточная или некорректная оценка свойств грунтов, их состава и уровня грунтовых вод в ходе подготовки участка может привести к неправильному выбору типа фундамента и его размеров.

3) Неправильная или некачественно выполненная конструкция фундамента. Использование неподходящих материалов, недостаточная прочность или неправильно выполненные работы по устройству фундаментов могут стать причиной неравномерной осадки и крена фундаментов.

4) Нарушения технологии строительства, несоблюдение строительных норм и правил, увеличивают риск возникновения кренов и деформаций фундаментов [4, 5].



Так же следует выделить отдельно естественное старение конструкций, связанное с постепенным износом и деградацией материалов, из которых выполнен фундамент и сопряжённые с ним элементы. Это медленный, но постоянный процесс, который со временем снижает несущую способность фундамента и может стать причиной появления кренов, особенно если его не обследовать или не проводить своевременный ремонт и укрепление.

Чаще всего деформация обусловлена комплексом факторов, одни из которых преобладают, а другие слабо выражены.

Опасен дальнейший рост крена, что в конечном результате может привести к потере устойчивости сооружения и его опрокидыванию. Поэтому так важна своевременная диагностика и постоянный мониторинг изменений наклона фундаментов и сооружений.

Диагностика кренов фундаментов включает в себя следующие методы:

1. **Визуальный осмотр** – трещины, перекосы проёмов, отслоения материалов фундамента и сооружения.

2. **Геодезические наблюдения** – нивелирование (контроль вертикальных смещений), тахеометрическая съёмка (3D-мониторинг деформаций).

3. **Использование датчиков** – инклинометры (угол наклона), тензометры (деформации), гидростатические уровни (контроль локальных проседаний).

4. **Георадар** – выявляет пустоты и слабые грунты в основании.

5. **Лабораторные исследования** – анализ состояния материала фундаментов и грунта.

Современные технологии позволяют устранять деформации с минимальным вмешательством в конструкцию.

После проведения инженерных изысканий (диагностики природы происхождения кренов) приступают к разработке мер по реконструкции фундаментов. Способы выправления сооружений и усиления их фундаментов и оснований различны и зависят как от конструктивных особенностей сооружения, так и от грунтовых условий.

Методы устранения крена здания условно можно поделить на те, которые воздействуют на грунт и его свойства, и те, что воздействуют непосредственно на конструктивную составляющую [4]. Рассмотрим оба аспекта.

**Методы воздействия, на грунт основания и его свойства:**

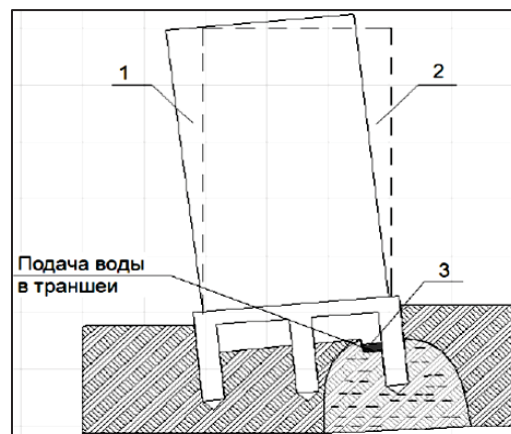
1. *Выравнивание кренов путем органи-*

*зованного (регулируемого) замачивания основания, обладающего просадочными свойствами. Замачивание производится со стороны, противоположной крену. Схема выравнивания крена здания путем организованного замачивания просадочного грунтового основания представлена на рисунке 1.*

На объекте создаются специальные системы для подачи воды – это могут быть трубопроводы, насосы, дренажные или гидротехнические сооружения. В некоторых случаях применяются временные емкости или системы капельного полива. В зоны, где грунт недостаточно увлажнен или просел, подается вода. Вода проникает в грунт, делая его более пластичным и уменьшая сопротивление. За счет регулировки скорости и объемов подачи воды происходит постепенное перемещение грунта, что вызывает его расширение или уплотнение, в зависимости от типа грунта. После достижения желаемого уровня крена и стабилизации грунтового основания проводится закрепление и укрепление фундамента, а также гидроизоляция и защита от дальнейшей осадки сооружения.

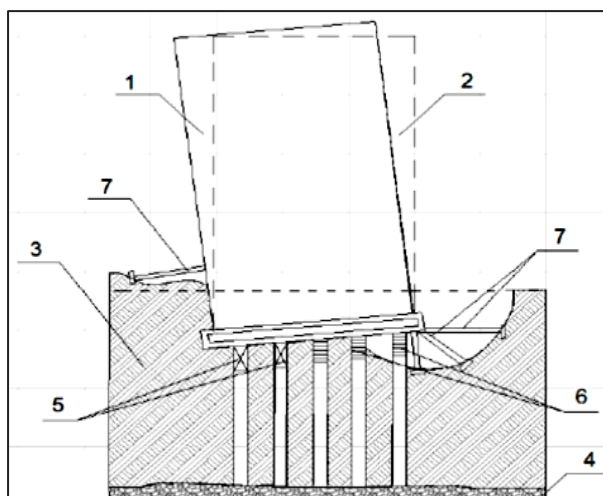
В процессе замачивания ведется постоянный контроль за уровнем крена и состоянием грунтов, так как это может сказаться на соседних постройках.

2. *Выравнивание сооружений путем организованной усадки набухающих грунтов путем их высушивания со стороны, противоположной крену.* Метод, противоположный предыдущему. Если набухающие грунты увлажнить, то они значительно увеличиваются в объеме, а если их высушить, их объем уменьшается.



1 – положение здания до выравнивания; 2 – положение здания после выравнивания; 3 – траншея

Рисунок 1 – Выравнивание крена здания путем организованного замачивания просадочного грунтового основания



1 – положение здания до выравнивания; 2 – положение здания после выравнивания; 3 – слабый глинистый грунт; 4 – надежный грунт; 5 – домкраты; 6 – шпальные клетки; 7 – временные подкосы

Рисунок 2 – Схема выравнивание крена здания с помощью домкратов

В первую очередь определяется зона набухающих грунтов в основании здания, анализируется степень и направление крена, а также влажностный режим грунтов.

На стороне, противоположной крену, устраивают систему для искусственного высушивания грунта. Для этого используют устройство дренажных систем и водоотводов, применение специальных насадок или испарителей для ускорения испарения влаги. В некоторых случаях применяют тепловые методы – обогрев или вентиляцию.

Вода из набухающих грунтов, вызывающих подъем и крен, постепенно удаляется. В результате снижается объем набухающих грунтов, уменьшается их подъемная сила и деформация основания. Постепенно грунт стабилизируется в меньшем объеме, что ведет к выравниванию уровня и уменьшению крена.

После достижения желаемого положения и стабилизации грунтов проводят мероприятия по удержанию достигнутого равновесия, например, укрепление основания или гидроизоляционные мероприятия.

Так же можно выделить способ выравнивания кренов при помощи частичной выемки грунта путем его выбуривания. Выбуривание производится горизонтальными или наклонными скважинами со стороны, противоположной крену. Одновременно рекомендуется прикладывать горизонтальную нагрузку в верхней части сооружения, что способствует деформированию грунта и выравниванию положения подошвы фундамента.

## Методы, воздействующие на конструктив здания:

1. *Механическое выравнивание с помощью домкратов или винтовых механизмов.* Применяется для небольшой величины крена. Схема выравнивание крена здания с помощью домкратов показана на рисунке 2.

Работы по выравниванию здания с помощью домкратов включают несколько этапов:

- Устройство домкратных ниш по периметру несущих стен между фундаментом и зданием. В них монтируют плоские домкраты и дополнительные подкрепляющие и распределяющие элементы, которые образуют «домкратный узел».

- Подъем деформированной части здания при циклической работе домкратов. По мере подъема на величину хода штока в нишах устанавливают опорные элементы в виде металлических стаканов, которые рассчитываются на восприятие нагрузки частей перемещаемого здания. При дальнейшем подъеме металлические стаканы наращивают.

- Поворот здания в вертикальных плоскостях. На этом этапе передают разную нагрузку на отдельные домкратные узлы для создания необходимого для поворота момента.

Число домкратов определяют исходя из массы здания и коэффициента запаса, учитывая непредвиденный выход из строя одного или двух соседних.

2. *Гидравлическое выравнивание фундамента с помощью свай высокого давления.*

Это такой способ устранения крена свайного фундамента, при котором свайные элементы погружаются в грунт без ударных нагрузок и вибрации. Метод основан на использовании специальных свай, которые вводятся под существующий фундамент с помощью гидравлического давления, что позволяет поднять и стабилизировать конструкцию без полного демонтажа и реконструкции.

Для реализации технологии используют сваевдавливательные установки (СВУ) – строительную технику для погружения железобетонных свай с помощью вертикально направленного статического усилия. При активации гидравлического оборудования на сваи подается давление, которое постепенно вытесняет грунт и поднимает фундамент. Одновременно контролируется уровень подъема, чтобы устранить крен и восстановить первоначальную геометрию здания.

Для усиления фундамента вдавливают дополнительные сваи со стороны крена,

ростверк новых свай соединяют с существующим ростверком. Для выправления крена оголяют верх сваи со стороны, противоположной крену, и срубают часть свай на величину крена. Таким образом, часть свай оказывается выключенной из работы, а нагрузка на оставшиеся сваи возрастает. В результате происходит задавливание свай, соседних со срубленными, и выправление крена.

Схема выравнивания крена здания путем выдавливания свай весом здания показана на рисунке 3.

**3. Устройство новой фундаментной конструкции рядом с осевшей.** Это один из методов устранения крена фундамента, позволяющий стабилизировать и выровнять здание без полного демонтажа старого фундамента. Применяется при значительных деформациях. Виды усиления фундаментов представлены на рисунке 4.

На участке, вокруг осевшей части фундамента, снимается верхний слой грунта, создается доступ к основанию здания и подготовка к монтажу новой конструкции. Устройство железобетонных обойм выполняют в тех случаях, когда на отдельных участках фундамента прочность кладки ниже лежащих слоев меньше прочности вышележащих. Работы выполняют по захваткам длиной 2-2,5 м. Железобетонные обоймы могут устраиваться с одной или с двух сторон фундамента.

Уширение подошвы фундамента выполняют банкетам из бутовой кладки или из монолитного бетона и железобетона, банкетам балочного типа, а также с помощью монолитных и сборных железобетонных подушек.

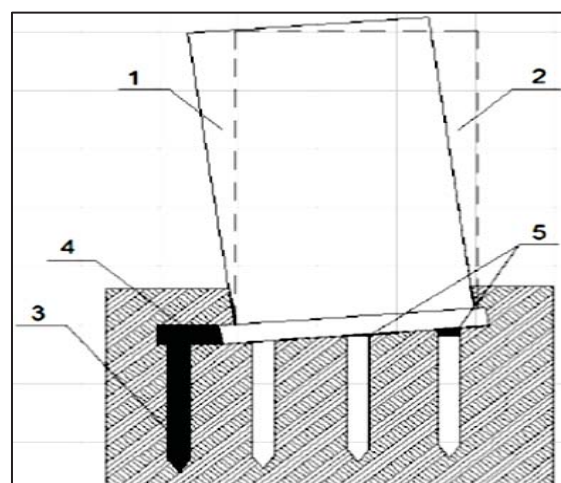
Углубление подошвы фундамента. В этом случае вначале разгружают фундаменты и при наличии ослабленных участков стен устанавливают рандбалки. Затем на отдельных захватках длиной 1,5-2 м в заранее намеченной очередности отрывают колодцы на проектную глубину с временным креплением стенок, разбирают нижнюю ослабленную часть фундамента (при необходимости) и удаляют грунт, подводя под фундамент временные крепления. Кладку нового фундамента выполняют с перевязкой швов, удаляя крепление снизу вверх.

**4 Метод инъектирования** – это способ гидравлической защиты или укрепления здания, путем введения в структуру основания различных материалов под высоким давлением. Данный метод может применяться как для укрепления грунтов основания, так и для усиления существующего фундамента. Схема метода инъектирования грунта основания здания изображена на рисунке 5.

Одной из основных особенностей метода является, то, что для проведения работ не требуется применение крупногабаритной строительной техники и экскавационных работ, которые присущи традиционным методам по восстановлению несущих способностей фундаментов. Закачка полимера через инъектор производится под давлением [3].

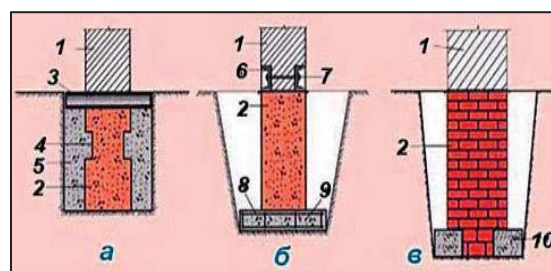
**Разрушение и извлечение грунта из-под фундамента** выполняется посредством вымывания, замораживания или применения метода виброползучести.

**Вымывание грунта из-под подошвы фундамента.** Данная технология основана на бурении вертикальных скважин в плите



1 – положение здания до выравнивания; 2 – положение здания после выравнивания; 3 – дополнительные сваи со стороны крена; 4 – новый ростверк, единый со старым ростверком; 5 – срубленная часть свай

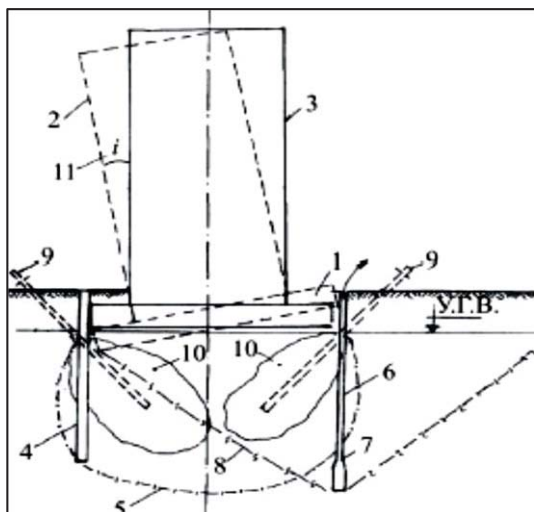
Рисунок 3 – Схема выравнивания крена здания путем выдавливания свай весом здания



1 – стена; 2 – усиливаемый фундамент; 3 – разгружающая балка; 4 – паз под шпунтовое зацепление; 5 – монолитный бетон; 6 – разгружающая балка; 7 – болт; 8 – арматурный каркас; 9 – усиливающая монолитная подушка; 10 – усиливающие ж/б балки

Рисунок 4 – Виды усиления фундамента:  
а) простое уширение; б) углубление и уширение;  
в) уширение ж/б балками





1 – фундамент; 2 – положение здания при его крене; 3 – положение здания после его выправления; 4 – шпунтовая стенка; 5 – зона сжатия; 6 – скважина; 7 – глубинный насос; 8 – положение депрессионной кривой; 9 – иньектор; 10 – зона закрепления; 11 – крен здания

Рисунок 5 – Схема выполнения инъектирования грунта основания здания

фундамента и погружении в них коаксиальных иньекторов с уплотнителями. В каждом иньекторе две полости – внешняя и внутренняя. Через внутреннюю полость иньектора высоконапорные насосы подают сильную струю воды. Вода вымывает грунт, а стационарные насосы через внешнюю полость иньектора выводят его на поверхность в виде пульпы. Подача воды под значительным избыточным давлением и удаление грунта происходит вплоть до полного выравнивания здания. Затем под подошву фундамента подается твердеющий раствор (через уже пробуренные отверстия).

**Замораживание грунта.** В вертикальные скважины, пробуренные в фундаменте, опускают трубки и через них под подошву фундамента подают охлажденный керосин или жидкий азот. Когда грунт будет заморожен до нужного радиуса, через те же трубки пропускают горячую воду или пар, чтобы он оттаял. Образовавшаяся из грунта пульпа не имеет структурных связей и при осадке фундамента просто выдавливается из-под него.

Чтобы фундамент достиг проектного положения, необходимо провести несколько циклов замораживания и оттаивания. Когда работы по извлечению на поверхность необходимого объема грунта будут завершены, грунт под подошвой фундамента укрепляют цементацией.

**Метод виброползучести.** Используется, если в основании залегает песчаный грунт.

Через вертикальные скважины, пробуренные в фундаменте, бурят отверстия еще ниже, уже в самом песчаном основании. Далее на глубину опускают специальное виброоборудование, которое создает колебания под землей. В результате этих колебаний песчаный грунт «ползет» и заполняет собой пробуренные скважины. Осыпавшийся песок удаляют через те же рабочие отверстия, после извлечения вибратора. Действия повторяются до тех пор, пока фундамент не достигнет проектного положения. Затем все отверстия заполняют раствором из цемента и песка.

При обнаружении трещин и нарушении кладочного раствора применяется инъекционное заполнение пустот кладки цементным раствором (инъектирование тела фундамента).

Выбор способа инъектирования грунта напрямую зависит от применяемых в работе инъекционных составов.

**Силикатизация грунтов.** Метод предполагает введения в грунт через специальные приспособления – пакеры, инъекционного раствора на базе жидкого стекла (кремниевой кислоты). Материал затвердевает и в таком состоянии совершенно не подвержен воздействию высоких и низких температур, влаги и химических реагентов. Подходит для укрепления песчаных или водонасыщенных грунтов, где необходимо химическое связывание частиц. Эффективность зависит от состава грунта: в слишком плотных или слабо водопроницаемых породах раствор может не проникнуть на нужную глубину.

**Цементация грунтов.** В работе применяются составы на основе цемента и воды. Процесс закрепления грунта по технологии цементации проводится посредством внедрения ремонтного раствора в грунт, который по истечении времени превращается в монолитную субстанцию, по своим показателям схожую с бетоном.

**Битумизация грунтов.** Такой метод усиления грунтов бывает двух типов: холодная и горячая битумизация. Первый способ предполагает использования эмульсионных составов на основе битума, второй – горячего битумного раствора. Битумизация применяется в ситуациях, когда грунтовые воды залегают близко к поверхности и систематически поднимаются, что приводит к подмыванию фундамента.

Нагнетание в почву синтетических и полимерных смолянистых смесей. Это самый эффективный способ для грунтов, которые в своем составе имеют суглинки и супеси. Смолы надежно объединяют эти элементы в

монолитный слой, который не подвержен усадке и появлению трещин.

Геополимерное инъектирование. В грунт под давлением вводят специальный геополимерный раствор. Материал расширяется, заполняя сначала участки с малой плотностью, и быстро затвердевает. Когда достигается необходимая плотность грунта, создаётся вертикально действующее давление, которое позволяет поднимать просевшие конструкции.

Геополимеры – новые композитные материалы с полимерной структурой, которые обладают очень высокой прочностью. Так как сырьем для их производства, в основном, служат минералы геологического происхождения, они и получили название – геополимеры. Применяется в различных типах грунтов, включая слабые, нестабильные или повреждённые (песчаные, глинистые, суглинистые и др.). Преимущества: высокая прочность и устойчивость к внешним воздействиям, быстрое время застывания, хорошая адгезия к различным типам грунтов

Выполнение работ занимает значительно меньше времени, чем традиционные методы усиления грунтов и не зависит от погодных явлений, температуры и может выполняться одинаково эффективно практически на всех типах грунтов. При этом геополимерный материал не оказывает негативного влияния на окружающую среду, имеет хорошие гидроизоляционные свойства и защищает грунты от деструктивного воздействия влаги. В зависимости от задач, состояния грунтов и конструкции зданий и сооружений используют разные методы инъектирования и геополимерные материалы (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ материалов для инъектирования

| Виды инъекций     | Основной материал                          | Основные свойства                         | Основное назначение                          |
|-------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Цементные         | Цемент, вода, добавки                      | Высокая прочность, жесткость              | Укрепление грунтов, устранение просадок      |
| Полимерные        | Полимеры, синтетические гели               | Гибкость, эластичность, быстрое твердение | Заполнение трещин, укрепление слабых грунтов |
| Гидроизоляционные | Полиуретан, битум, гидроизоляционные смеси | Водонепроницаемость, герметизация         | Герметизация, защита от воды                 |

### Заключение:

Выравнивание крена здания – сложная процедура, требующая кропотливой работы высококвалифицированных специалистов и серьезных финансовых вложений. Чтобы избежать этой проблемы, перед проектированием зданий и сооружений необходимо провести геологические и гидрогеологические исследования местности, а в процессе строительства соблюдать все правила устройства фундамента.

Как правило, конструктивные меры усиления фундамента (сваи, уширение, плита) сочетаются с инъекционными методами усиления грунтов. Под небольшим давлением закачивается цементный раствор, который заполняет все суффозионные полости и уплотняет верхние слои грунта, возвращая им строительные свойства.

Инъектирование – это один из символов современной строительной эпохи. Геополимерные технологии расширяют возможности ремонта и восстановления объектов, делая его быстрым, эффективным и экономически выгодным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далинчук, В. С. Устранение просадки фундаментов с помощью технологии SLAB LIFTING / В. С. Далинчук, М. С. Ильмендеров, В. В. Яркин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 11 (38). – С. 15-26.
2. Нежданов, К. К. Управление креном и осадкой зданий и сооружений / К. К. Нежданов, А. А. Кузьмишкин, И. Н. Гарькин // Молодой ученый. – Чебоксары : 2014. – С. 169-70.
3. Преснов, О. М. Крены зданий. Пути их исправления / О. М. Преснов [и др.] // Инвестиции и инновации. – 2022. – № 4. – С. 158-160.
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. – М. : Стандартинформ, 2016. – 219 с.
5. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. – М. : Минстрой России, 2017. – 145 с.

**Елисеева Юлия Валерьевна** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: eliseeva\_j\_6@mail.ru;  
**Вяткина Елена Ивановна** – к.г.-м.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: el240943@mail.ru.

## РОЛЬ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ 7D (ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК) В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

**Р. Р. Калимуллин, И. В. Носков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*На сегодняшний день программные обеспечения системы управления информационного моделирования никак не связаны с управлением жизненного цикла (ЖЦ) зданий и сооружений, несмотря на известное поручение Президента РФ ПР-1235, переданное непосредственно правительству РФ, о создании условий перехода строительной отрасли к BIM-технологиям (информационному моделированию). Документ активно обсуждался в различных изданиях. Однако основное внимание участников обсуждений было сосредоточено на самих технологиях информационного моделирования (приоритетная цель для вендоров CAD-приложений), а не смыслового наполнения, то есть перехода к управлению ЖЦ с помощью BIM-технологий. Участники декларировали общий посыл данного поручения тем, что внедрение BIM является модернизацией строительной отрасли и повышением качества строительства, однако это лишь средства и критерии функционирования систем ЖЦ строительной сферы, которую отодвинули на второй план, так как это требует совершенно иного ментального подхода к цифровой отрасли. В данной работе автором предложена концепция цифровой информационной модели (ИМ) ЖЦ ИСП с перспективой перехода к динамической виртуальной копии физического объекта ИСП, то есть к цифровому двойнику объекта ИСП или 7D модели.*

**Ключевые слова:** инвестиционно-строительный проект (ИСП), цифровая информационная модель (ЦИМ), жизненный цикл (ЖЦ), цифровой двойник (Digital Twin, 7D), интернет вещей (Internet of Things, IoT), управление жизненным циклом продукта (PLM).

Развитие экономики страны приводит к значительным изменениям в различных аспектах формирования и функционирования организационно-производственных систем, включая инвестиционно-строительный сектор. Формы собственности предприятий претерпевают изменения, совершенствуется производственно-технологический потенциал для укрепления конкурентоспособности строительных компаний как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Компании инвестиционно-строительного сектора добиваются успехов в повышении мобильности и гибкости, адаптируясь к изменяющимся условиям [1], а также осваивая новые территориальные и региональные рынки.

Современная экономика представляет собой сложную многоотраслевую производственно-хозяйственную систему, включающую разнообразные отрасли, организации и производства. Среди них особая значимость принадлежит строительной сфере, которая является одной из базовых отраслей материального производства.

Строительная продукция, как видно из рисунка 1, создается в результате сложного

технологического процесса, в котором участвуют предприятия различных сфер: строительство, проектирование, промышленность, научные исследования. Такое взаимодействие в процессе производства способствует объединению всех этих предприятий в единый межотраслевой комплекс. Благодаря этому строительный комплекс представляет собой организованную систему взаимодействующих предприятий и производств, связанных устойчивыми производственно-технологическими, хозяйственными и экономическими отношениями.

Также стоит обратить внимание, что органы государственного регулирования и надзора расположены (предопределены) над остальными частями или организациями строительного комплекса по причине того, что в условиях рыночной экономики деятельность бизнеса подлежит государственному регулированию, где классификация иерархии законодательной системы РФ в строительной сфере следующая:

1. Конституция РФ;
2. ФЗ, Кодексы РФ;
3. Постановления правительства РФ;



## РОЛЬ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ 7D (ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК) В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА



Рисунок 1 – Структура строительного комплекса

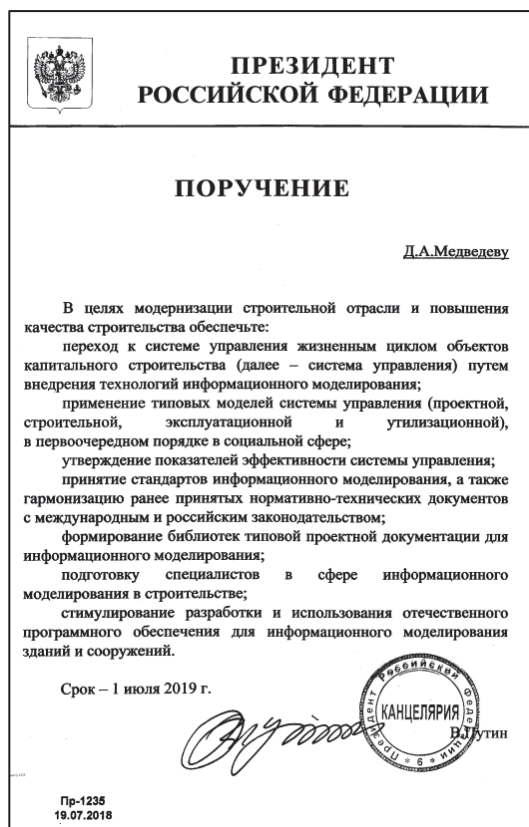


Рисунок 2 – О первоочередных задачах по модернизации строительной отрасли и повышению качества строительства (Пр-1235)

- Приказы и распоряжения органов исполнительной власти;
- ГОСТЫ, СП, методика и регламенты

(ГОСТы выше СП. Если ГОСТы определяют требования к результату работы, то СП определяют порядок и методологию этих работ).

6. Стандарты СРО, документы субъектов РФ;

7. Внутренние стандарты предприятий, ведомственные нормативы.

Крупные строительные организации, зачастую холдинги и группы компаний, часто выполняют функции девелоперов. Они самостоятельно занимаются поиском, формированием и подготовкой земельных участков, разрабатывают проекты планировки и застройки, создают инвестиционные проекты с градостроительной привязкой, а также находят источники финансирования и организуют сам процесс инвестирования в объекты. Помимо этого, такие компании обеспечивают строительство недвижимости и ее дальнейшую продажу.

Дополнительно некоторые девелоперы берут на себя функции управления завершенными объектами. Например, в жилищном строительстве девелоперские компании зачастую интегрируют производственные и эксплуатационные процессы в единый технологический цикл. Они формируют внутри своей структуры специальные жилищно-эксплуатационные подразделения или управляющие компании, которые занимаются управлением, построенным жилищным фондом, как видно на рисунке 1.

Также обратимся к Поручению Президента РФ от 19 июля 2017 года, в котором выявлен государственный интерес (рисунок

2) к переходу на систему управления жизненным циклом объектов капитального строительства путем внедрения технологий информационного моделирования.

Таким образом, исходя из вышесказанного, возникает необходимость качественного управления объектами строительства на каждом этапе жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Как известно из ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 терминология жизненного цикла (life cycle) трактуется как развитие системы, продукта, услуги, проекта или других изготовленных человеком объектов, начиная со стадии разработки концепции и заканчивая прекращением применения.

Кроме того, в методологии промышленности и информационных технологий (IT) на законодательном уровне используется терминология управления жизненным циклом изделия/проекта/объекта как процесса управления полным циклом от его концепции через проектирование, производство, продажи, эксплуатацию и утилизации, то есть Product Lifecycle Management (PLM), где активно используется в области управления машиностроением и конструированием. А сама функция управления – набор возможностей, которые позволяют владельцу системы, продукта, услуги, проекта и объекта поддерживать их в работоспособном состоянии и эффективно обновлять на протяжении полного бизнес-цикла.

Как известно, на сегодняшний день специальной терминологии в строительстве понятия ЖЦ не сформулировано, однако в Главе № 1., Статьи № 3., ФЗ-№ 384 от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», который распространяется на все этапы ЖЦ, перечислены процессы

ЖЦ в следующей последовательности:

- 1) инженерные изыскания;
- 2) архитектурно-строительное проектирование;
- 3) строительство, реконструкция;
- 4) капитальный ремонт, монтаж, наладка;
- 5) эксплуатация (включая текущий ремонт);
- 6) снос здания/сооружения.

В этом же ФЗ в Главе № 2 указаны и перечислены в Статьях 7-14 соответственно общие требования безопасности зданий, сооружений и процессов, осуществляемых на всех этапах их жизненного цикла (механическая и пожарная безопасность, требования энергетической эффективности зданий и сооружений, требования безопасного уровня воздействия зданий и сооружений и т.д.).

Кроме того, необходимо сразу выявить количественное значение (параметр) объекта срока ЖЦ «от зарождения до смерти».

Так, если следовать иерархии законодательной системы РФ (см. выше), обратимся к ГОСТу 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», а именно к таблице из Главы 4 рекомендуемых сроков службы зданий и сооружений (рисунок 3). Параметры «не менее 50 лет» и «от 100 лет и более» позволяют нам в среднем заложить срок ЖЦ зданий и сооружений в районе 100-110 лет для многоквартирных жилых домов (МКД) на примере 19-ти этажного здания на основании данных средней высота здания, который с 2015 по 2025 годы увеличился с 15,5 до 19,3 этажа по причине серьезной трансформации строительной сферы и перехода к плотной застройке регионов и страны в целом.

| Т а б л и ц а 1 – Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений                                                                                                                                                               |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Наименование объектов                                                                                                                                                                                                          | Примерный срок службы |
| Временные здания и сооружения (бытовки строительных рабочих и вахтового персонала, временные склады, летние павильоны и т. п.)                                                                                                 | 10 лет                |
| Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в условиях морской среды и т. п.)          | Не менее 25 лет       |
| Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства)                                                                                    | Не менее 50 лет       |
| Уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т. п.) | 100 лет и более       |

Рисунок 3 – Сроки службы ЖЦ зданий и сооружений

# РОЛЬ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ 7D (ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК) В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

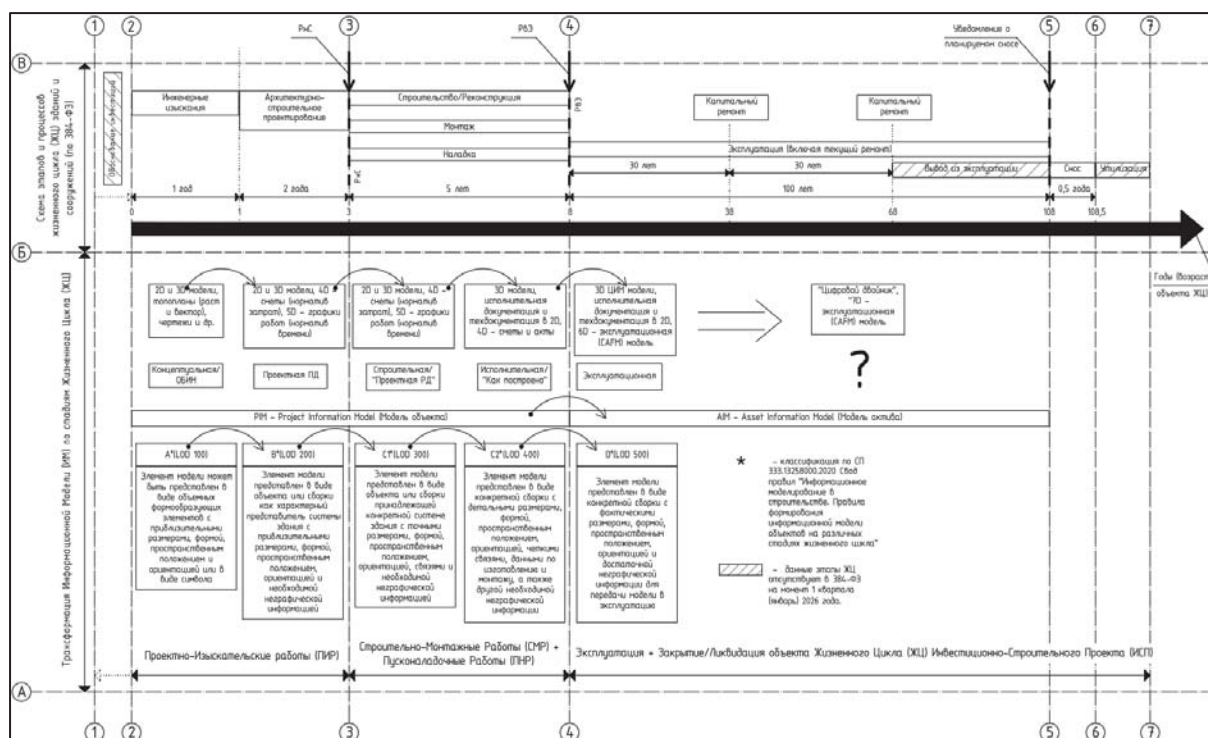


Рисунок 4 – Цифровая информационная модель по стадиям ЖЦ

Вызывает интерес и период использования здания или его элементов по назначению до капитального ремонта/замены, параметры значений которых утвердились приказом Минстроя 03.06.2020 № 748/пр, где нас интересуют изменения № 2 по СП 255.1325800.2016, параметр срока, который варьируется в среднем 15-25 лет до обследования/оценки/реконструкции здания или сооружения. В нормах проектирования ВСН 55-88(р) Госкомархитектуры в Приложении 3 указаны параметры минимальной продолжительности эффективной эксплуатации элементов зданий и объектов, из которых нас для примера интересуют покрытия кровли из рулонных материалов и инженерных систем из полимерных материалов.

Оба параметра равны 10 годам.

На основании предыдущих 2-х абзацев закладываем значение срока ЖЦ капитального ремонта около 30 лет (на рисунке 4 – схема этапов и процессов ЖЦ).

По 384-ФЗ на момент января 2026 года самостоятельный этап ЖЦ как «обоснование инвестиций» не предусмотрен, хотя на нем принимаются все концептуальные решения, конструктив, материалы и специфика эксплуатации.

Однако автором статьи данный этап ЖЦ предусмотрен, что видно на рисунке 4 в схеме этапов и процессов ЖЦ.

Что касается промышленных объектов, то зачастую у таких зданий/сооружений этап вывода из эксплуатации является длительным процессом.

Например, у АЭС этот параметр около 15-20 лет, однако по 384-ФЗ как самостоятельный этап ЖЦ «вывод из эксплуатации» также не предусмотрен. В том числе после сноса (демонтажа) здания или сооружения, остаются кучи строительного мусора, боя бетона и т.д., которые вывозятся и повторно используются в других целях (основание под дороги, засыпки котлованов и траншей, укрепление грунта и т.д.), т.е. этап утилизации аналогично не указан в 384-ФЗ.

Несмотря на ранее сказанное в данной статье, схема ЖЦ представлена с обоснованием инвестиций, выводом из эксплуатации и утилизации и выделена как отдельными этапами ЖЦ ИСП.

Далее рассмотрим предложенную автором концепцию цифровой информационной модели (ЦИМ) по стадиям ЖЦ. При разработке концепции ЦИМ автор за основу брал следующие документы:

1) проект ГОСТ Р 10.00.0004-202X, стандарт которого не утвержден на момент 1 квартала (январь) 2026 года;

2) СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели



объектов на различных стадиях жизненного цикла», стандарт которого утвержден приказом Минстроя 31 декабря 2020 г. (№ 928/пр).

На рисунке 4 в/о 2-5/А-Б расположена ЦИМ, глобально разделенная на информационную модель объекта (PIM), функционирующая до ввода объекта в эксплуатацию, и информационную модель актива (AIM), функционирующую после ввода объекта в эксплуатацию соответственно.

Согласно ЖЦ, расположенному в/о 1-7/Б-В, до ввода в эксплуатацию объект «переживает» 4 стадии, вследствие чего имеем четыре ЦИМ в модели объекта PIM, классификация которых следующая:

1) Концептуальная/ОБИН, с уровнем проработки ЦИМ «A(LOD100)»;

2) Проектная ПД, с уровнем проработки ЦИМ «B(LOD200)»;

3) Строительная/«Проектная РД», с уровнем проработки ЦИМ «C1(LOD300)»;

4) Исполнительная/«Как построено», с уровнем проработки ЦИМ C2(LOD400).

После 4-х стадий вводим объект в эксплуатацию и переходим к 5-ой стадии:

5) Эксплуатационная, с уровнем проработки ЦИМ «D(LOD500)».

Переходим из модели объекта PIM в модель актива AIM, откуда из существующей модели с уровнем проработки ЦИМ «C2(LOD400)», где уже были внесены все корректировки после фактического монтажа с учетом 4D времени и 5D стоимости, а также с имеющимися актами выполненных работ соответственно, данные передаем эксплуатирующей компании объекта ЖЦ, уровень проработки ЦИМ который меняется на «D(LOD500)» (получаем 6D модель управления с добавленной технической информацией для эксплуатации). То есть данная эксплуатационная модель 6D уже содержит необходимые данные, сведения и параметры для последующей эксплуатации, а служба эксплуатации на начальных этапах ИСП при разработке ЗнП/ТЗ модели PIM уже выставляет «сквозные» эксплуатационные требования к будущему объекту на состояние «как

построено» о необходимом функционировании объекта ЖЦ. И следом за «сквозными» эксплуатируемыми требованиями в ЗнП/ТЗ и формируем критерии к ПИР, СМР, капитальному ремонту и сносу объекта ЖЦ => эксплуатация (потребитель) в том числе формирует требования к ЗнП/ТЗ до ПИР и СМР.

#### Выводы:

1. Таким образом, если далее нашу существующую 6D модель связать с системами управления объекта ИСП, в которых датчики/контроллеры и автоматизация (IoT), то это и будет являться процессом создания цифрового двойника или 7D модели.

2. На данный период 1 квартала (январь) 2026 года нормативная база РФ не предусматривает цифрового двойника (развитие ЦИМ ЖЦ ИСП в РФ на данный момент находится на этапе эксплуатации, т.е. до 6D включительно), который и будет являться динамической виртуальной моделью здания, синхронизируясь с возведенным объектом ЖЦ ИСП. То есть цифровой двойник будет иметь реальные актуальные данные о состоянии объекта, оборудования и окружающей среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калимуллин, Р. Р. О возможности применения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов в домах жилого фонда / Р. Р. Калимуллин, О. Г. Никонова // Неделя науки СПбПУ : сб. матер. Всеросс. конф., 26-30 апреля 2021 г. – Ч. 1. – СПб. : 2021. – 455 с.

**Калимуллин Роман Ралифович** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: coninsol@yandex.ru;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОЖАРНОЙ ЧАСТИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ

**А. С. Каменецкий, Л. В. Куликова**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул, Россия

*В статье рассмотрено технико-экономическое обоснование строительства пожарной части в г. Барнауле, проведено маркетинговое исследование по данной тематике, представлено вариантное проектирование объекта при помощи быстровозводимых модульных конструкций и типового проекта пожарного депо, просчитан укрупненный расчет стоимости строительства.*

**Ключевые слова:** пожарное депо, анализ местоположения, укрупненная стоимость строительства, вариантное проектирование, типовый проект, быстровозводимые конструкции.

При комплексном развитии территорий необходимо обязательно строительство объектов социальной сферы, в том числе объектов пожарной и общественной безопасности. Повышение уровня безопасности населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий было и остается одним из приоритетных направлений развития РФ и Алтайского края.

На сегодняшний день в г. Барнауле и его окрестностях функционируют 25 пожарных частей и отрядов, территориальное расположение которых представлено на рисунке 1.

Основными требованиями к пожарным частям по их местоположению остаются критерии доступности и оперативного реагирования на вызов:

- пожарные подразделения должны прибыть к месту вызова не более чем за 10 минут с момента сообщения о пожаре в городах и населенных пунктах;
- время сбора и выезда не более 1 минуты с момента поступления сигнала до выезда из гаража;
- время следования не более 9-10 минут от выезда из гаража до прибытия на место пожара.

Была проанализирована карта пожароопасных районов города (рисунок 2) и местоположения пожарных частей согласно перечисленным критериям выше.

Были обнаружены участки, где наблюдается острая нехватка пожарных депо, а именно: район 1 из поселков Черницк, Мохнатушки, Центральный и район 2 из поселков Конюхи и Бельмесево, куда пожарные наряды не успевают приехать в срок.

На рисунке 3 представлено среднее время прибытия пожарных нарядов в разные

точки районов при нормальной дорожной ситуации в условиях действующих пожарных депо.

Пожарная часть рекомендована для строительства п. Бельмесево (Барнаул, городской округ) для обеспечения безопасности самого поселка, а также находящихся вблизи: п. Конюхи, производственных и коммунально-складских зон, производственных зон сельскохозяйственных предприятий и территории дачных некоммерческих объединений граждан г. Барнаула.

Альтернативный вариант: п. Черницк, вблизи которого расположены п. Центральный, п. Мохнатушка и подверженный пожарам объект природного наследия – Ленточный бор.

Согласно ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» здания пожарных депо в зависимости от назначения, количества автомобилей, состава помещений и их площадей подразделяются на типы, представленные на рисунке 4.

- I пожарные депо на 6, 8, 10 и 12 автомобилей для охраны городских поселений;
- II пожарные депо на 2, 4 и 6 автомобилей для охраны городских поселений;
- III пожарные депо на 6, 8, 10 и 12 автомобилей для охраны организаций;
- IV пожарные депо на 2, 4 и 6 автомобилей для охраны организаций;
- V пожарные депо на 1, 2, 3 и 4 автомобиля для охраны сельских поселений [2].

Согласно СП 380.1325800.2018 здания при проектировании на территории пожарных депо следует выполнять зонирование в зависимости от их класса функциональных особенностей (рисунок 4).

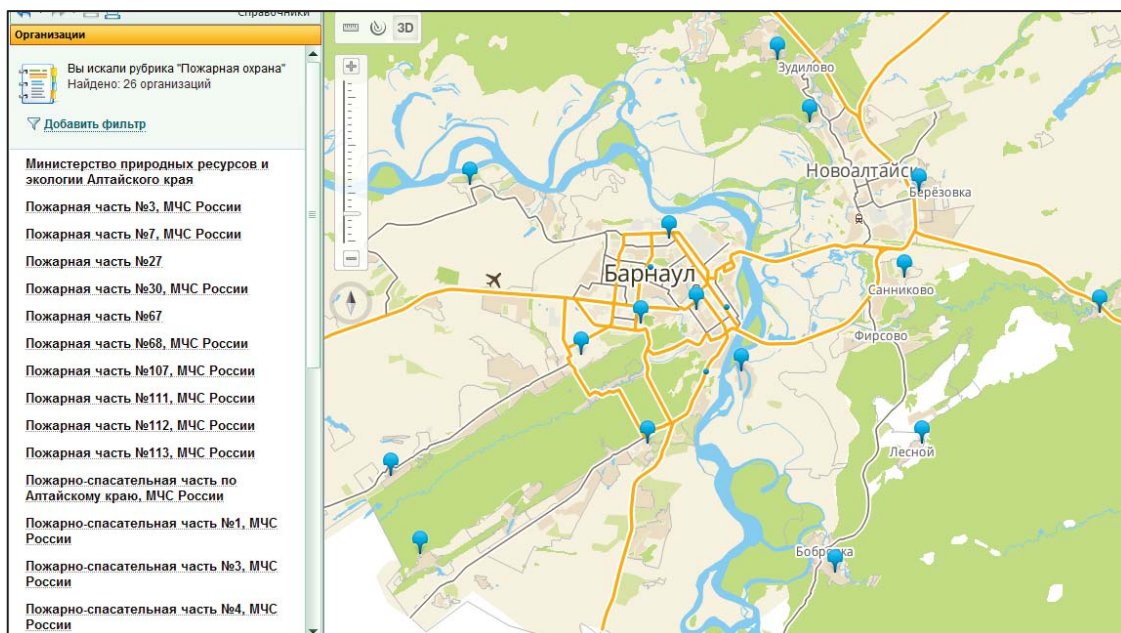


Рисунок 1 – Территориальное расположение пожарных частей г. Барнаула и его окрестностей

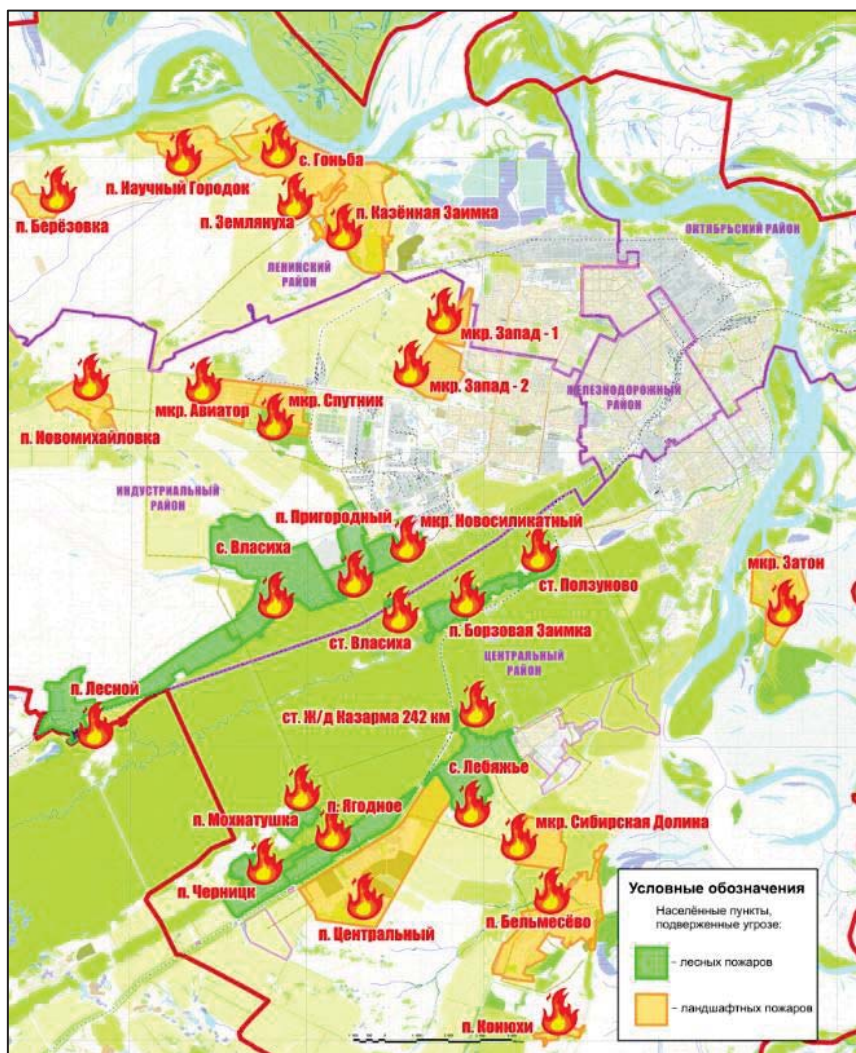


Рисунок 2 – Карта пожароопасных районов г. Барнаула и его окрестностей



## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОЖАРНОЙ ЧАСТИ В ГОРОДЕ БАРНАУЛЕ

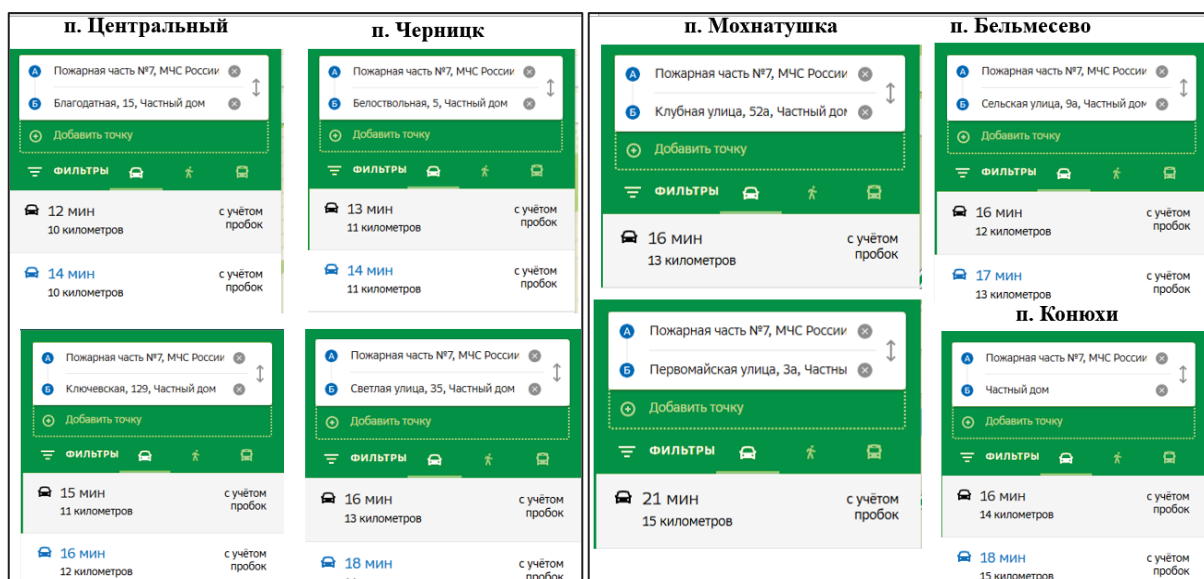


Рисунок 3 – Среднее время прибытия пожарных нарядов в разные точки районов 1 и 2



Рисунок 4 – Основное зонирование пожарных депо

При этом учитываются следующие параметры:

- оснащение депо пожарными автомобилями по ГОСТ Р 53247;
- специфика объектов защиты;
- выбор на обслуживаемой территории наиболее пожароопасных объектов;
- требуемый расход воды на наружное пожаротушение;
- однородность средств пожаротушения;
- особенности объемно-планировочных и конструктивных решений строительных объектов;
- показатели пожарной опасности, токсичности, химической активности хранящихся и обращающихся на производственных объектах веществ и материалов [1].

Конструктивное решение пожарного депо можно реализовать при помощи модульных быстровозводимых конструкций или при помощи типового проекта.

Быстровозводимые пожарные депо и модульные здания МЧС имеют несколько преимуществ, так как могут быть установлены на временной базе для обеспечения пожарной безопасности в районах, где нет благоустроенных помещений для пожарной охраны. Могут использоваться в качестве временного места для содержания пожарной техники (пожарные машины и цистерны) и снаряжения в случае чрезвычайных ситуаций.

Основным преимуществом модульного пожарного депо является быстрота и простота монтажа. Все элементы депо производятся

на заводе и поставляются на объект в готовом виде, что значительно сокращает время на строительство. Можно добавить или убрать отдельные модули, увеличить или уменьшить площадь депо, добавить дополнительные помещения или изменить их назначение. Кроме того, благодаря заводскому производству, модули имеют высокое качество и точность сборки, что обеспечивает их

долговечность и надежность. Пример такого депо представлен на рисунке 5 (разработчик ООО Конвейт). В состав входят ангары для пожарных машин и модульные здания для размещения дежурного, диспетчера и казармы для личного состава. Может быть возведен стационарный отдельный пост пожарно-спасательной части.



Рисунок 5 – Пример модульного быстровозводимого пожарного депо на 4 выезда

The image displays three architectural drawings of a fire station building:

- Фасад 1-11 (Elevation 1-11):** A side elevation showing a building with a red and white facade, a central entrance with a green awning, and a tall chimney-like structure on the right. Elevation markers include +3.900, +4.960, and -0.200. A horizontal dimension of 17.195 is indicated.
- Фасад А-1с (Elevation A-1c):** Another side elevation showing the building's profile with a red and white facade, a central entrance, and a tall chimney-like structure. Elevation markers include +3.900, +4.960, and -0.200. A horizontal dimension of 20.200 is indicated.
- Разрез 1-1 пожарного депо (Section 1-1 of the fire station):** A cross-section drawing showing the internal structure, including the roof, walls, and floor. It includes various elevation markers (e.g., +3.900, +4.960, +0.500, +0.000, -0.300, -0.560, -2.160) and horizontal dimensions (e.g., 6000, 4800, 3600, 250, 470). The section is labeled with 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, and 11.

65



Комплекс здания пожарного депо и прилегающая территория может использоваться для проведения тренировок и учений пожарных.

Общая площадь 648 м<sup>2</sup>. Габаритные размеры здания 36×15×6 м. Материал каркаса пола/потолка сложно гнутый профиль 60×70×215×4 мм. Материал облицовки основания модуля ЦСП 16 мм. Покрытие (крыша) модуля оцинкованный лист толщиной 0,45 мм.

Степень огнестойкости II. Класс сейсмостойкости – 8 баллов по MSK64.

Укрупненная стоимость строительства составляет 45400000 руб. (70000 руб./кв.м.)

Типовое депо разработано в связевом варианте сборного железобетонного каркаса с колоннами сечением 300×300 мм, 300×400 мм, с кирпичными вставками. Шаг колонн 6 м (рисунок 6).

Проектируемое здание пожарного депо предназначено для работы, проживания и повышения квалификации личного состава МЧС.

Конструктивная схема – смешанная: железобетонный каркас и самонесущие кирпичные стены. Фундаменты здания ленточные сборные, под колонны установлены сборные железобетонные стаканы. Габариты здания в осях:

- депо – 43,04×18,0 м.;
- жилая часть – 14,94×4,53 м.;
- учебно-тренировочная башня – 6,56×6,68 м.

Здание разной этажности: депо – одноэтажное здание с высотой этажа 3 м, высота гаража – 3.9 м, жилая часть занимает 4 этажа, каждый высотой 2.68 м, учебно-тренировочная башня является 5-ти этажным

сооружением, высота 1-го этажа – 1,8 м, последующих – 1,65 м.

Укрупненный расчет стоимости строительства производился при помощи сборника НЦС 81-02-02-2025 Административные здания. В качестве объекта аналога выбрано Здание пожарного депо II типа на 4 машино-места, стоимость одного составляет 77608,72 руб. Укрупненная стоимость строительства составляет 338662380 руб. (в ценах на 4 квартал 2025 г.)

Выбор объемно-планировочных и конструктивных решений проекта остается на усмотрение заказчика.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 380.1325800.2018. Здания пожарных депо – Доступ из электронного фонда нормативно-технической и нормативно-правовой информации ТехЭксперт. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/551394481> (дата обращения: 20.02.2026).

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с ред. от 25.12.2023г.) – Доступ из электронного фонда нормативно-технической и нормативно-правовой информации ТехЭксперт. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 20.02.2026).

**Каменецкий Артур Сергеевич** – студент группы СУЗ-31 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова;

**Куликова Людмила Владимировна** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: [lyutova\\_lyudmila@mail.ru](mailto:lyutova_lyudmila@mail.ru).

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

И. В. Карелина, А. В. Галле

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Развитие науки предлагает новые возможности, о которых ранее можно было прочитать в книгах с фантастическим жанром. Примером таких новшеств в строительстве и архитектуре являются аддитивные технологии, которые позволяют слой за слоем создавать трехмерные объекты с помощью специального оборудования – 3D принтера. Чаще всего для такой печати используют пластик, металл или бетон. Уникальность этой технологий позволяет построить дома с разными архитектурными формами или произвести отдельные детали, которые в дальнейшем будут являться строительным элементом объекта. В статье рассматриваются вопросы использования аддитивных технологий в строительстве и архитектуре. Приводится область применения 3D принтеров в строительстве, даются пояснение о процессе производства работ промышленного оборудования для печати. Приводятся некоторые примеры реализованных проектов в этой области строительства, как в России, так и за рубежом. Рассматриваются преимущества и недостатки 3D-печати в строительстве. Даются пояснения о том, что аддитивные технологии имеют огромный потенциал для будущего развития строительной отрасли и создания более устойчивой и безопасной среды.*

**Ключевые слова:** строительство, аддитивные технологии, 3D-печать, 3D принтер.

Аддитивные технологии, такие как 3D-печать, постепенно революционизируют архитектуру и строительство. Это современные методы производства строительных работ, основанные на послойном нанесении материала с помощью промышленного 3D принтера. В производстве работ используются мелкозернистые смеси, из которых происходит изготовление конструкций, из которых впоследствии получаются здания и сооружения.

Технологии аддитивного строительства предлагают новые возможности для создания уникальных конструкций и ускорения строительного процесса. Потенциальная область применения 3D принтеров в строительстве почти безгранична:

- печать строительных блоков – создание индивидуальных блоков и компонентов, которые легко собираются на месте;
- возведение домов – строительство небольших жилых домов с помощью крупных 3D принтеров;
- архитектурные макеты – изготовление детализированных моделей зданий и сооружений для презентаций и проектирования;
- создание сложных форм – производство элементов с уникальной геометрией, которые сложно выполнить традиционными методами.

На сегодняшний день в мире существует множество видов аддитивных технологий, но

в производстве строительных работ используется практически исключительно 3D-печать. С помощью технологий 3D-печати специалисты строительной компании за счет универсальности процесса изготовления изделий могут создавать практически любые объекты. Вначале в промышленное оборудование для печати загружается материал, при этом состав материалов может различаться в зависимости от назначения конечной продукции и особенностей 3D-принтера. Например, для производства несущих и внешних конструкций используется мелкозернистая бетонная смесь; для производства менее масштабных изделий, таких как детали или соединительные конструкции, используются специальные порошки для 3D-печати. Они могут быть созданы на основе металла, керамики, имитирующих дерево материалов и прочее

Сам процесс производства любых бетонных изделий с помощью 3D-принтеров заключается в послойном нанесении материала, который затвердевая, позволяет получить монолитную структуру. Чаще всего затвердевание данных объектов происходит естественным путем. Однако при производстве изделий из порошка применяются различные способы нагревания материалов, такие как, например лазерная сварка. После застывания изделия можно применять в работе. Та-

кой метод производства работ можно использовать в любых масштабах строительства.

Применение технологий 3D-печати в строительстве позволяет печатать конструкции и получать изделия любой формы и сложности, начиная от простых заграждений и заканчивая сложными архитектурными объектами. Кроме того, эти технологии могут быть использованы для создания не только деталей для строительства, но и для вспомогательных элементов: опалубки, строительных лесов и т.д. Они также могут использоваться для восстановления и реставрации какого-либо объекта, например старинных зданий и сооружений.

Применение аддитивных 3D технологий в строительстве не ограничивается только созданием рабочих конструкций и изделий для производства работ. Их можно использовать для создания уникальных декоративных элементов для дизайна интерьеров и экстерьеров. Например, аддитивные технологии могут быть использованы для создания имитации кованых элементов или лепнины.

Изготовление декоративных изделий при помощи 3D-оборудования значительно снижает стоимость их производства.

Во-первых, они могут печататься на основе готовой цифровой модели, что позволяет наладить промышленное производство элементов декора.

Во-вторых, за счет использования быстрозастывающих материалов сокращается количество времени, необходимое для производства изделий.

В-третьих, печать сокращает затраты на оплату ручного труда.

В то же время, если в производстве изделий используются материалы, имитирующие натуральные, то после шлифовки и обработки их финальное качество будет ничуть не ниже среднего по рынку, и может быть даже выше, чем, например, у изделий промышленной штамповки.

Аддитивные технологии, такие как 3D-печать и строительство с использованием роботов, становятся все более популярными в строительной индустрии благодаря своей высокой эффективности и потенциальным преимуществам, таким как сокращение времени и затрат на строительство, возможность создания сложных форм и т.д.

Можно привести несколько примеров успешных проектов в этой области строительства.

Дома в Китае – компания WinSun построила несколько домов с использованием 3D-печати за считанные дни. Для создания

жилого дома и виллы (рисунки 1, 2) была использована смесь, изготовленная из переработанного строительного мусора, цемента, стали, стекловолокна и специальных добавок [1]. Детали здания были напечатаны на заводе компании WinSun и собраны в промышленном парке Сучжоу, который находится неподалёку от Китая. Строительный принтер, с помощью которого были созданы эти шедевры строительного мастерства, занимает в высоту 7 м, в ширину 10 м и имеет платформу длиной 150 м. Принтер строит дома методом послойной печати.

«Офис Будущего» (Office of the Future) в Дубае (ОАЭ) – первый в мире офис площадью 250 м<sup>2</sup>, напечатанный на 3D-принтере и построенный за 19 дней, включая оформление интерьеров и подключение всех коммуникаций (рисунок 3). Чистейше белый офис футуристического вида в духе Захи Хадид печатался, в основном, на огромном 3D-принтере (размеры 6 × 36 × 12 м), который и выполнил основную работу [2]. Печать производилась путем экструзии цементной смеси слой за слоем. Также были задействованы небольшие мобильные 3D-принтеры. Как сообщается в официальном пресс-релизе правительства ОАЭ, все строительные материа-



Рисунок 1 – 5-этажный жилой дом, построенный на 3D-принтере



Рисунок 2 – Вилла площадью 1000 м<sup>2</sup>, созданная по технологии аддитивного производства





Рисунок 3 – Офис Будущего (Office of the Future) в Дубае

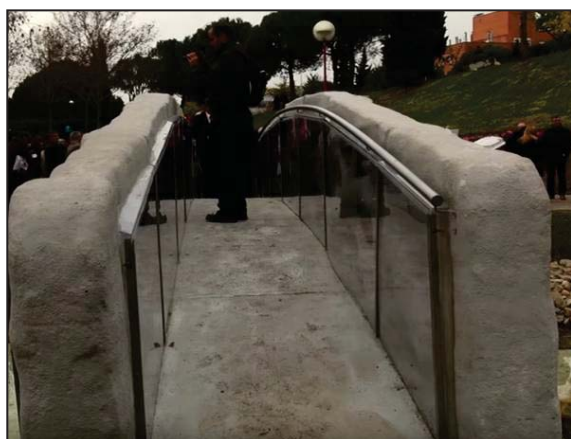


Рисунок 4 – Необыкновенный мост был разработан с помощью методов органической и биомиметической архитектуры и напоминает природные формы окружающей среды



Рисунок 5 – «Напечатанный» дом в Ярославле

лы были изготовлены в США и ОАЭ, прошли испытания в Китае и Великобритании. А полукруглые формы были выбраны в целях безопасности и для обеспечения устойчивости здания.

Мост в Испании – первый 3D-печатный пешеходный мост в парке Кастилья Ла Манча

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 1 2026

(г. Мадрид), полностью изготовленный из бетона (рисунок 4). Архитектурный дизайн моста, представляющего собой 8 отдельных частей, соединённых друг с другом. Строение составляет 12 м в длину и 1,75 м в ширину и знаменует собой начало нового этапа в гражданском строительстве – сфере, в которой до сегодняшнего дня к аддитивному производству относились с некоторым недоверием [3].

Первый в Европе жилой дом площадью почти 300 м<sup>2</sup> был напечатан на 3D-принтере и построен в Ярославле [4]. Презентация объекта состоялась 24 октября 2017 г. в Ярославском районе. Печатали здание по частям (стены дома, декоративные элементы, башню), везли на стройплощадку и собирали как конструктор. Коробка была смонтирована на фундаменте за месяц. Летом 2017 г. завершено устройство крыши и проведен основной объем внутренних отделочных работ. Сооружение полностью соответствует правилам и нормам индивидуального жилищного строительства.

Главными преимуществами аддитивных технологий в строительстве являются ускорение и удешевление процесса строительства, возможность создания уникальных и сложных конструкций и снижение затрат на производство. Кроме того, эти технологии позволяют снизить объем строительных отходов и использовать меньше материалов при производстве работ, использовать экологически чистые материалы, при этом имея возможность создавать сложные формы и детали.

В то же время существуют и недостатки аддитивных технологий в строительстве. В основном они включают ограниченный выбор материалов, высокую стоимость материалов и оборудования для производства работ - первоначальные инвестиции в 3D-принтеры и сопутствующее оборудование могут быть значительными. Кроме того, возможны проблемы с прочностью конструкций, созданных при помощи аддитивных технологий, по сравнению с традиционными методами строительства – не все строительные материалы могут быть использованы в 3D-печати, что ограничивает возможности. И как, вывод – необходимость обязательной сертификации по строительным нормам.

Перспективы развития аддитивных технологий в строительстве очень обширны. В будущем 3D-печать может быть использована для создания зданий и сооружений любой формы и сложности, а также для создания деталей из материалов с улучшенными свойствами прочности, теплоизоляции и т.д.

Кроме того, аддитивные технологии могут быть использованы для создания более безопасных зданий. Цифровая программа строительства, на основе которой принтер выполняет свои действия, с гораздо меньшей долей вероятности допустит ошибку при производстве работ, нежели человек. Также данный способ производства работ может стать новым словом в строительстве энергоэффективных зданий.

Сегодня аддитивные методы строительства уступает по этим показателям лишь монолитному способу строительства. Если в будущем специалисты смогут добиться большей толщины и прочности аддитивных конструкций, то этот способ строительства станет самым конкурентноспособным по этим показателям среди всех остальных.

Методы аддитивного строительства – это новый этап развития отрасли, который открывает новые возможности для создания уникальных конструкций и ускорения процесса производства работ.

Несмотря на некоторые недостатки, эти технологии имеют огромный потенциал для будущего развития строительной отрасли и создания более устойчивой и безопасной среды.

Технология 3D печати в целом и печати здания в частности молода. Но параллельность развития технологий, их взаимопересечение, темпы развития позволяют прогнозировать развитие и востребованность техно-

логии 3D-печати в строительстве и архитектуре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статья сайта новостей 3D Today (электронный ресурс). – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/construction-3d-printing-how-does-the-quiet-company-winsun-industrial-> (дата обращения: 8.02.2026).
2. Онлайн-медиа для архитекторов и дизайнеров (электронный ресурс). – Режим доступа: - [https://www.architime.ru/news/gensler/dubai\\_future\\_foundation.htm](https://www.architime.ru/news/gensler/dubai_future_foundation.htm) (дата обращения: 8.02.2026).
3. Сайт проектов (электронный ресурс). – Режим доступа: <https://archi.ru/tech/72455/v-ispanii-na-d-printere-napechatali-betonnyi-most> (дата обращения: 8.02.2026).
4. Сайт компании ООО «СТРОЙИНЛОК» (электронный ресурс). – Режим доступа: <https://www.stroyinlock.ru/news/v-yaroslavle-postroili-pervyy-zhiloy-dom-napechatanny-na-3d-printere/> (дата обращения: 8.02.2026).

**Карелина Ирина Владимировна** – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [karelina7@mail.ru](mailto:karelina7@mail.ru);

**Галле Анастасия Владимировна** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [nngalle@mail.ru](mailto:nngalle@mail.ru).

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Д. Е. Киржаев, И. В. Носков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Интенсификация использования подземного пространства в крупных городах России и мира приводит к необходимости устройства глубоких котлованов в условиях предельно стесненной городской среды. Данная работа направлена на анализ современных технологий ограждения котлованов, применяемых вблизи существующих зданий и инфраструктуры. Целью исследования является выявление преимуществ, ограничений и областей рационального применения различных технологий на основе сравнительного анализа по ключевым критериям: геотехническая безопасность, минимизация воздействия на окружающую среду, технологичность и экономическая эффективность. В статье проведена систематизация технологий («стена в грунте», буросекущие сваи, шпунтовые ограждения с различными методами погружения, «берлинская» стена, комбинированные методы), сформирована иерархия факторов выбора и выделены современные тенденции, такие как обязательный геотехнический мониторинг и комбинирование технологий.*

**Ключевые слова:** глубокий котлован, плотная городская застройка, ограждение котлована, стена в грунте, буросекущие сваи, геотехнический мониторинг, деформации, шпунтовое ограждение, наблюдательный метод.

Рост плотности застройки современных мегаполисов и дефицит свободных территорий делают экономически и градостроительно целесообразным активное освоение подземного пространства. Строительство многоуровневых подземных паркингов, торговых комплексов, объектов транспортной инфраструктуры и фундаментов высотных зданий связано с необходимостью устройства котлованов значительной глубины [1]. Основная проблема заключается в выполнении этих работ в непосредственной близости от исторических зданий, действующих инженерных коммуникаций, транспортных магистралей и объектов метрополитена, чувствительных к любым подвижкам грунта [2].

Существующие нормативные документы (СП 45.13330.2017, СП 22.13330.2016) задают общие рамки, однако выбор конкретного технического решения требует глубокого анализа множества взаимосвязанных факторов. Неверный выбор технологии ограждения котлована может привести к недопустимым деформациям окружающей застройки, аварийным ситуациям, существенному удорожанию проекта и социально-экономическим издержкам [3].

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа современных технологий: устройства ограждений глубоких котлованов для условий плотной го-

родской застройки с формированием системы критериев для обоснованного выбора оптимального решения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- систематизировать и классифицировать современные технологии ограждения котлованов;
- выделить ключевые критерии для их сравнительного анализа, приоритетные для городских условий;
- провести анализ преимуществ, недостатков, ограничений и областей эффективного применения каждой технологии;
- сформулировать рекомендации по выбору технологии на основе комплексного учета исходных данных.

### Классификация современных технологий ограждения котлованов

Классификация и характеристика современных технологий ограждения котлованов представлены в таблице 1.

Современные технологии можно классифицировать по нескольким признакам: материалу, способу устройства (до или в процессе разработки котлована) и конструктивной схеме работы.

Для условий плотной застройки критически важным является классификация по уровню воздействия на окружающую среду в процессе устройства.



Таблица 1 – Классификация и характеристика современных технологий ограждения котлованов

| Технология устройства | Безопасность при устройстве | Воздействие на среду при устройстве  | Основные ограничения, риски                    |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| «Стена в грунте»      | Высокая                     | Очень низкое (безударный метод)      | Высокая стоимость, качество швов               |
| Буросекущие сваи      | Высокая                     | Низкое (вибрации только при бурении) | Риск отклонения свай, негерметичность          |
| Шпунт (вдавливание)   | Средняя                     | Низкое (при вдавливании)             | Ограниченная глубина, шум при извлечении       |
| «Берлинская» стена    | Средняя                     | Среднее (зависит от метода)          | Невозможность применения при близкой застройке |

### Технологии «мокрого» типа (устройство до разработки котлована).

Данные методы характеризуются минимальным динамическим воздействием на грунт:

- Технология «стена в грунте» включает в себя последовательную разработку узких траншей под глинистым раствором (бентонитовой суспензией), предотвращающим обрушение стенок, с последующим монтажом арматурного каркаса и бетонированием. Позволяет создавать монолитные железобетонные стены глубиной до 50 м и более с высокой жесткостью и водонепроницаемостью [4]. Является «золотым стандартом» для котлованов в непосредственной близости от особо ответственных объектов. Основными недостатками являются высокая стоимость, необходимость организации полигона для приготовления и очистки бентонита, сложность контроля качества рабочих швов;

- При технологии буросекущих свай стена формируется из ряда пересекающихся (секущих) буронабивных свай. Различают стены из жестких (железобетонные сваи) и гибких (металлошпунт между сваями) секущих элементов.

Технология более универсальна в различных грунтовых условиях по сравнению со «стеной в грунте», но также требует применения бентонита или глинистого раствора. Обеспечивает хорошую водонепроницаемость при качественном выполнении.

### Технологии «сухого» типа (могут устраиваться параллельно с разработкой).

Таковыми технологиями являются:

- Шпунтовое ограждение – основным преимуществом является скорость монтажа готовых элементов. Ее ключевым аспектом являются методы погружения, такие как забивка – вызывает сильные вибрации и динамические воздействия, не приемлема в плотной застройке, вибропогружение – менее воздействующий метод, но также генерирует вибрации, статическое вдавливание – наи-

более предпочтительный метод для городских условий, обеспечивающий минимальный уровень шума и вибраций [5]. Шпунт часто арендуется, что может быть экономически выгодно, а его извлечение после использования минимизирует воздействие на геологическую среду.

- «Берлинская» (анкерная) стена, конструкция которой состоит из вертикальных несущих элементов (забивных или буронабивных свай, шпунта), расположенных с шагом 1,5-3 м, и горизонтальных распорок из дерева, железобетона или металлопроката, которые могут быть заменены грунтовыми анкерами. Эта технология относительно экономична, но ее применение ограничено необходимостью наличия зоны для закрепления анкеров за пределами призмы возможного обрушения грунта, что в плотной застройке часто невозможно.

### Комбинированные и усиливающие технологии (часто применяются как дополнение к основным для повышения безопасности).

Таковыми технологиями могут быть:

- грунтовые анкеры, которые позволяют отказаться от внутренних распорок, освобождая пространство котлована. Требуют надежного грунтового массива для заделки;

- струйная цементация позволяет создавать в грунте массивы и стенки заданной геометрии с повышенной прочностью и водонепроницаемостью. Используется для устройства противофильтрационных завес, усиления основания или локальной стабилизации грунта [6].

- инъекционное закрепление грунтов применяется для стабилизации слабых или обводненных грунтов.

### Критерии сравнительного анализа и оценка технологий.

Для объективного выбора технологии в условиях плотной застройки необходима система критериев, расположенных по важности.

Система оценочных критериев:

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

- геотехническая безопасность и надежность способна обеспечить устойчивость откосов, ограничить горизонтальные и вертикальные перемещения, противостоять гидростатическому давлению;

- минимизация воздействия на окружающую среду уровень шума, вибраций, динамических ударов в процессе монтажа;

- способность системы эффективно сдерживать деформации окружающей застройки;

- технологичность в стесненных условиях зависит от наличия свободных площадок для оборудования, возможности работы в любое время года, скорости производства работ, минимизации логистических проблем.

- экономическая эффективность включает в себя удельную стоимость, включая материалы, оборудование и работы. Учитывается возможность повторного использования элементов (аренда шпунта).

Для выбора оптимальной технологии необходимо смотреть на тенденции развития и расставлять приоритеты:

- приоритет 1: расстояние до и состояние существующих объектов (исторические здания, метро);

- приоритет 2: гидрогеологические условия (уровень грунтовых вод, наличие водонесных горизонтов);

- приоритет 3: геологические условия (тип и свойства грунтов);

- приоритет 4: глубина и конфигурация котлована;

- приоритет 5: сроки и бюджет проекта.

Современные тенденции:

- комбинирование технологий: например, «стена в грунте» плюс инъекционное закрепление для повышения водонепроницаемости; шпунт + струйная цементация для усиления в слабых грунтах.

- переход от пассивного ограждения к активному контролю деформаций: использование систем предварительного натяжения распорок и анкеров для создания начального «отпора» и управления смещениями.

- интеграция BIM и геотехнического мониторинга: информационное моделирование позволяет на стадии проекта смоделировать поведение ограждения и грунтового массива.

Мониторинг в реальном времени (наклонометры, тензодатчики, нивелировка) становится неотъемлемой частью технологического процесса, реализующей наблюдательный метод (метод К. Терцаги), когда проект корректируется по ходу строительства на основе фактических данных [7].

### Выводы:

1. Для устройства глубоких котлованов (глубиной более 15-20 м) в непосредственной близости от уникальных и исторических зданий приоритет следует отдавать технологиям «стена в грунте» и буросекущим сваям, обеспечивающим максимальную жесткость ограждения и минимальное воздействие на грунт в процессе устройства.

2. В условиях умеренно плотной застройки при наличии технической возможности эффективным решением является шпунтовое ограждение, погружаемое методами статического вдавливания, что обеспечивает разумный баланс стоимости, скорости и безопасности.

3. Выбор технологии должен базироваться не только на нормативных упрощенных расчетах, но и на обязательном прогнозе деформаций методом конечных элементов (МКЭ) с учетом последовательности производства работ.

4. Ключевым элементом успешной и безопасной реализации любого проекта является внедрение комплексной системы геотехнического мониторинга, интегрированной в процесс строительства и позволяющей оперативно реагировать на отклонения от прогнозируемого поведения системы «ограждение – грунтовый массив – существующие сооружения».

5. Наблюдается устойчивая тенденция к комбинированию различных технологий для достижения оптимального результата по критерию «надежность – стоимость – сроки», что требует от проектировщиков и строителей высокой квалификации и системного подхода.

6. Проведенный анализ и сформулированные рекомендации позволяют научно обосновать выбор технологии на ранних стадиях проектирования, что является залогом минимизации рисков, сокращения непредвиденных затрат и обеспечения устойчивого развития городской среды при интенсивном подземном строительстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский. – М. : Изд-во АСВ, 2018. – 567 с.

2. Труханов, А. М. Устройство ограждений котлованов в сложных городских условиях / А. М. Труханов // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 5. – С. 45-51.

3. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. – М. : Минстрой России, 2017. – 212 с.

4. Карлов, В. Д. Современные технологии «стены в грунте»: материалы и методы / В. Д. Карлов, А. С. Демьянов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 3. – С. 22-27.

5. Петрухин, В. П. Опыт применения технологии статического вдавливания шпунта в центре Москвы / В. П. Петрухин, Р. К. Зиангиров // Геотехника. – 2021. – № 2. – С. 34-41.

6. Бронин, В. Г. Струйная цементация в проектах усиления оснований и ограждения котлованов / В. Г. Бронин, С. Ю. Колчин // Вестник МГСУ. – 2018. – № 13(11). – С. 1240-1251.

7. Peck, R. B. Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics //

Géotechnique. – 1969. – Vol. 19, № 2. – P. 171-187.

**Киржаев Денис Евгеньевич** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: vladislav.galchin@yandex.ru;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

УДК 620.19

## ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ЗАПОЛНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

**Е. М. Киселев, И. А. Бахтина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены типы вентиляторов, применяемых в отопительно-вентиляционных системах, их основные характеристики и область применения. Описаны основные этапы внесения необходимых данных в таблицу характеристик отопительно-вентиляционных систем для подбора оборудования систем вентиляции зданий.*

**Ключевые слова:** характеристик отопительно-вентиляционных систем, системы вентиляции, оборудование, характеристики, подбор оборудования.

Системы вентиляции относятся к инженерным системам и предназначены для создания благоприятного состояния воздушной среды человека. Для этого в системе вентиляции используется оборудование, которое создает воздушный поток, обрабатывает воздух и распределяет воздушный поток, обеспечивая в зданиях необходимые параметры внутреннего воздуха. К таким параметрам относятся воздухообмен, чистота, влажность, температура воздуха и т.п. Важным этапом является подбор требуемого оборудования [1, 2].

Таблица характеристик отопительно-вентиляционных систем (ХОВС) отображает основные данные оборудования, применяемых на объекте. В таблицу включаются данные о всех механических системах общеобменной и противодымной вентиляции, воздушно-тепловых завесах, наружных и внутренних блоков кондиционирования. Для каждой системы выделяется отдельная строка.

Таблица ХОВС сохраняется в папке с расчётами для данного объекта в формате «.xlsx» (Excel). Она заполняется в два этапа.

На первом указываются напорные характеристики систем (расход и давление), комплектация вентиляторов (шумоглушители и т.д.) их месторасположение и климатические исполнение, а также тип вентилятора.

На первом этапе заполнения таблицы ХОВС указываются имена всех систем механической вентиляции, ВТЗ и блоков кондиционеров. Имена систем необходимо брать из модели, используя диспетчер инженерных систем, и заполнять их в первый столбец таблицы. Если в процессе переноса систем нашлись системы, которых не должно быть, нужно проверить правильность их наименования и исправить имя системы, либо удалить лишние объекты.

После заполнения первого столбца нужно проверить все ли системы из стадии П есть в ХОВСе. Имя системы заполняется в столбец 1 (рисунок 1). В столбец 2 вносятся данные о резерве установок данных в стадии П: если на системе предусмотрен резервный вентилятор – ставится цифра 2, если не предусмотрен – 1.



## ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ЗАПОЛНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

| Обозначение системы | Кол. систем | Наименование обслуживаемого помещения (технологического оборудования) | Тип установки, агрегата |
|---------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1                   | 2           | 3                                                                     | 4                       |
| В1                  | 2           | Автоматика                                                            | Канальный               |

Рисунок 1 – Фрагмент № 1 таблицы ХОВС

| Вентилятор                    |      |    |      | Отопитель                     |                               |                               |                               | Воздухогреватель              |                               |                               |                               | Итого                         |                               |                               |                               |
|-------------------------------|------|----|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 5                             | 6    | 7  | 8    | 9                             | 10                            | 11                            | 12                            | 13                            | 14                            | 15                            | 16                            | 17                            | 18                            | 19                            | 20                            |
| Объемный расход воздуха, м³/ч | L    | P  | η, % | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C | Температура теплоносителя, °C |
| Общественная вентиляция       |      |    |      |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
| -                             | 1400 | 80 | 140  | 1400                          | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           |
| -                             | 1400 | 80 | 140  | 1400                          | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           | 140                           |

Рисунок 2 – Фрагмент № 2 таблицы ХОВС

В столбец 3 вносятся сокращенные данные о помещениях, обслуживаемых данной системой. При наличии нескольких секций указывается секция обслуживаемых помещений, например «Кухни секции 2». В 4 столбец указываются данные о типе установки, обычно эти данные указаны в стадии П.

Рассмотрим основные типы вентиляторов, области и условия их применения [3, 4].

Канальный вентилятор применяется на системах общеобменной вентиляции при расходе более 25 м³/ч, а также на системах подпора в зону МГН при расчёте на закрытую дверь.

Осевой вентилятор применяется на системах подпора и компенсации дымоудаления при расположении на кровле при боковом выходе из шахты, при установке в венткамерах и обслуживаемых помещениях.

Радиальный вентилятор, как правило, применяются на системах дымоудаления при установке в венткамере или на кровле при боковом выходе воздуховода из шахты.

Крышный вентилятор применяется на системах общеобменной и противодымной вентиляции при прямом выходе из шахты, на системы подпора лифта или лестничных клеток, в зависимости от удобства расположения. Крышные вентиляторы устанавливаются на монтажный стакан.

Приточно-вытяжная установка применяется на приточно-вытяжных системах с рекуперацией тепла (тепло вытяжного воздуха подогревает приточный воздух, тем самым на подогрев воздуха требуется меньше затрат энергии) или на системах с рециркуляцией (смешивание вытяжного воздуха с приточным). Устанавливаются в паре в одном мес-

те, как правило, друг над другом. Такие системы обозначаются как ПВ.

На следующем этапе заполняются столбцы 5, 6, 7 для подбора оборудования (рисунок 2).

В 5 столбце указывается исполнение вентилятора по взрывозащите. Для жилых, общественных и административных зданий, как правило, не требуется взрывозащищенное исполнение вентилятора и в столбец ставится прочерк. Промышленные вентиляторы во взрывозащищенном исполнении применяются в различных вентиляционных, производственных комплексах, в хранилищах ядовитых и токсичных веществ, на нефтегазовых и химических предприятиях для перемещения взрывоопасных пылегазовоздушных сред (например, при использовании на вытяжных системах из помещений для зарядки аккумуляторов – там выделяется взрывоопасный водород). Исполнение по взрывозащите указывается у производителя вентиляторов [5].

В 6 столбце указывается расход вентилятора из расчётов систем противодымной и общеобменной вентиляции. Для общеобменной вентиляции берется запас 10% по расходу воздуха. После подбора оборудования расход в столбце необходимо поставить в соответствии с проектным расходом. Запас на расход для подбора оборудования берется исходя из необходимости компенсации подсосов или утечек воздуха по воздуховодам.

В столбец 7 вносятся данные о потере сети из аэродинамического расчёта с учетом запаса 20%. При переносе данных для систем противодымной вентиляции необходимо обратить внимание на наличие запаса по давлению в самом расчёте. Например, для расчёта дымоудаления, программа КВМ-Дым считает давление вентилятора сразу с запасом 20%, следовательно, для таких систем дополнительно не стоит прибавлять давление.

Столбцы 8-11 заполняются после подбора оборудования на основе данных технического отчета.

Столбцы 12-18 заполняются для приточных систем при наличии фильтров и/или нагревателей.

В столбце 12 указывается тип воздухонагревателя для приточных систем, обычно эти данные указаны в таблице ХОВС стадии П или на принципиальных схемах. Также требования могут быть прописаны в техническом задании на проектирование (ТЗ). Водяные воздухонагреватели требуют подвода труб теплоснабжения. Нагрев воздуха происходит

| Воздухообмен           |     |                      |    |                | Примечание  |
|------------------------|-----|----------------------|----|----------------|-------------|
| Тип,<br>(наименование) | Кл. | Темп. охлаждения, °С |    | Расход<br>м³/ч |             |
|                        |     | От                   | До |                |             |
| 19                     | 20  | 21                   | 22 | 23             | 24          |
|                        |     |                      |    |                | Краткий: У3 |
|                        |     |                      |    |                | Краткий: У3 |

Рисунок 3 – Фрагмент № 3 таблицы ХОВС

за счёт тепла теплоносителя трубопроводов. Такие воздухонагреватели обычно используются на системах общеобменной вентиляции с расходом от 500 м³/ч. Электрические нагреватели нагревают воздух за счёт теплонагревательных элементов (ТЭНы) и они обычно используются на системах общеобменной вентиляции с расходом до 500 м³/ч и на системах подпора с подогревом в зону безопасности МГН.

В столбце 13 пишется количество воздухонагревателей.

В столбцах 14 и 15 указывается температура нагрева «от» и «до». Значение «от» указывается исходя из температуры воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0.92 СП 131.13330.2020, для удобства можно воспользоваться сайтом. Значение «до» указывается, исходя из максимальных значений температуры в помещениях, обслуживаемых системой из таблицы воздухообмена, или по данным из раздела «Отопление».

В 16 столбец указывается расход тепла для нагревателя. Расход тепла можно рассчитать, используя онлайн калькулятор; исходными данными при этом будут являться температура наружного, температура нагретого и расхода воздуха для системы.

В 17 столбец пишется тип фильтра. Грубая очистка – эффективность не ниже 40%, минимальный размер частиц от 10 мкм, класс фильтров G1-G4. Тонкая очистка – эффективность от 65%, размер частиц от 1 мкм, класс фильтров F5-F9. Эффективная очистка – эффективность от 85%, размер частиц от 0,3 мкм, класс фильтров H10-H14. Сверхэффективная очистка – эффективность 99%, размер частиц от 0,1 мкм, класс фильтров U15-U17.

Грубая очистка подходит там, где достаточно удалить пыль из поступающего воздуха. Тонкая очистка позволяет проводить гораздо более тонкую очистку. Для систем вентиляции жилых, административных и общественных зданий чаще всего используются фильтры класса очистки G4. Фильтры тонкой

очистки, как правило, применяются для систем обслуживающих «чистые помещения» по особым технологическим требованиям.

В 18 столбце указывается количество фильтров.

Для подбора оборудования для систем приточной вентиляции с охлаждением приточного воздуха в таблице ХОВС заполняются столбцы 19-24 (рисунок 3).

Столбцы 19-23 заполняются для систем приточной вентиляции с охлаждением приточного воздуха, аналогично воздухонагревателю, только расчёт проводится для теплового периода года. Зачастую такие системы отсутствуют для жилых зданий. Могут применяться, как правило, в общественных и административных зданиях.

В 24 столбец пишется примечание для установок. Туда необходимо вписать всю информацию о необходимом оборудовании и его комплектации и климатическом исполнении (например: «Канальный, У1, Шумоглушитель со стороны нагнетания»). Для систем дымоудаления также пишется режим работы, в котором указывается температура и время работы вентилятора (400°C/2 ч или 600°C/1,5 ч).

Тип исполнения вентиляторов определяется исходя из температуры дымового слоя, рассчитанной в программе КВМ-Дым. Как правило, для систем дымоудаления жилых, общественных и административных зданий по большей части применяются вентиляторы 400°C/2ч, т.к. температура находится в пределах 100-250°C. Для парковок указывается режим работы в зависимости от требований стадии П, например, (гостоянная работа на 50% от расчётного расхода, выход на расчётные показатели по датчику СО).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование : актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – Москва, 2021. – 34 с.
2. СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование Требования пожарной безопасности. – Москва, 2013. – 42 с.
3. Польковский, М. А. Виды рекуператоров для систем вентиляции / М. А. Польковский, И. А. Бахтина, Н. В. Гейко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : Матер. XIV Всерос. науч.-практ. конф. – Рубцовский индустриальный институт, Рубцовск, 2024. – С. 198-203.
4. Киселев, Е. М. Рекуперация тепла в системах вентиляции: принцип работы и варианты исполнения / Е. М. Киселев, И. А. Бахтина, Н. В. Гейко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : матер. XV Все-

рос. науч.-практ. конф. – Рубцовский индустриальный институт, Рубцовск, 2025. – С. 291-296.

5. Матвеев, К. В. Подбор сечений воздуховодов / К. В. Матвеев [и др.] // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : Матер. XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Рубцовский индустриальный институт, 2022. – С. 180 – 183.

**Киселев Егор Михайлович** – студент группы 8Соим-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail:mr.ega2015@mail.ru;

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: bia-altai@mail.ru.

УДК 624.072.14

## ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

**И. В. Ковтун, Е. Р. Кирколуп**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В данной статье на основе анализа подходов к оценке экономической эффективности применения преднапряженных перекрытий в монолитном домостроении выявлены и классифицированы технико-экономические преимущества технологии преднапряжения. Проанализированы факторы, сдерживающие ее широкое внедрение, с экономической точки зрения. Приведен обзор и сравнительная характеристика существующих методик и моделей оценки экономического эффекта преднапряжения перекрытий.

**Ключевые слова:** *предварительно напряженное перекрытие, монолитное домостроение, экономическая эффективность, технико-экономическое обоснование, жизненный цикл объекта строительства.*

Современное монолитное домостроение характеризуется поиском технологических решений, способных повысить эксплуатационные качества зданий при одновременном снижении материало- и энергоемкости. Одной из таких технологий является предварительное напряжение железобетонных конструкций, в первую очередь – плит перекрытий. Данный метод позволяет существенно улучшить физико-механические характеристики конструкций: увеличить пролеты без промежуточных опор, уменьшить толщину и массу перекрытий, повысить сопротивление образованию трещин и общую долговечность объекта [1].

Несмотря на очевидные инженерные преимущества, масштабы внедрения технологии преднапряжения в российскую практику монолитного строительства остаются ограниченными, особенно в сегменте массового жилищного строительства. Основной причиной сложившейся ситуации является отсутствие единой, методически выверенной и общепри-

знанной системы количественной оценки экономической целесообразности перехода от традиционных монолитных решений к преднапряженным [2].

Принятие проектных решений зачастую основывается на сравнении прямых первоначальных затрат, где стоимость специализированного оборудования, материалов (напрягаемой арматуры, анкеров) и работ по натяжению существенно выше. При этом в расчет часто не принимается комплексный экономический эффект, проявляющийся на последующих этапах: снижение нагрузки на элементы конструкций (фундамент, колонны) и, как следствие, их стоимости, сокращение сроков монтажа каркаса, уменьшение эксплуатационных расходов и увеличение межремонтных периодов благодаря повышенной долговечности.

Таким образом, формируется очевидный парадокс: технология, обладающая высоким техническим потенциалом, не находит широкого применения из-за неполноты экономиче-



ских оценок. Поэтому целью настоящей работы является систематизация и анализ существующих в научно-технической литературе и нормативно-методических документах подходов к оценке экономической эффективности применения преднапряженных перекрытий в монолитном домостроении.

Проанализировав технико-экономические преимущества технологии предварительного напряжения, описанные в работах [2-5], приведем ключевые аргументы в пользу экономической целесообразности применения преднапряженных перекрытий.

**1. Прямая экономия строительных материалов.** Большинство источников указывает на значительное сокращение материалоемкости конструкции. За счет активизации несущей способности бетона предварительным сжатием толщина плиты перекрытия может быть уменьшена на 25-35% по сравнению с традиционной монолитной плитой той же несущей способности и пролета. Это приводит к пропорциональному снижению расхода бетона. Экономия арматуры еще более существенна и, по различным данным, достигает 40-50%. Это связано не только с уменьшением сечения, но и с заменой части обычной стержневой арматуры высокопрочными канатами, работающими более эффективно.

**2. Снижение массы строительных конструкций и производные эффекты.** Уменьшение толщины плиты напрямую ведет к снижению ее собственного веса на 30-40%. Этот фактор порождает целый каскад сопутствующей экономии. Например, экономия на фундаментах. Снижение общей нагрузки от вышележащих конструкций позволяет проектировать менее массивные фундаменты (ленточные, плитные) или уменьшать количество свай, что дает прямую экономию материалов и трудозатрат на нулевом цикле. По некоторым оценкам экономия на фундаменте может составлять 10-15% от его общей стоимости. Снижение массы также приводит к упрощению логистики и монтажа. Меньшая масса элементов (в случае применения сборно-монолитных решений с преднапряжением) или бетонной смеси облегчает процессы транспортировки, подачи и укладки, что может положительно сказаться на темпах производства работ. Эффект может проявиться и на снижение сейсмических нагрузок. Для регионов с сейсмической активностью снижение массы надфундаментной части здания является важным фактором, влияющим на стоимость проектных решений и смету.

**3. Архитектурно-планировочные преимущества и экономия на элементах карка-**

**са.** Технология преднапряжения перекрытия позволяет увеличивать расстояние между несущими колоннами до 12-18 метров и более в зависимости от схемы. Это создает возможности для более свободной планировки внутреннего пространства, что особенно востребовано в общественных, торговых и офисных зданиях. С экономической точки зрения, увеличение шага колонн ведет к уменьшению их общего количества на объекте, а, следовательно, к экономии бетона и арматуры на устройстве вертикальных несущих конструкций. В ряде случаев это позволяет применять безбалочные перекрытия, что упрощает опалубочные работы и отделку потолков.

**4. Эксплуатационные преимущества, трансформируемые в экономический эффект.** Повышенная трещиностойкость и общая долговечность преднапряженных конструкций потенциально приводят к снижению затрат на обслуживание и ремонт в течение жизненного цикла здания. Кроме того, уменьшение толщины перекрытия может незначительно увеличить полезную высоту этажа или, при сохранении высоты, снизить общую высоту здания, что ведет к экономии на отделке фасадов и вертикальных инженерных системах. Меньшая масса здания также влияет на энергопотребление систем отопления и кондиционирования, хотя данный эффект требует отдельного количественного исследования для каждого конкретного объекта.

Анализ источников [1-5] выявляет комплекс причин, препятствующих массовому внедрению технологии предварительного напряжения перекрытий. Данные причины часто превосходят декларируемые выгоды на этапе принятия решения.

Выделим основные из них:

- **Высокие первоначальные капитальные затраты.** Наиболее часто упоминаемый сдерживающий фактор. Он включает стоимость материалов, оборудования и специализированные трудозатраты. Так, к примеру, высокопрочная канатная арматура, анкерные устройства, специальные инъекционные составы для заполнения каналов значительно дороже стержневой арматуры, используемой без преднапряжения. Также требуют значительных единовременных инвестиций или высоких затрат на аренду комплекты для натяжения (домкраты, насосные станции, контрольно-измерительная аппаратура), особенно импортного производства. Следует упомянуть и работы по укладке канатов, натяжению, инъектированию, которые требуют при-

## ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

влечения высококвалифицированного персонала, чей труд оплачивается выше, при этом наличие такого персонала на рынке труда ограничено.

- *Сложность проектирования и расчетов.* Расчет преднапряженных конструкций является более трудоемким. Он требует учета потерь предварительного напряжения (от ползучести и усадки бетона, релаксации в арматуре), анализа трещинообразования и деформаций на всех стадиях нагружения. Это увеличивает сроки и стоимость проектных работ. Недостаточная освещенность этих вопросов в актуальных отечественных нормативных документах (СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции) по сравнению с еврокодами (Eurocode 2: Design of concrete structures) создает дополнительную неопределенность для проектировщиков.

- *Несовершенство нормативно-сметной базы.* В российских сборниках расценок (ФЕР, ТЕР) и нормативах трудоемкости работы по натяжению арматуры часто либо отсутствуют, либо представлены устаревшими позициями, не соответствующими современным технологиям. Это создает сложности для корректного составления смет и обоснования стоимости подрядных работ, ведет к рискам для заказчика и подрядчика.

- *Консерватизм рынка и недостаток опыта.* Строительный рынок, особенно в сегменте типового жилья, характеризуется низкой склонностью к риску. Внедрение новой технологии требует от всех участников процесса (заказчика, проектировщика, подрядчика, поставщика оборудования) выхода из зоны комфорта, обучения, наработки собственного опыта, что сопряжено с временными и финансовыми издержками. Отсутствие масштабных реализованных кейсов и статистики по реальной экономической эффективности подпитывает этот консерватизм.

Проведенный обзор показал, что в научной и методической литературе не существует единой, универсальной методики экономической оценки технологии преднапряжения монолитных перекрытий. В данном случае можно выделить несколько типов подходов, каждый из которых имеет свои ограничения.

*Локальные сравнительные расчеты.* Наиболее распространенный тип. Исследования часто ограничиваются сравнением стоимости 1 м<sup>2</sup> перекрытия двух типов: традиционного и преднапряженного. При этом учитываются только прямые затраты на материалы и работы по устройству самого перекрытия. Такой подход фиксирует превышение стоимости преднапряженного варианта

на 15–25%, но полностью игнорирует производные эффекты (экономия на фундаменте, колоннах, сокращение сроков строительства), что делает выводы неполными и необъективными.

*Учет части производных эффектов.* Это более продвинутый подход [3], в котором исследователи пытаются включить в модель экономию на фундаменте за счет снижения нагрузки. Это меняет картину, и совокупная стоимость «фундамент + перекрытие» для преднапряженного варианта перекрытия может уже оказаться сопоставимой или ниже. Однако подобные модели часто останавливаются на стадии возведения, не затрагивая эксплуатационную фазу.

*Концепция учета жизненного цикла (Life Cycle Cost – LCC).* В теоретических работах и зарубежных стандартах (ISO 15686-5:2017 Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 5: Life-cycle costing) декларируется необходимость оценки всех затрат на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства, т.е. на стадии проектирования, строительства, эксплуатации, включая капитальный ремонт, заканчивая стадией утилизации. Применительно к преднапряженным перекрытиям это означало бы моделирование затрат, например, ремонт трещин, возможное усиление в будущем. Однако в доступных источниках не обнаружено практических, адаптированных к российским условиям методик LCC для сравнительного анализа типов перекрытий. Основными препятствиями являются отсутствие достоверных статистических данных об эксплуатационных затратах для разных конструктивных решений и сложность долгосрочного прогнозирования.

*Фактор времени строительства.* Отдельным, редко учитываемым, но критически важным экономическим параметром является продолжительность строительства. Сокращение сроков монтажа каркаса за счет меньших объемов бетона и арматуры, более простой опалубки (в случае больших пролетов) приводит к снижению накладных расходов подрядной организации и, что особенно важно для заказчика, к более раннему началу продаж или вводу объекта в эксплуатацию. Количественно оценить этот эффект в рамках общих методик сложно, так как он сильно зависит от организации строительного процесса, логистики и контрактных условий.

Таким образом, ниша для формирования комплексного подхода экономической оценки технологии преднапряжения монолитных перекрытий остается незаполненной. Требуется

методика, которая в рамках единой расчетной модели интегрировала бы:

- прямые затраты на материалы и работы по перекрытию;
- экономию на смежных конструкциях (фундамент, колонны);
- эффект от изменения сроков строительства;
- прогнозные оценки изменения эксплуатационных расходов (в рамках доступных данных).

На основе проведенного анализа можно сформулировать ключевые требования, которым должна отвечать методика, способная стать инструментом для объективного технико-экономического обоснования (ТЭО) выбора типа перекрытия:

– *Комплексность и многоуровневость.* Методика должна быть иерархической, позволяющей проводить как быструю предварительную оценку (сравнение перекрытий), так и углубленный анализ в рамках всего объекта (наземная часть конструктивной системы + фундамент), причем на протяжении всего жизненного цикла.

– *Адаптивность к параметрам проекта.* Исходными данными должны служить ключевые параметры конкретного здания: геометрические размеры, сетка колонн, расчетные нагрузки, регион строительства (влияющий на стоимость материалов и работ), планируемый срок службы.

– *Интеграция с нормативной базой и актуальными рыночными данными.* Алгоритмы расчета должны базироваться на действующих строительных нормах, но при этом использовать актуальные расценки на материалы (включая канаты и оборудование) и трудоемкость. Это требует постоянного мониторинга рынка и, возможно, создания специализированной базы данных.

– *Учет фактора времени.* Методика должна включать модуль для оценки влияния технологии на общую продолжительность строительства конструктивных систем и связанных с этим финансовых последствий (изменение накладных расходов, эффект от более раннего ввода в эксплуатацию).

– *Программная реализация и интеграция с технологией информационного моделирования.* Для практического применения методика должна быть реализована в виде удобного инструмента, например, комплекса взаимосвязанных таблиц или, что более перспективно, специализированного модуля (плагина) в среде информационного моделирования. Это позволит автоматизировать

процесс: геометрические и нагрузочные параметры будут импортироваться из модели, варианты конструкций подбираться автоматически по нормам, а сметные расчеты выполняться на основе актуальных баз. Разработка библиотек стандартизированных компонентов цифровых информационных моделей для преднапряженных конструкций станет важным сопутствующим шагом.

Подводя итоги, отметим перспективные направления дальнейших исследований, вытекающие из данного обзора:

- Сбор и систематизация эмпирических данных с реальных объектов, где применялась технология преднапряжения, для верификации теоретических моделей экономики, особенно по статьям «фундаменты» и «сроки строительства».

- Детальный сравнительный анализ зарубежных (европейских, американских) методик ТЭО для преднапряженных конструкций и их адаптация к российским нормативным и экономическим условиям.

- Разработка и публикация отраслевых рекомендаций (проект свода правил или методического пособия) по составу и правилам выполнения технико-экономического сравнения вариантов с традиционными и преднапряженными перекрытиями.

- Научное обоснование и количественная оценка эксплуатационных преимуществ преднапряженных конструкций в течение жизненного цикла для включения этих данных в модели LCC.

### **Заключение**

Технология предварительного напряжения железобетонных перекрытий обладает значительным и многогранным технико-экономическим потенциалом, включающим прямую экономию материалов, снижение массы с сопутствующей экономией на фундаментах, архитектурно-планировочные преимущества и повышенную долговечность. Широкое внедрение технологии в России сдерживается комплексом взаимосвязанных факторов: высокими первоначальными затратами, сложностью расчетов, несовершенством сметно-нормативной базы и общим консерватизмом строительного рынка.

Существующие в литературе подходы к оценке экономической эффективности носят фрагментарный характер. Они, как правило, не обеспечивают комплексного учета всех значимых факторов, таких как изменение стоимости смежных конструкций, влияние на сроки строительства и долгосрочные эксплуатационные затраты.

Для изменения сложившейся ситуации



## ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В МОНОЛИТНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

необходима разработка унифицированной, адаптивной и практико-ориентированной методики сравнения вариантов возведения железобетонных перекрытий.

Ключевыми требованиями к такой методике являются комплексность, привязка к параметрам проекта, использование актуальных данных и возможность программной реализации, желательно в интеграции с технологиями информационного моделирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина, А. Ф. Возведение многоэтажных зданий из монолитного бетона и железобетона : учеб. пособие / А. Ф. Юдина, Е. В. Хорошенькая, Д. А. Животов. – СПб. : СПбГАСУ, 2009. – 252 с.
2. Страхова, А. С. Инновационные технологии в строительстве как ресурс экономического развития и фактор модернизации экономики строительства / А. С. Страхова, В. А. Унежева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 6. – С. 263-272.
3. Бровкин, А. В. Сравнительный анализ эффективности применения сборно-монолитных

перекрытий в условиях нового строительства / А. В. Бровкин [и др.] // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2020. – № 4(8). – С. 26-32.

4. Карнаух, А. С. Сравнение напряженно-деформированных состояний монолитных плит перекрытия без использования и с использованием предварительного напряжения арматуры / А. С. Карнаух // Инновационная наука. – 2019. – № 1. – С. 31-45.

5. Портаев, Д. В. Применение предварительного напряжения с натяжением канатной арматуры для конструкций гражданских зданий / Д. В. Портаев // Архитектура и строительство России. – 2011. – № 2. – С. 28-33.

**Ковтун Илья Владимирович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [ilya.kovtun.2017@mail.ru](mailto:ilya.kovtun.2017@mail.ru);

**Кирколуп Евгений Романович** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [kirkolup@mail.ru](mailto:kirkolup@mail.ru).

## ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. К. Козлова, А. В. Вольф

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В данной статье исследован фазовый состав высокоглиноземистых клинкеров алюминиотермического производства хрома. Для получения высокоглиноземистых цементов при изготовлении их на основе клинкеров алюминиотермического производства, необходимо, чтобы в составе клинкера содержалось до 20-25 % однокальцевого алюмината, остальная часть может быть представлена однокальцевым диалюминатом  $CA_2$  и однокальцевым гексаалюминатом  $CA_6$ . При суммарном содержании высокоактивных алюминатов кальция от 20 до 35%, получаемые смешанные цементы характеризуются ускоренным началом схватывания. Сроки схватывания, отвечающие стандартным требованиям, обеспечиваются введением минимального количества добавок-замедлителей. Необходим поиск эффективных добавок, способных регулировать начало схватывания, не приводя к снижению конечной прочности цементного камня.*

**Ключевые слова:** высокоглиноземистый цемент, клинкер, сроки схватывания, алюминаты кальция

Для футеровки различных тепловых агрегатов необходимы жаростойкие бетоны и растворы, для изготовления которых требуются специальные цементы, характеризующиеся высокой огнеупорностью. С этой целью в настоящее время используются, в основном, высокоглиноземистые цементы, содержащие 70-75% оксида алюминия, 20-25% оксида кальция при сумме оксидов кремния и железа не более 2,0%. Сырьем для производства таких цементов являются чистый технический глинозем и карбонат кальция. Тонкоизмельченная сырьевая смесь, содержащая 30-35%  $CaO$ , обжигается до спекания или плавления. Получаемый после обжига и охлаждения клинкер состоит в основном из двух минералов: моноалюмината кальция  $CaO \cdot Al_2O_3$  ( $CA$ ) и однокальцевого диалюмината  $CaO \cdot 2Al_2O_3$  ( $CA_2$ ).

Образование однокальцевого алюмината ускоряется при обжиге сырьевых смесей, содержащих добавку борной руды или фтористых соединений.  $CA$  способен образовывать твердые растворы присоединения с избыточным количеством оксида алюминия. При этом возникают фазы, известные как однокальцевый диалюминат  $CA_2$ ,  $CaO \cdot 2Al_2O_3$  ( $CaAl_4O_7$ ) и однокальцевый гексаалюминат  $CA_6$ ,  $CaO \cdot 6Al_2O_3$  ( $CaAl_{12}O_{19}$ ). Оба эти соединения относятся к группе полиалюминатов кальция.

Однокальцевый диалюминат гидратируется медленнее, чем моноалюминат кальция  $CA$ , но при добавлении к  $CA_2$  30-35% мо-

ноалюмината кальция получается смесь, дающая при гидратации цементный камень, равноценный по прочности камню на основе чистого моноалюмината кальция.

Однокальцевый гексаалюминат  $CA_6$  при нормальных условиях не взаимодействует с водой, его кристаллическая структура близка к структуре корунда. При обжиге и охлаждении высокоалюминатных клинкеров, содержащих около 30 % оксида кальция, невозможно формирование однокальцевого гексаалюмината как самостоятельной фазы.

При изготовлении высокоглиноземистых цементов для повышения общего содержания  $Al_2O_3$  до 70-80% осуществляется совместный помол изготовленного клинкера с добавкой  $\alpha-Al_2O_3$  (35,0-40,0%).

Готовый высокоглиноземистый цемент представлен тремя основными фазами –  $CA$ ,  $CA_2$  и  $\alpha-Al_2O_3$  [1]. Цементными заводами России высокоглиноземистые цементы выпускаются пока в виде небольших партий. В рекламных материалах на импортные высокоглиноземистые цементы марок Secar-71 и Secar-80 в качестве основных фаз, слагающих эти цементы, так же указываются  $CA$ ,  $CA_2$  и  $\alpha-Al_2O_3$ . Введенный оксид алюминия выполняет роль активной минеральной добавки.

Химический состав высокоглиноземистых клинкеров алюминиотермического производства хрома на Ключевской обогатительной фабрике полностью отвечает требованиям к составу высокоглиноземистых цементов,

## ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

однако эти клинкеры имеют отличающийся от рекомендуемого фазовый состав. Химический состав клинкеров КВЦ:

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – 75,0-77,7%;  
 $\text{SiO}_2$  – 0,10-0,97%;  
 $\text{CaO}$  – 17,3-20,9%;  
 $\text{MgO}$  – 1,21-2,10%;  
 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 0,26-1,69%;  
 $\text{FeO}$  – 0,15-0,56%;  
 $\text{C}$  – 0,01-0,16%;  
 $\text{B}_2\text{O}_3$  – 0,01%.

Детальное изучение минералогического состава клинкеров КВЦ-75 и КВЦ-70 методами химического, рентгенографического и петрографического анализов показало, что они представлены в основном двумя кристаллическими фазами, однокальциевым диалюминатом  $\text{CA}_2$  и однокальциевым гексаалюминатом  $\text{CA}_6$ . Содержание каждого из этих минералов колеблется от 15 до 80% при полном отсутствии монокальциевого алюмината  $\text{CA}$ .

Формирование фазового состава клинкеров алюминотермического производства происходит при быстром охлаждении высокотемпературного расплава (имеющего температуру 1800-2000°C) и содержащего от 17,0 до 22,0%  $\text{CaO}$ . Из такого расплава кристаллизуется в первую очередь алюминат кальция, имеющий более высокую температуру плавления, таковым является однокальциевый гексаалюминат  $\text{CA}_6$ , минерал бонит, представляющий собой твердый раствор присоединения  $\text{Al}_2\text{O}_3$  к однокальциевому моноалюминату  $\text{CA}$  [2]. При понижении температуры этим твердым раствором усваивается из расплава дополнительное количество  $\text{CaO}$

и образуется другой твердый раствор, соответствующий составу однокальциевого диалюмината  $\text{CA}_2$ .

Необходимо учитывать, что в процессе электродуговой переплавки шлаков может образоваться какое-то количество карбида кальция, это приводит к уменьшению количества  $\text{CaO}$ , связанного в алюминат кальция. Определенное методом химического фазового анализа количество  $\text{CaO}$ , связанное в закристаллизованные алюминаты кальция составляет для клинкера КВЦ-75 6,4% из общего количества  $\text{CaO}$ , равного 17,0%. Цемент, изготовленный на основе этого клинкера, не схватывается. У клинкера КВЦ-70А количество  $\text{CaO}$ , связанного в алюминаты составляет 12,2%, из общего количества  $\text{CaO}$ , равного 20,0%. Цемент, изготовленный на его основе, схватывается и быстро набирает прочность. При уменьшении количества  $\text{CaO}$ , связанного в алюминаты кальция, снижается доля  $\text{CA}_2$  в клинкере и возрастает доля  $\text{CA}_6$ . Рентгенограмма клинкера КВЦ-75 представлена на рисунке 1.

Основные дифракционные максимумы на рентгенограмме принадлежат однокальциевому гексаалюминату  $\text{CA}_6$ , при межплоскостных расстояниях, равных 5,46; 3,64; 2,62; 2,47; 2,19; 2,11 Å при интенсивности от 30 до 100. Дифракционные максимумы  $\text{CA}_2$  при межплоскостных расстояниях, равных 4,43; 3,49; 3,07; 2,88; 2,43 Å характеризуются низкой интенсивностью, что свидетельствует о значительно меньшем содержании этой фазы.

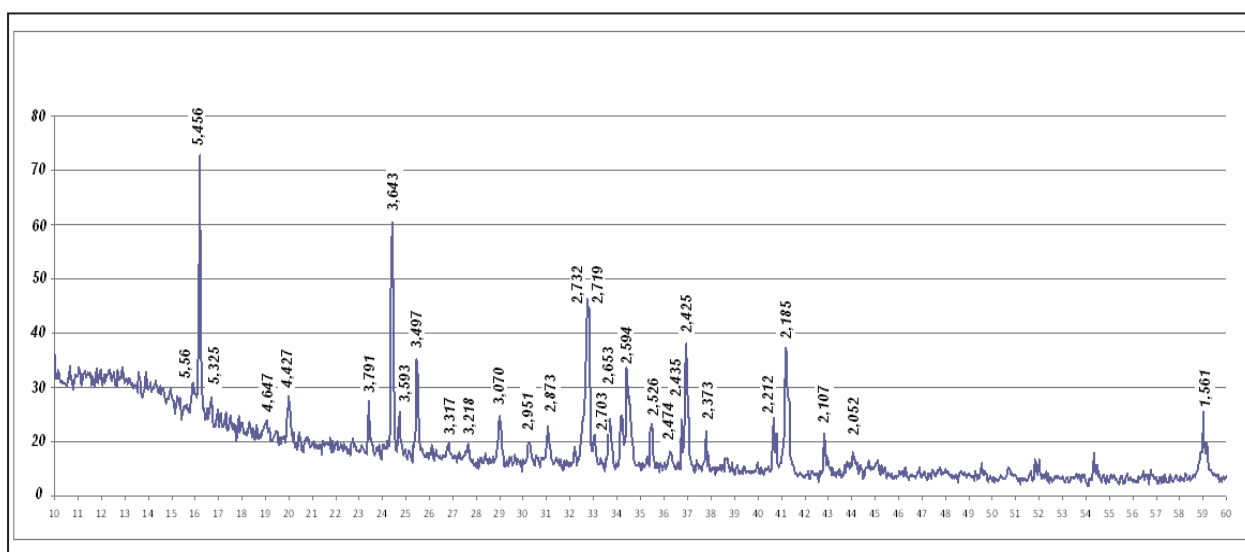


Рисунок 1 – Рентгенограмма клинкера КВЦ-75



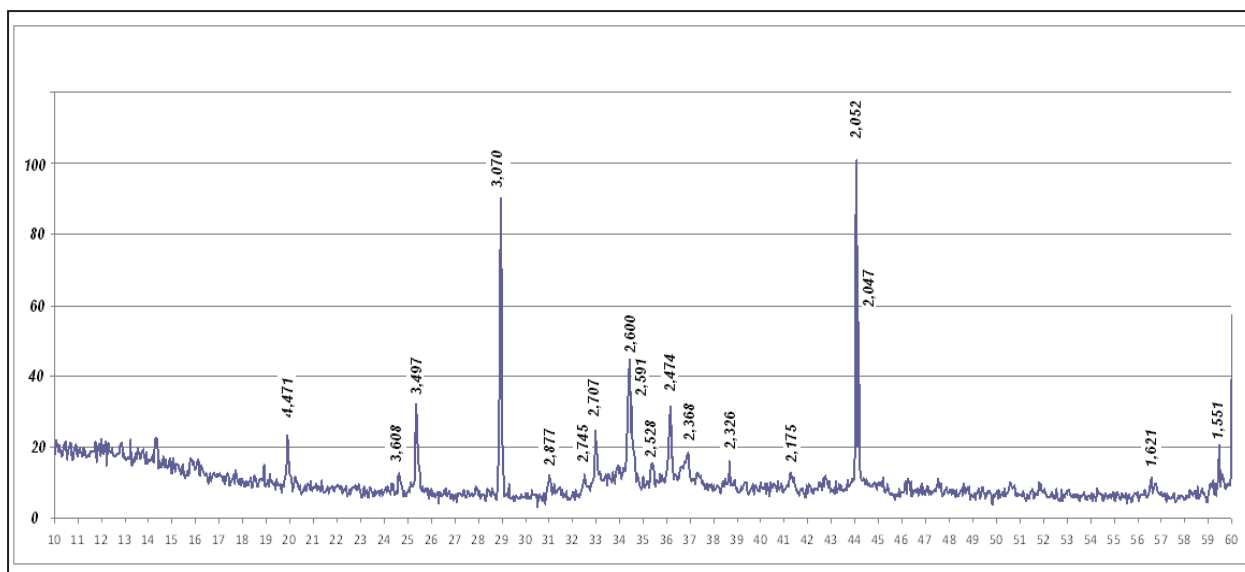


Рисунок 2 – Рентгенограмма клинкера KBЦ-70A

На рентгенограмме клинкера KBЦ-70A (рисунок 2) основные дифракционные максимумы принадлежат однокальциевому диалюминату  $CA_2$  (4,44; 3,61; 3,50; 3,07; 2,88; 2,71; 2,60; 2,36; 2,05 Å). Максимумы при  $d = 3,07$  и  $2,05$  имеют максимальную интенсивность – 90 и 100. Два слабых отражения при  $d = 3,49$  и  $2,47$  Å принадлежат  $CA_6$ . Клинкер характеризуется высокой степенью закристаллизованности.

Соотношение между количеством  $CA_2$  и  $CA_6$  зависит не только от общего содержания  $CaO$  в расплаве, но и от режима охлаждения. При очень быстром охлаждении возможно образование некоторого количества гидравлически инертной стеклофазы. Таким образом, в высокоглиноземистых клинкерах алюминотермического производства значительная часть оксида кальция оказывается в составе фаз, практически не обладающих вяжущими свойствами. Соответственно колебаниям фазового состава клинкеров меняются показатели свойств изготавливаемых на их основе высокоглиноземистых цементах. С увеличением содержания  $CA_6$  в клинкере повышается огнеупорность цемента, но становятся нестабильными, характеризующие их вяжущие свойства, некоторые цементы не схватываются и не твердеют в нормальных условиях.

В клинкерах KBЦ-75, получаемых на обогатительной фабрике, неизбежно образование значительного количества  $CA_6$ , что не позволяет получать высокоглиноземистые цементы со стабильными вяжущими свойствами.

Для получения высокоглиноземистых цементах при изготовлении их на основе клинкеров алюминотермического производства, необходимо, чтобы в составе клинкера содержалось до 20-25% однокальциевого диалюмината, остальная часть может быть представлена однокальциевым диалюминатом  $CA_2$  и однокальциевым гексаалюминатом  $CA_6$ .

С целью оптимизации состава и свойств получаемых цементах, нами предложено изготавливать их совместным помолом двух клинкеров, один из которых является рядовым клинкером KBЦ-75, другой специально изготавливается с повышенным содержанием  $CaO$ , за счет чего в нем появляется однокальциевый диалюминат  $CA_2$  и возрастает количество диалюмината кальция. Данные рентгенографического анализа показывают, что в клинкерах алюминотермического производства не могут одновременно существовать все три рассматриваемых типа диалюминатов кальция, однокальциевый диалюминат начинает стабильно появляться только после полного превращения  $CA_6$  в  $CA_2$ . Теоретически рассчитанное содержание  $CaO$  в специально изготавливаемых клинкерах должно составлять 28,5÷29,5%.

На Ключевской обогатительной фабрике были изготовлены экспериментальные клинкеры № 1474 и 1475 следующего химического состава:

$Al_2O_3$  – 66,8-71,0%;  
 $CaO$  – 25,2-29,4%;  
 $MgO$  – 1,33-1,47 %;  
 $SiO_2 + Fe_2O_3$  – 0,70-0,93%;  
 содержание углерода – 0,29%.

## ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

При общем содержании в клинкере 1474 25,2% СаО, в алюминаты кальция по данным химического фазового анализа связано только 17% СаО. Значительная часть оксида кальция расходуется на образование присутствующего карбида кальция. Кроме того, часть СаО остается в составе стеклофазы. Минералогический состав клинкера полностью представлен однокальциевым диалюминатом  $CA_2$ , дифракционные максимумы при межплоскостных расстояниях, равных 3,50; 3,07; 2,88; 2,74; 2,53; 2,43 Å. По данным рентгенографического анализа экспериментальный клинкер 1475, при содержании 29,4% СаО, представлен двумя алюминатами кальция СА (максимумы при  $d$  равном 4,68; 2,96; 2,53; 2,40 Å) и  $CA_2$  (3,50; 3,07; 2,88; 2,53; 2,43 Å). Количество той и другой фазы составляет около 50%, хотя по расчету содержание однокальциевого алюмината могло достигать 70%. Значительное количество СаО расходуется на образование сопутствующих фаз.

Высокоглиноземистые цементы, полученные помолотом экспериментальных клинкеров, при смешивании с водой дают цементное тесто, которое в течение 5-7 минут теряет подвижность и удобоукладываемость. При использовании добавок-замедлителей схватывания цементное тесто отвечает нормативным требованиям по срокам схватывания. Получаемый из такого теста ( $B/B = 0,29$ ) цементный камень в трехсуточном возрасте характеризуется пределом прочности при сжатии 55,0-72,0 МПа. Смешанные высокоглиноземистые цементы изготавливались совместным помолотом экспериментального клинкера № 1475 (20-30%) с различным количеством клинкера ВКЦ-75, в молотом состоянии не обладающего способностью при смешивании с водой схватываться и затвердевать в нормальных условиях. Содержание СаО в клинкере ВКЦ-75 – 18%,  $Al_2O_3$  – 76,0%, содержание  $CA_6$  составляет 90,0%. В составе таких цементов содержание однокальциевого алюмината СА составляет 10÷15%, количество однокальциевого диалюмината  $CA_2$  18÷22%, однокальциевый гексаалюминат  $CA_6$  содержится в количестве 63÷82%. При смешивании и совместном помолоте 20-30% эксперимен-

тального клинкера (1475) с 70-80% рядового клинкера ВКЦ-75, удается получить высокоглиноземистые цементы, обеспечивающие в трехсуточном возрасте прочность при сжатии от 65,0 до 75,0 МПа при твердении в нормальных условиях.

### Заключение

При суммарном содержании высокоактивных алюминатов кальция от 20 до 35%, получаемые смешанные цементы характеризуются ускоренным началом схватывания. Сроки схватывания, отвечающие стандартным требованиям, обеспечиваются введением минимального количества добавок-замедлителей. Необходим поиск эффективных добавок, способных регулировать начало схватывания, не приводя к снижению конечной прочности цементного камня.

Технология изготовления высокоглиноземистых цементов со стабильными вяжущими свойствами заключается в совместном помолоте двух клинкеров до остатка на сите 008 меньше 10%. Повышение степени измельчения способствует улучшению показателей строительно-технических свойств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова, Т. В. Глиноземистый цемент / Т. В. Кузнецова, И. Талабер. – М. : Стройиздат, 1988. – 272 с.
2. Козлова, В. К. Состав алюминатно-алюмоферритных фаз и их продукты гидратации в различных цементах и смешанных вяжущих: монография / В. К. Козлова, Ю. В. Карпова, А. М. Маноха. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, Ч. 1 : Состав алюминатов, алюмоферритов и ферритов кальция и их продукты гидратации в различных условиях, 2008. – 300 с.

**Козлова Валентина Кузьминична**, д.т.н., профессор кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО АлтГТУ, E-mail: kozlova36@mail.ru;

**Вольф Анна Владимировна** – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ, E-mail: volf.anna@mail.ru.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Е. С. Колесникова, Е. В. Вербицкая, И. О. Вербицкий

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены основные направления энергоэффективной реконструкции существующих зданий с акцентом на модернизацию ограждающих конструкций и инженерных систем. Проанализированы причины повышенных теплопотерь в зданиях старой застройки, рассмотрены современные технические решения по повышению тепловой защиты, герметичности и энергоэффективности инженерного оборудования. Особое внимание уделено вопросам комплексного подхода к реконструкции, расчётным методам оценки энергетической эффективности и взаимосвязи конструктивных и инженерных решений. Показана роль энергоаудита и численного моделирования при выборе оптимальных мероприятий.*

**Ключевые слова:** энергоэффективная реконструкция, ограждающие конструкции, инженерные системы, теплопотери, модернизация зданий, энергосбережение

Энергоэффективность зданий является одной из ключевых задач современного строительства и эксплуатации объектов капитального строительства.

Существенная часть существующего фонда зданий была возведена в период, когда требования к тепловой защите и энергоэффективности были значительно ниже современных нормативных значений. В результате такие здания характеризуются повышенным потреблением тепловой и электрической энергии, низким уровнем теплового комфорта и значительными эксплуатационными затратами.

В условиях роста стоимости энергоресурсов и ужесточения нормативных требований особую актуальность приобретает энергоэффективная реконструкция существующих зданий [1-3]. В отличие от нового строительства, реконструкция требует учёта фактического состояния конструкций и инженерных систем, ограничений, связанных с эксплуатацией здания, а также экономической целесообразности внедряемых мероприятий.

Целью настоящей работы является анализ современных технических решений по модернизации ограждающих конструкций и инженерных систем в рамках энергоэффективной реконструкции зданий.

Основными источниками потерь энергии в зданиях старой застройки являются:

- недостаточная тепловая защита ограждающих конструкций;
- наличие мостиков холода;
- высокая воздухопроницаемость ограждений;

- неэффективные инженерные системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;

- отсутствие автоматизированных систем управления энергопотреблением.

Как правило, тепловое сопротивление стен, покрытий и перекрытий таких зданий не соответствует действующим нормативам, а окна и двери обладают низкими теплоизоляционными характеристиками. Кроме того, инженерные системы зачастую работают в нерасчётных режимах, что приводит к перерасходу энергии.

Проектирование энергоэффективной реконструкции начинается с проведения энергетического обследования (энергоаудита), целью которого является определение фактического уровня энергопотребления здания и выявление основных источников потерь. Энергоаудит включает:

- анализ проектной и эксплуатационной документации;
- инструментальные измерения температур и тепловых потоков (рисунок 1);
- тепловизионное обследование ограждающих конструкций (рисунок 2);
- оценку эффективности инженерных систем;
- расчёт энергетического баланса здания.

Результаты энергоаудита служат основой для разработки перечня мероприятий по повышению энергоэффективности и позволяют оценить их технико-экономическую эффективность.



Рисунок 1 – Измеритель плотности тепловых потоков и температур И ТП МГ 4 «Поток»



Рисунок 2 – К тепловизионному обследованию ограждающих конструкций

### Модернизация ограждающих конструкций:

#### 1. Наружные стены

Одним из наиболее эффективных мероприятий является повышение тепловой защиты наружных стен. В практике реконструкции применяются следующие решения:

- устройство систем наружного утепления;
- вентилируемые фасады с теплоизоляционным слоем;
- комбинированные системы утепления.

Выбор типа системы определяется конструктивной схемой здания, состоянием несущих стен и архитектурными ограничениями. Наружное утепление позволяет существенно снизить теплопотери и устранить большинство мостиков холода.

#### 2. Оконные и дверные заполнения

Замена устаревших оконных и дверных блоков на современные энергоэффективные конструкции является одним из наиболее заметных и быстро окупаемых мероприятий. Современные оконные системы обладают:

- многокамерными профилями;

- низкоэмиссионными стеклопакетами;
- повышенной герметичностью.

При реконструкции особое внимание уделяется качеству монтажа, так как неправильно выполненные узлы примыкания могут свести к минимуму эффект от замены окон.

#### 3. Перекрытия и покрытия

Через покрытия и чердачные перекрытия в зданиях часто теряется значительная часть тепловой энергии. Повышение тепловой защиты данных элементов достигается за счёт:

- устройства дополнительного слоя теплоизоляции;
- утепления чердачных перекрытий;
- модернизации кровельных конструкций.

При этом необходимо учитывать влияние дополнительных нагрузок и состояние существующих несущих элементов.

### Герметизация и снижение инфильтрации

Высокая воздухопроницаемость ограждающих конструкций является одной из причин повышенных теплопотерь и ухудшения микроклимата. В рамках реконструкции применяются мероприятия по:

- герметизации стыков и швов;
- уплотнению оконных и дверных проёмов;
- устранению неконтролируемых путей инфильтрации воздуха.

Снижение инфильтрации должно сопровождаться модернизацией вентиляционных систем для обеспечения нормативного воздухообмена.

### Модернизация инженерных систем

#### 1. Системы отопления

Повышение энергоэффективности систем отопления достигается за счёт:

- замены устаревших источников тепла;
- внедрения автоматизированных систем регулирования;
- балансировки отопительных контуров;
- применения индивидуальных тепловых пунктов.

Автоматизация позволяет адаптировать работу системы к фактическим условиям эксплуатации и снизить перерасход энергии.

#### 2. Вентиляция и кондиционирование

Современные энергоэффективные решения в области вентиляции предусматривают использование систем с рекуперацией тепла (рисунок 3), что позволяет значительно





Рисунок 3 – Рекуперация тепла в вентиляции

снизить тепловые потери при обеспечении требуемого воздухообмена. При реконструкции существующих зданий внедрение таких систем требует адаптации к существующим планировочным и конструктивным решениям.

### 3. Системы горячего водоснабжения и электроснабжения

Энергоэффективная реконструкция также включает мероприятия по снижению потерь в системах горячего водоснабжения и повышению эффективности электроснабжения, включая применение энергоэффективного оборудования и систем управления. Наибольший эффект достигается при комплексной реализации мероприятий, охватывающих как ограждающие конструкции, так и инженерные системы. Отдельные меры, реализованные изолированно, зачастую не позволяют в полной мере реализовать потенциал энергосбережения.

Комплексный подход предусматривает:

- согласование конструктивных и инженерных решений;
- учёт эксплуатационных факторов;
- поэтапную реализацию мероприятий;
- мониторинг энергопотребления после реконструкции.

Оценка эффективности энергоэффективной реконструкции выполняется с использованием расчётных методов, включающих:

- теплотехнический расчёт ограждающих конструкций;
- моделирование тепловых потоков;
- расчёт годового энергопотребления здания;
- сравнение базового и проектного вариантов.

Применение численного моделирования позволяет выявить слабые места проектных решений и оптимизировать их до стадии реализации.

При выборе мероприятий по энергоэффективной реконструкции важную роль играет их экономическая целесообразность. Оцениваются:

- капитальные затраты;
- срок окупаемости;
- снижение эксплуатационных расходов;
- влияние на комфорт и стоимость эксплуатации здания.

В ряде случаев мероприятия с более высокой первоначальной стоимостью оказываются более эффективными в долгосрочной перспективе.

Энергоэффективная реконструкция является важнейшим инструментом повышения эксплуатационных характеристик существующих зданий и снижения их энергетической нагрузки. Современные технические решения по модернизации ограждающих конструкций и инженерных систем позволяют существенно сократить теплопотери и повысить уровень комфорта.

Комплексный подход, основанный на результатах энергоаудита и расчётного моделирования, обеспечивает возможность выбора оптимальных проектных решений с учётом технических, экономических и эксплуатационных факторов. Реализация таких решений способствует продлению срока службы зданий и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий: актуализир. ред. СНиП 23-02-2003: дата введения 2024-05-15. – М. : Минстрой России, 2024. – 100 с.
2. ГОСТ 31427-2020. Здания жилые и общественные. Состав показателей энергетической эффективности: дата введения 2020-10-23. – М., 2020. – 12 с.
3. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: дата введения 2024-04-10. – М., 2024. – 104 с.

**Колесникова Екатерина Сергеевна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [stkateriin@gmail.com](mailto:stkateriin@gmail.com);

**Вербицкая Елена Васильевна** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [alenapantushina@mail.ru](mailto:alenapantushina@mail.ru);

**Вербицкий Иван Олегович** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [vane\\_k\\_007-89@list.ru](mailto:vane_k_007-89@list.ru).

## ПРОЗРАЧНАЯ ДРЕВЕСИНА КАК ИННОВАЦИОННЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ: АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Е. С. Колесникова, Е. В. Вербицкая, И. О. Вербицкий, Л. Н. Пантюшина**  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается прозрачная древесина как перспективный инновационный конструкционный материал, сочетающий механические свойства древесины с высокими оптическими характеристиками. Приведён обзор технологий получения прозрачной древесины, рассмотрены её физико-механические и оптические свойства, а также выполнен анализ потенциальных областей применения в строительстве и архитектуре. Особое внимание уделено сравнению прочностных характеристик прозрачной древесины с традиционными материалами – стеклом, полимерами и классической древесиной. Рассматриваются вопросы долговечности, анизотропии, устойчивости к внешним воздействиям и нормативные ограничения внедрения материала в практику строительства.*

**Ключевые слова:** прозрачная древесина, инновационные материалы, оптические свойства, прочностные характеристики, композитные материалы, устойчивое строительство

Современное развитие строительной отрасли сопровождается активным поиском новых материалов, сочетающих высокие эксплуатационные характеристики, энергоэффективность и экологичность. Одним из таких перспективных направлений является разработка и внедрение прозрачной древесины – композитного материала на основе натуральной древесины с модифицированной микроструктурой (рисунок 1).

Прозрачная древесина представляет собой результат глубокой физико-химической обработки древесины, в ходе которой удаляется или модифицируется лигнин – основной компонент, ответственный за непрозрачность и цвет материала. Образовавшийся пористый каркас заполняется прозрачным полимером, что позволяет получить материал с высокой светопропускной способностью при сохранении волокнистой структуры древесины. Интерес к прозрачной древесине обусловлен возможностью её применения в качестве альтернативы стеклу и традиционным светопрозрачным конструкциям, а также потенциалом использования в несущих и ограждающих элементах зданий [1, 2]. В отличие от стекла, прозрачная древесина обладает повышенной ударной вязкостью, меньшей хрупкостью и более благоприятными теплофизическими свойствами.

Целью настоящей работы является анализ оптических и прочностных характеристик прозрачной древесины, а также оценка перспектив её использования в качестве кон-

струкционного материала в строительстве.

Основой получения прозрачной древесины является сохранение и использование естественной иерархической структуры древесных волокон при одновременном устранении факторов, препятствующих прохождению света. Классическая технологическая схема включает следующие этапы:

1. Химическая делигнификация древесины с использованием растворов на основе пероксида водорода, гидроксида натрия или органических кислот, то есть удаление лигнина с помощью щелочных или перекисных растворов, регулируемое по глубине воздействия.

2. Удаление хромофорных групп, вызывающих рассеяние и поглощение света.

3. Импрегнация пористой структуры прозрачным полимером (эпоксидные смолы, ПММА, полиуретаны).

4. Отверждение композитной системы с формированием монолитного материала.

Ключевым технологическим параметром является степень удаления лигнина, соблюдение баланса между данным процессом и сохранением механической целостности каркаса. Полное удаление повышает светопропускание, но может снижать механическую прочность каркаса. Частичная модификация позволяет достичь компромисса между оптическими и прочностными характеристиками. Оптические свойства прозрачной древесины определяются её микроструктурой, степенью соответствия показателей преломления по-



Рисунок 1 – Прозрачная древесина



Рисунок 2 – Прозрачная древесина как элемент покрытия

лимерной и целлюлозной фаз, однородностью структуры, отсутствием внутренних дефектов. Древесные клетки образуют ориентированную волокнистую систему, заполненную прозрачным полимером с показателем преломления, близким к показателю целлюлозы. Снижение рассеяния света достигается за счёт:

- минимизации разницы показателей преломления между фазами;
- устранения микропустот;
- сохранения непрерывности волокнистой структуры.

В результате прозрачная древесина демонстрирует диффузное светопропускание, в отличие от направленного прохождения света в стекле. Это свойство делает материал особенно привлекательным для применения в ограждающих конструкциях, где требуется равномерное освещение без слепящего эффекта (рисунок 2).

Основными оптическими характеристиками прозрачной древесины являются:

- коэффициент светопропускания;
- степень рассеяния света;
- цветовые характеристики;
- устойчивость оптических свойств во

времени.

По данным экспериментальных исследований, коэффициент светопропускания прозрачной древесины может достигать 70–90% в зависимости от толщины образца и используемого полимера. При этом материал сохраняет матовую текстуру и выраженную волокнистую структуру. Важным преимуществом является возможность регулирования оптических свойств за счёт изменения состава полимерной матрицы и степени модификации древесины, что открывает широкие архитектурные возможности.

Несмотря на удаление лигнина, прозрачная древесина сохраняет значительную часть механической прочности благодаря ориентированной структуре целлюлозных волокон и упрочняющему эффекту полимерной матрицы. Основные прочностные показатели включают:

- прочность при растяжении и сжатии вдоль волокон;
- модуль упругости;
- ударную вязкость;
- трещиностойкость.

Исследования показывают, что прочность прозрачной древесины при растяжении

## ПРОЗРАЧНАЯ ДРЕВЕСИНА КАК ИННОВАЦИОННЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ: АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

вдоль волокон может превышать аналогичные показатели стекла в 2-3 раза, при этом материал демонстрирует квазипластичное разрушение без хрупкого излома.

В сравнении с традиционными светопрозрачными материалами прозрачная древесина обладает рядом преимуществ:

- меньшая плотность по сравнению со стеклом;
- высокая ударная прочность;
- улучшенные теплоизоляционные свойства;
- экологичность и возобновляемость сырья.

По сравнению с классической древесиной прозрачная древесина уступает в несущей способности, однако превосходит её по стабильности размеров, влагостойкости и долговечности при правильной защите.

Одним из ключевых вопросов является долговечность прозрачной древесины при воздействии внешних факторов. Полимерная матрица обеспечивает защиту от влаги и биологических воздействий, однако ультрафиолетовое излучение и температурные колебания могут оказывать влияние на оптические свойства материала.

Для повышения долговечности применяются:

- УФ-стабилизаторы;
- защитные покрытия;
- многослойные композитные системы.

Прозрачная древесина рассматривается как перспективный материал для:

- светопрозрачных ограждающих конструкций;
- фасадных панелей;
- кровельных элементов;
- внутренних перегородок;
- элементов энергоэффективных зданий.

Особый интерес представляет использование прозрачной древесины в сочетании с клеёными деревянными конструкциями, что позволяет создавать полностью древесные системы с уникальными архитектурными и эксплуатационными свойствами.

На текущий момент прозрачная древесина остаётся экспериментальным материалом, не имеющим полноценной нормативной базы для массового применения в несущих конструкциях. Основные ограничения связа-

ны с отсутствием стандартов, ограниченным опытом эксплуатации, сложностью масштабирования производства. Тем не менее, активные исследования в данной области позволяют прогнозировать появление нормативных документов в среднесрочной перспективе.

Прозрачная древесина представляет собой инновационный композитный материал с уникальным сочетанием оптических и прочностных характеристик.

Анализ показывает, что при дальнейшем развитии технологий производства и нормативного обеспечения данный материал может занять важное место в современном строительстве, особенно в области энергоэффективных и экологически ориентированных зданий.

Сочетание высокой светопропускной способности, повышенной ударной вязкости и экологичности делает прозрачную древесину перспективной альтернативой традиционным светопрозрачным материалам, а также важным элементом будущих конструктивных решений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции: актуализир. ред. СНиП II-25-80: дата введения 2017-02-27. – М.: Минстрой России, 2017. – 103 с.
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований: дата введения 2014-12-11. – М., 2014. – 24 с.

**Колесникова Екатерина Сергеевна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [stkateriin@gmail.com](mailto:stkateriin@gmail.com);

**Вербицкая Елена Васильевна** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [alenapantushina@mail.ru](mailto:alenapantushina@mail.ru);

**Вербицкий Иван Олегович** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [vaneek\\_007-89@list.ru](mailto:vaneek_007-89@list.ru);

**Пантюшина Лариса Николаевна** – доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [pantushinaln@altgtu.ru](mailto:pantushinaln@altgtu.ru).



## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ СТОЕК В КРУПНОФОРМАТНОМ ФАСАДНОМ ОСТЕКЛЕНИИ

**М. А. Комисаров, И. В. Харламов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены перспективы применения стеклянных стоек в крупноформатных фасадных конструкциях как альтернативы традиционным алюминиевым системам. Выполнено сравнительное исследование конструктивных и визуальных характеристик алюминиевых и стеклянных стоек, включая расчет их несущей способности и оценку влияния на панорамность остекления. Полученные результаты показывают, что стеклянные стойки обеспечивают минимизацию визуального воздействия светопрозрачной конструкции и значительно улучшают панорамное восприятие фасада. Однако стеклянные стойки уступают по стоимости и сложности изготовления, что ограничивает их применение в массовом строительстве. Статья будет полезна проектировщикам, архитекторам и инженерам, работающим с крупноформатными фасадными системами или планируют в работе применить современные крупноформатные решения для остекления.*

**Ключевые слова:** фасадное остекление, стеклянная стойка, крупноформатные стеклопакеты, стоечно-ригельная система, структурное остекление, триплекс, алюминиевые профили.

В современной архитектурной практике всё более заметным становится стремление к созданию панорамно остеклённых зданий. Проектировщики всё чаще ориентируются на фасадные оболочки, обеспечивающие максимальную прозрачность, визуальную лёгкость и выразительный внешний облик.

Вместе с тем использование традиционных алюминиевых стоек в крупноформатных светопрозрачных системах сопровождается рядом ограничений: для обеспечения требуемой жёсткости приходится увеличивать глубину профилей, что частично перекрывает обзор (рисунок 1). При боковом восприятии такие элементы становятся хорошо различимыми и нарушают эффект «невидимого» фасада, снижая архитектурную чистоту решения [3].

В качестве возможной альтернативы рассматриваются несущие стойки, выполненные из многослойного стекла. Их применение позволяет уменьшить визуальную выраженность каркаса и сохранить целостность панорамного восприятия фасадной конструкции.

Основным конструктивным компонентом рассматриваемой системы является стойка, изготовленная из многослойного стекла (триплекса).

Триплекс – это многослойное безопасное стекло, состоящее из двух или более листов стекла, склеенных между собой специальной полимерной пленкой (чаще всего поливинилбутиральной – PVB). В результате получается композитный материал, который

при разрушении не рассыпается на осколки, а удерживается пленкой, образуя трещины, но сохраняя целостность [4]. Используются листы закаленного или термоупрочненного. Связующий слой: полимерная пленка (PVB, EVA, SentryGlas® и др.), которая помещается между стеклами. Под воздействием температуры и давления в автоклаве пленка полимеризуется и прочно соединяет слои.

Преимущество SentryGlas в том, что она примерно в 5 раз прочнее на разрыв и до 100 раз жестче, чем традиционные пленки из поливинилбутирала (PVB), которые используются в стандартных стеклопакетах (рисунок 2). Использование такой стойки позволяет устранить один из наиболее существенных недостатков классических алюминиевых профилей – выраженную визуальную расчленённость несущего каркаса.

В условиях, когда в архитектуре крупноформатного остекления всё больше доминирует идея «максимальной прозрачности», проектировщики и заказчики стремятся к предельному сокращению видимых элементов конструкции, добиваясь эффекта так называемого «исчезающего фасада». При этом традиционные стоечно-ригельные системы на основе алюминия, оставаясь стандартным решением для массового строительства, оказываются недостаточно гибкими в реализации индивидуальных архитектурных замыслов.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ СТОЕК В КРУПНОФОРМАТНОМ ФАСАДНОМ ОСТЕКЛЕНИИ



Рисунок 1 – Фасад на стеклянных стойках

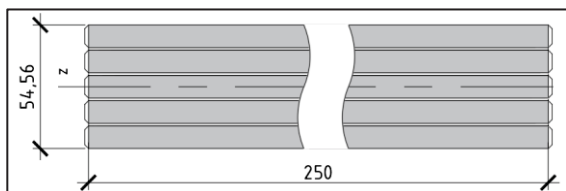


Рисунок 2 – Разрез стеклянной стойки (триплекса)



Рисунок 3 – Коррозия алюминия на подрезанных торцах

лов, где приоритетом становится светопрозрачность и визуальная целостность оболочки.

Замена металлических опорных элементов на стеклянные стойки из триплекса позволяет достичь важного эстетического результата – уменьшить визуальную ширину несущих частей и придать фасаду более «кристаллический», лёгкий облик.

Таким образом, исследовательский акцент переносится с прямого сопоставления эксплуатационных свойств алюминия и стекла (где алюминий сохраняет очевидное преимущество по стоимости) на выявление тех условий и сфер применения, в которых стеклянные стойки могут быть оправданы с технологической и инвестиционной точки зрения. В подобных случаях более высокие начальные затраты компенсируются архитектурной

выразительностью и уникальным визуальным эффектом фасадного решения.

Алюминиевые сплавы, несмотря на наличие естественной оксидной плёнки, не являются полностью защищёнными от коррозионных повреждений (рисунок 3). При воздействии сред, содержащих хлориды, кислоты или щёлочи, на их поверхности могут развиваться локальные формы разрушения, такие как питтинговая и щелевая коррозия. Даже применение дополнительных полимерно-порошковых покрытий не обеспечивает гарантированной долговечности в условиях повышенной влажности и химической агрессивности.

Особенно неблагоприятными являются объекты с постоянным влажностным режимом – крытые бассейны, душевые, спа-зоны, раздевалки. В подобных помещениях присутствуют пары хлора, активные моющие вещества и высокая концентрация влаги, что существенно ускоряет деградацию защитных слоёв. Эксплуатационный опыт показывает, что даже качественные лакокрасочные покрытия нередко теряют целостность уже через 3-5 лет, что приводит к развитию подплёночной коррозии и ухудшению внешнего вида конструкций.

В отличие от металла, стеклянные стойки из многослойного триплекса обладают полной химической нейтральностью. Они не подвержены коррозионным процессам и способны выдерживать регулярные санитарные обработки с применением агрессивных реагентов без потери эстетических и эксплуатационных характеристик.

Таким образом, для помещений с «мокрой» и химически активной средой применение стеклянных несущих элементов следует рассматривать не как избыточное архитектурное решение, а как технически оправданную необходимость, обеспечивающую долговечность и стабильность фасадной системы.

Использование алюминиевых стоек с глубиной профиля порядка 200-250 мм приводит к заметному ухудшению визуального эффекта панорамного остекления при боковом восприятии. Вертикальные элементы становятся выраженными, разделяют обзор на отдельные участки и создают ощущение «решётки» или жалюзийного эффекта, что нарушает целостность и естественность восприятия пространства.

Стеклянные стойки, напротив, сохраняют прозрачность даже в торцевой проекции, практически не образуя оптических преград, муара или визуального «шума» (рисунок 4).

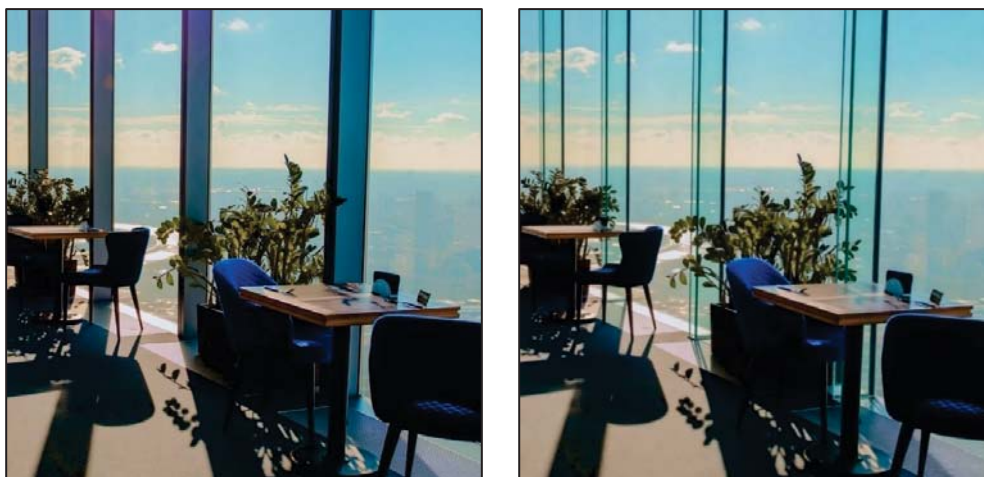


Рисунок 4 – Визуальное сравнение стоек (слева алюминиевая, справа стеклянная)

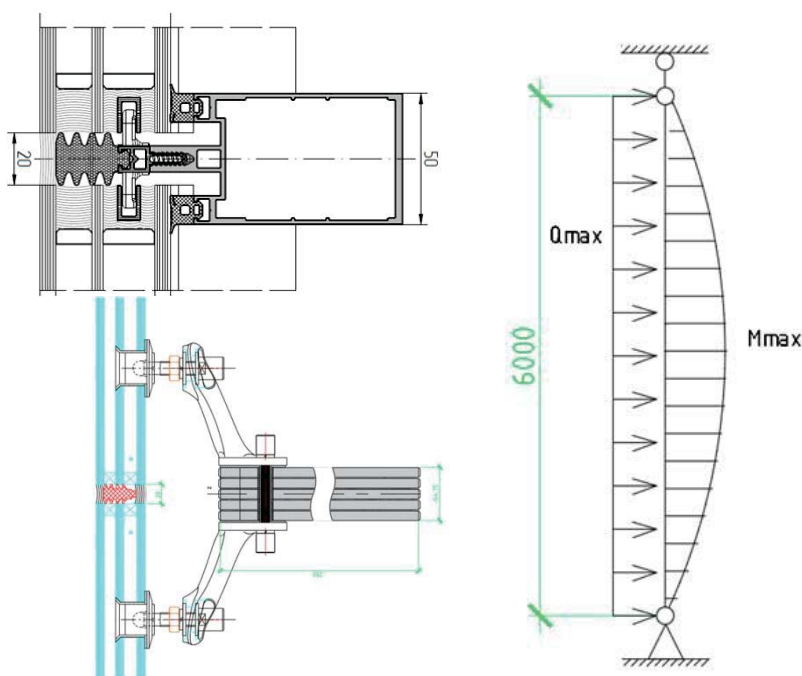


Рисунок 5 – Расчетная схема для расчета стойки

Это качество особенно важно для помещений, где существуют фиксированные точки обзора, и максимальная открытость вида является ключевым требованием – например, в VIP-ложах стадионов, на обзорных площадках, в ресторанах и общественных пространствах, расположенных на верхних уровнях зданий.

Таким образом, замена металлического несущего каркаса на стеклянные элементы позволяет обеспечить идеальные видовые характеристики фасада, что напрямую повышает престижность объекта и усиливает его коммерческую ценность.

Исходные данные для расчёта несущей

способности элементов (рисунок 5):

- объект – г. Барнаул;
- высота стойки:  $H = 6000$  мм;
- шаг стоек:  $B = 1500$  мм.
- ветровой район – III (нормативное значение ветрового давления  $w_0 = 0,38$  кПа);
- коэффициент надежности по ветровой нагрузке  $\gamma_f = 1,4$ ;
- коэффициент надежности по ответственности здания  $\gamma_n = 1$ ;
- высота расположения верха конструкции – 10 м.

Расчет алюминиевой стойки.

Геометрические характеристики профиля (ALUTECH F50) [2]:

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ СТОЕК В КРУПНОФОРМАТНОМ ФАСАДНОМ ОСТЕКЛЕНИИ

- площадь сечения  $A = 15,412 \text{ см}^2 = 1541,2 \text{ мм}^2$ ;  
- момент сопротивления  $W_x = 71,54 \text{ см}^3 = 71540 \text{ мм}^3$ ;

- момент инерции  $I_x = 850,6 \text{ см}^4 = 8,506 \cdot 10^6 \text{ мм}^4$ .

Расчётное сопротивление алюминия (сплав 6063 Т6):  $R_y = 122 \text{ МПа}$  (по ГОСТ 22233-2001, так как в СП 128.13330.2016 значение отсутствует).

Продольная сила  $N = 7063,2 \text{ Н}$ ; изгибающий момент  $M_{\max} = 4,311 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}^4$ .

### Проверка прочности.

$$\frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{7063,2}{1541,2} + \frac{4,311 \cdot 10^6}{71540} = 64,82 \text{ МПа},$$

$$\frac{64,82}{122} = 0,531 \leq 1 \text{ условие выполняется.}$$

### Расчёт гибкости.

Из плоскости витража (ось x): расчётная длина  $l_{\text{efx}} = 0,725 \cdot 600 = 435 \text{ см}$ .  $i_x = 7,43 \text{ см}$ .

$$\lambda_x = 435 / 7,43 = 58,5 \leq 100.$$

В плоскости витража (ось y):  
 $l_{\text{efy}} = 0,5 \cdot 360 = 180 \text{ см}$ .  $i_y = 2,03 \text{ см}$ .

$$\lambda_y = 180 / 2,03 = 88,7 \leq 100.$$

### Расчет стеклянной стойки.

Конструкция стойки состоит из: 5 слоёв стекла, толщина каждого слоя  $t = 10 \text{ мм}$  и пленки SentryGlas (SGP) по 3 штуки между каждыми двумя стеклами, сечением  $50 \times 250 \text{ мм}$  (50 мм ширина и 250 мм глубина стойки).

Коэффициент совместной работы слоёв (при  $50^\circ\text{C}$  и длительном нагружении) принят  $\eta = 0,6$ . Эффективные геометрические характеристики – с учётом неполной сдвиговой связи [1].

Момент инерции сечения стойки  $I_{\text{мон}} = 6,51 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$ . Эффективный момент инерции  $I_{\text{eff}} = 3,906 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$ . Эффективный момент сопротивления (для наиболее удалённого волокна)  $W_{\text{eff}} = 3,125 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$ .

Слои стекла соединены между собой эластичной полимерной плёнкой (SGP), которая не обеспечивает абсолютно жёсткой связи. Из-за этого при изгибе часть сдвиговых усилий передаётся не полностью, и слои работают не как единое целое, а с некоторым «проскальзыванием» по границам.

Площадь поперечного сечения

$$A = a \cdot b = 50 \cdot 250 = 12500 \text{ мм}^2.$$

Продольная сила (собственный вес + вес заполнения)  $N = 8564,2 \text{ Н}$ . Изгибающий момент  $M_{\max} = 4,311 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}^4$ .

Для длительных нагрузок (вес)  $R_{d,lt} = 24 \text{ МПа}$ . Для кратковременных нагрузок (ветер)  $R_{d,st} = 66,7 \text{ МПа}$ .

Проверка условия прочности с разделением по длительности

$$\frac{\sigma_N}{R_{d,lt}} + \frac{\sigma_M}{R_{d,st}} = \frac{0,685}{24} + \frac{13,8}{66,7} = 0,2355 \leq 1.$$

Запас прочности  $\approx 325\%$ .

### Проверка устойчивости.

Для стеклянных стоек полная проверка устойчивости должна выполняться численными методами (МКЭ) по СП 521, п. 6.5 [1]. Предварительная оценка по Эйлеру даёт критическое напряжение  $\sigma_{cr} \approx 60 \text{ МПа}$ , что значительно превышает напряжение сжатия (0,685 МПа), поэтому потеря устойчивости от продольной силы не является определяющей.

Расчёт прогиба (от нормативной ветровой нагрузки  $q_n = 0,684 \text{ Н/мм}$ )

$$f = \frac{5q_{n,ветер} \cdot H^4}{384 \cdot E \cdot I_{\text{eff}}} = \frac{5 \cdot 0,684 \cdot 6000^4}{384 \cdot 70000 \cdot 3,906 \cdot 10^7} \approx 4,22.$$

$4,22 < 30 \text{ мм}$  – условие жесткости выполняется.

Передача нагрузок от стеклянной стойки и её фиксация осуществляется с помощью металлического башмака, изготовленного из нержавеющей стали. Конструкция опорного узла включает систему эластомерных прокладок: основная несущая прокладка из EPDM толщиной 5-8 мм воспринимает вертикальные усилия, тогда как боковые центрирующие вставки обеспечивают точное позиционирование стойки в проектное положение.

Необходимым требованием является наличие зазора между стеклянным элементом и металлическими деталями не менее 6 мм, что исключает прямой контакт и снижает риск повреждений. Башмак закрепляется к несущему перекрытию анкерными болтами, благодаря чему обеспечивается восприятие как вертикальных нагрузок [3] от собственного веса конструкции, так и горизонтальных воздействий ветра.

Крепление стеклопакета к несущей стеклянной стойке осуществляется с помощью точечных зажимных элементов – спайдеров (рисунок 6). На схеме представлен четырёхпозиционный спайдер L200RA4, фиксируемый на стойке с использованием четырёх прижимных клэмпов ТС 11.



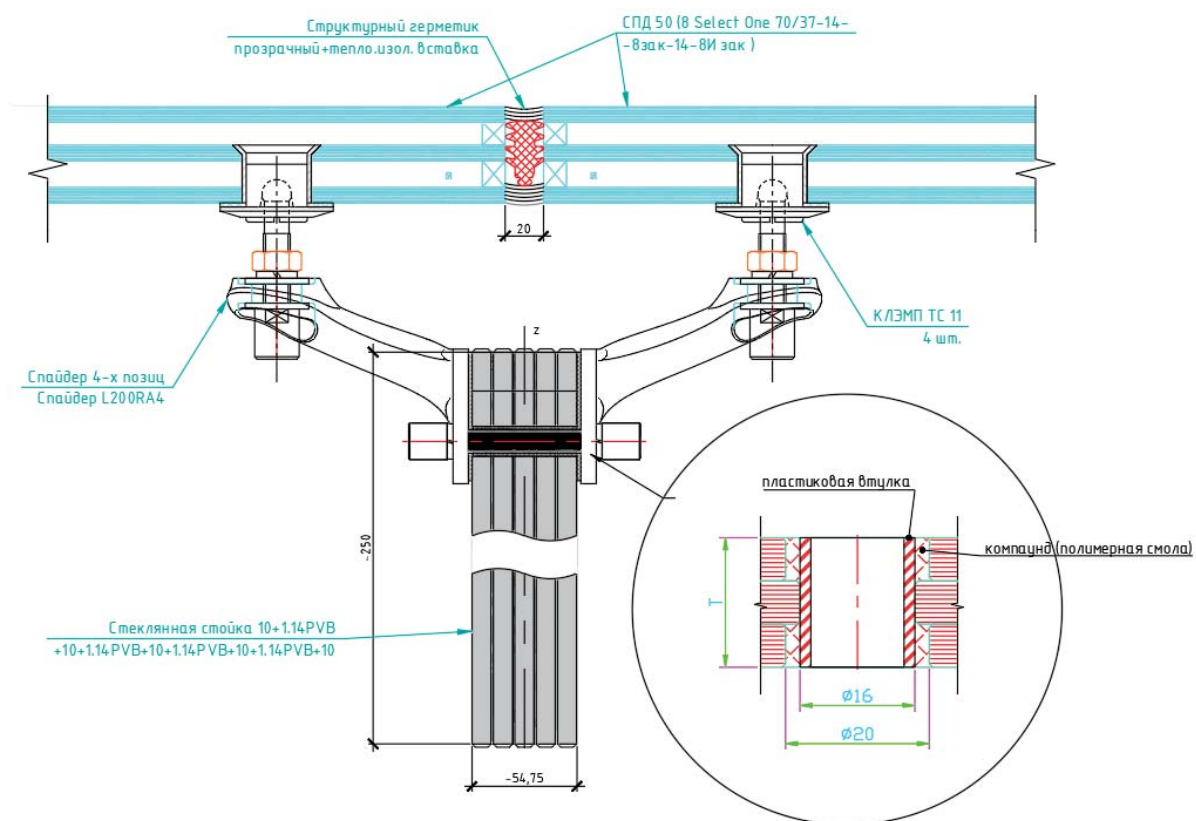


Рисунок 6 – Узел примыкания стеклопакета к стеклянной стойки

Для установки крепежа в стойке предусмотрены отверстия диаметром 16 и 20 мм, в которых размещаются втулки.

Во избежание концентрации напряжений и повреждения стекла в зоне контакта металлических деталей со стойкой применяется компаунд – полимерная пластиковая смола, которая заполняет зазоры, компенсирует микронеровности и обеспечивает упругое опирание. Лапки спайдера служат для присоединения двухкамерного стеклопакета; нагрузка от веса заполнения и ветровых воздействий передаётся на стойку через четыре точки, что обеспечивает равномерное распределение усилий.

Верхний узел.

Верхнее закрепление стойки выполняется по принципу скользящего (направляющего) опирания. Узел предусматривает фиксирующий зажим с компенсационным зазором порядка 10-15 мм, а также систему эластомерных прокладок.

Такое решение обеспечивает восприятие горизонтальных ветровых воздействий и одновременно допускает вертикальные перемещения стойки, возникающие из-за температурных деформаций и упругих прогибов элемента [4].

Приведённое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций традиционно ниже, чем у сплошных стеновых материалов, что представляет собой одно из ключевых ограничений применения стекла.

Для снижения теплопотерь и обеспечения комфортного микроклимата используются специальные компенсирующие меры, среди которых:

- применение стеклопакетов с низкоэмиссионным покрытием (i-стекло), обеспечивающим отражение длинноволнового теплового излучения обратно в помещение при сохранении высокого светопропускания;
- применение мультифункциональных стекол с селективным покрытием на основе оксидов металлов (включая серебро), наносимым методом магнетронного напыления. Такое покрытие обеспечивает двойной эффект: в летний период оно отражает избыточное солнечное излучение, снижая перегрев помещений и нагрузку на системы кондиционирования, а в зимний – препятствует утечке длинноволнового теплового излучения от отопительных приборов, удерживая тепло внутри здания.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ СТОЕК В КРУПНОФОРМАТНОМ ФАСАДНОМ ОСТЕКЛЕНИИ

Таблица 1 – Сравнительный анализ алюминиевой и стеклянной стойки

| Параметр                             | Алюминиевая стойка (типовая)                                                                                                       | Стеклянная стойка                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Архитектурная выразительность</b> | Непрозрачна, при увеличении глубины профиля (200-250 мм) создаёт выраженный визуальный барьер, эффект «жалюзи» при боковом обзоре. | Полностью прозрачна, в том числе в торцевой проекции; не создаёт оптических искажений и муара.                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Жёсткость (прогиб)</b>            | 19,4 мм при допустимом 30 мм.                                                                                                      | 4,22 мм при допустимом 30 мм.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Устойчивость</b>                  | Проверяется по нормам СП 128 через гибкость и коэффициент продольного изгиба (φ). Расчёт выполнен, гибкость удовлетворяет.         | Полноценная проверка устойчивости требует численного моделирования (МКЭ) по СП 521, п. 6.5, из-за слоистой структуры и влияния сдвиговых деформаций в плёнке. Предварительная оценка по Эйлеру показала, что потеря устойчивости от продольной силы не является определяющей ( $\sigma_N < \sigma_{cr}$ ). |
| <b>Материал и долговечность</b>      | Подвержен коррозии в агрессивных средах (хлориды, кислоты, щёлочи). Защитные покрытия требуют обновления.                          | Химически инертен, стоек к любым агрессивным воздействиям, не требует защиты.                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Производство</b>                  | Массовое, множество производителей (Alutech, СИАЛ, ТатПроф).                                                                       | Ограниченный круг производителей (в РФ – «Модерн Гласс», Sibglass Group; в Китае – несколько заводов). Высокая стоимость и длительные сроки изготовления.                                                                                                                                                  |
| <b>Узлы крепления</b>                | Стандартные кронштейны, прижимные планки, термовставки.                                                                            | Сложные узлы: башмаки из нержавеющей стали, спайдеры, клэмпсы, обязательные эластомерные прокладки и компаунд, высокоточные отверстия в стекле.                                                                                                                                                            |

- заполнение межстекольных камер инертными газами (аргон, криптон), что повышает термическое сопротивление стеклопакета на 10-15% по сравнению с заполнением воздухом;

- применение теплоизолирующих дистанционных рамок [4] – в частности, рамок Chromatech Ultra®, изготовленных из полимерных материалов с низкой теплопроводностью, которые минимизируют образование конденсата по краям стеклопакета и исключают возникновение мостиков холода по периметру остекления.

Так, например, двухкамерный стеклопакет типа 6-16ArCR-4i-14ArCR-4i (с низкоэмиссионным покрытием, рамкой Chromatech и заполнением аргоном) обеспечивает сопротивление теплопередаче на уровне  $R_0 = 0,986 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , что соответствует актуальным требованиям, предъявляемым к светопрозрачным конструкциям в современном строительстве.

Производство крупноформатного триплекса длиной до 6 м относится к высокотехнологичному сегменту и доступно ограниченному числу предприятий.

В России такими производителями являются, например, ООО «Модерн Гласс» (Челябинск), освоившее выпуск триплекса

длиной до 12 м, а также Sibglass Group (Красноярск). Импортные поставки из Европы в настоящее время осложнены действующими санкциями. Китай, напротив, располагает значительными производственными мощностями в данном сегменте. Многие китайские заводы оснащены оборудованием, позволяющим выпускать крупноформатный триплекс, сопоставимый по характеристикам с европейскими аналогами.

Среди производителей, декларирующих возможность изготовления сверхкрупного ламинированного стекла, можно выделить:

- Glorious Future Glass Co., Ltd (Пекин) – производственная линия позволяет изготавливать триплекс максимальным размером до  $12000 \times 3200 \text{ мм}$ .

- Shandong Glass Tech Industrial Co.,Ltd (провинция Шаньдун) – оснащена 4 линиями ламинации стекла с максимальным размером  $3300 \times 16\,000 \text{ мм}$ .

Таким образом, китайский рынок предлагает широкие возможности для поставок крупноформатного триплекса, что может рассматриваться как альтернативный источник при усложнении логистики из Европы.

### Заключение

Проведённое исследование показало (таблица 1), что применение стеклянных сто-

ек в крупноформатном фасадном остеклении является технически реализуемым и эстетически оправданным решением для объектов с повышенными архитектурными требованиями.

Однако замена традиционных алюминиевых профилей на стеклянные сопряжена с рядом принципиальных отличий в расчёте, конструировании и эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 521.1325800.2023. Конструкции из многослойного стекла. Правила проектирования : свод правил. – Введ. 2023-06-01. – М. : Минстрой России, 2023. – 65 с.
2. ГОСТ Р 59913-2021. Конструкции стоечно-ригельные фасадные из алюминиевых сплавов. Общие технические условия. – Введ. 2022-01-01. – М. : Стандартинформ, 2021. – 40 с.

3. Шубин, Л. Ф. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т. 5. Промышленные здания : учебник для студентов вузов по специальности «Промышленное и гражданское строительство» / Л. Ф. Шубин, И. Л. Шубин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : БАСТЕТ, 2010. – 440 с.

4. Маклакова, Т. Г. Конструкции гражданских зданий : учебник / Т. Г. Маклакова. – Москва : Изд-во АСВ, 2010. – 296 с.

**Комисаров Максим Александрович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: m.komisarov@akto.info;

**Харламов Иван Викентьевич** – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kharlamov-1948@mail.ru.

УДК 697.3:004.94

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ РАБОТЕ С АРМАТУРОЙ И ОБОРУДОВАНИЕМ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В REVIT

**В. А. Коробка, И. А. Бахтина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены методы и приемы работы с семействами арматуры и сантехнического оборудования при моделировании систем водоснабжения в программной среде AUTODESK REVIT.*

**Ключевые слова:** система водоснабжения, моделирование, арматура, оборудование, BIM модель, семейства.

Системой водоснабжения здания или отдельного объекта называют комплекс инженерных устройств и трубопроводов, предназначенных для получения воды из наружной централизованной или локальной сети и подачи её под необходимым напором ко всем водоразборным устройствам, расположенным внутри здания. Основной задачей системы является обеспечение бесперебойной подачи воды требуемого качества и в достаточном количестве [1].

Системы водоснабжения являются неотъемлемой частью инфраструктуры жилого дома или отдельного объекта. Эффективное моделирование таких систем позволяет обеспечить надежное и бесперебойное водоснабжение, минимизируя затраты и время на обслуживание.

BIM-технологии представляют собой современную методологию проектирования инженерных систем, основанную на создании

комплексной информационной модели объекта (рисунок 1). Процесс моделирования системы водоснабжения можно разделить на несколько последовательных этапов [2, 3]:

#### **Подготовка архитектурной модели.**

Работа начинается с привязки или создания архитектурной модели здания, включая планировки этажей, расположение сантехнических приборов и вертикальных коммуникационных шахт. Все дальнейшие сети прокладываются в соответствии с архитектурными ограничениями.

**Настройка шаблона проекта.** Критически важным этапом является предварительная настройка шаблона: загрузка необходимых семейств (семейства сантехприборов, труб, фитингов, запорной арматуры), настройка типов трубопроводов (холодное/горячее водоснабжение), определение материалов и соединителей.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ РАБОТЕ С АРМАТУРОЙ И ОБОРУДОВАНИЕМ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В REVIT

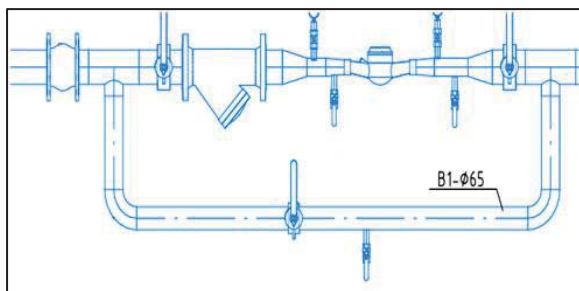


Рисунок 1 – Размещение арматуры на водомерном узле

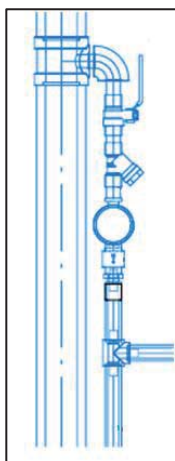


Рисунок 2 – Подключение арматуры на узле учета

**Расстановка сантехнических приборов.** На планах каждого этажа расставляются сантехнические приборы (унитазы, раковины, ванны, смесители и т.д.) из библиотеки семейств. Для каждого прибора задаются ключевые параметры, включая расход воды, который будет использован для гидравлического расчета.

**Прокладка трубопроводной сети.** Моделирование начинается с создания магистральных стояков, от которых затем прокладываются поэтажные разводки к приборам.

Создание видов, разрезов и спецификаций. На основе трехмерной модели автоматически генерируются планы этажей, аксонометрические схемы (развертки системы) и разрезы. Формируются ведомости материалов (спецификации) с количеством труб, фитингов и оборудования.

В результате работы создана информационная модель системы водоснабжения, которая представляет собой не просто набор трёхмерных объектов, а базу данных, содержащую всю информацию о системе.

Приступая к проектированию раздела ВК (водоснабжение и канализация) в Revit, важно заранее подготовить необходимые библиотечные семейства, так как стандартный шаблон проекта часто их не содержит. Многие производители оборудования систем ВК на сайтах часто предлагают готовые семейства. Так же программное обеспечение REVIT позволяет самостоятельно создавать семейства [4].

Для размещения элементов используется диспетчер проекта, где из выпадающего списка выбирается требуемая арматура или оборудование. Многие семейства включают в себя широкий ассортимент типоразмеров.

Как правило, арматура (задвижки, клапаны, краны) размещается на трубопроводе без затруднений. Некоторые семейства обладают функцией автонастройки размера в зависимости от диаметра трубы, на которую они устанавливаются (рисунок 1).

Для удобства компоновки в модели арматуру можно вращать в плоскости. К основному оборудованию систем водоснабжения относят сантехнические приборы (раковины, унитазы, смесители). Логика работы с их семействами аналогична работе с другими инженерными элементами в Revit.

Сначала выбирается необходимый типоразмер прибора, настраивается привязка к уровню и задается смещение. Важно отметить, что типоразмер уже размещенного в модели оборудования можно изменить. Для этого нужно выделить элемент, перейти на вкладку «Свойства» и выбрать новое значение из списка.

Подключение сантехприборов к системе может выполняться двумя основными способами:

1. Подключение к существующей разводке. В этом случае уже смоделированные трубопроводы выравниваются по коннекторам установленных приборов, после чего выполняется соединение.

2. Моделирование разводки от прибора. Выбрав сантехнический прибор, можно начать построение трубопроводов непосредственно от его коннекторов. Перед началом построения необходимо задать тип трубы и ее сечение. Оборудование и арматура могут иметь несколько системных имен в зависимости от количества и типа подключенных к ним инженерных систем (рисунок 2).

Основная функция арматуры в системе водоснабжения – управление потоками воды, обеспечение отключения участков и регулирование давления. Для поддержания стабильной работы системы необходимо, чтобы давление в сети оставалось в расчетных пределах независимо от этажности здания и режимов потребления. Наиболее распро-



страненным методом регулирования является использование запорно-регулирующей арматуры ручного типа [3]. К ней относятся шаровые краны, вентили и задвижки. Их принцип действия основан на механическом изменении проходного сечения, что позволяет перекрывать поток или ограничивать его расход.

Для автоматизации управления применяются более сложные устройства: редукторы давления, электромагнитные клапаны, управляемые контроллерами. Эти устройства поддерживают заданные параметры (например, давление на участке) без постоянного вмешательства оператора.

Современные системы часто интегрируются в комплекс «Умный дом», где управление арматурой (открытие/закрытие, регулирование) осуществляется на основании сигналов от датчиков протечки, расходомеров или по заданному сценарию [5].

Наиболее сложный уровень автоматизации представляет собой замкнутый контур регулирования. В таком контуре датчик (например, датчик давления) непрерывно измеряет текущий параметр. Контроллер сравнивает полученное значение с заданным и, в случае отклонения, отправляет сигнал исполнительному устройству (сервоприводу клапана или частотному преобразователю насоса) на корректировку. Таким образом, система автоматически поддерживает необходимое давление в сети.

При проектировании системы водоснабжения важной составляющей проекта является подбор диаметров трубопровода, для

данного расчета был принят табличный редактор. При помощи графических средств можно рисовать, строить графики и диаграммы. Реализация алгоритмов в табличном процессоре не требует специальных знаний в области программирования. Большинство расчетов средней сложности может быть представлено в виде некоторого набора достаточно простых математических формул в ячейках, выполняемых шаг за шагом. Современные табличные процессоры позволяют использовать средства оформления, такие как, например, цвет и шрифты, которые облегчают понимание программы и несут дополнительную смысловую нагрузку.

Существует возможность внедрения в электронные таблицы различного вспомогательного содержимого: изображений, графиков функций и др.

Помимо создания информационной 3D модели программа предоставляет возможность создания спецификации. Каждая строка спецификации количества – это представление отдельного элемента модели либо расчетная величина, которая отталкивается от существующего элемента. Чтобы создать новую спецификацию, нужно в Диспетчере проектов щёлкнуть правой кнопкой мыши на позиции «Ведомости/Спецификации» и выбрать там «Создать спецификацию/количества...» Открывается окно выбора категорий, наверху выпадающее меню с фильтром по дисциплинам. С его помощью можно скрыть категории ненужных дисциплин (рисунок 3).

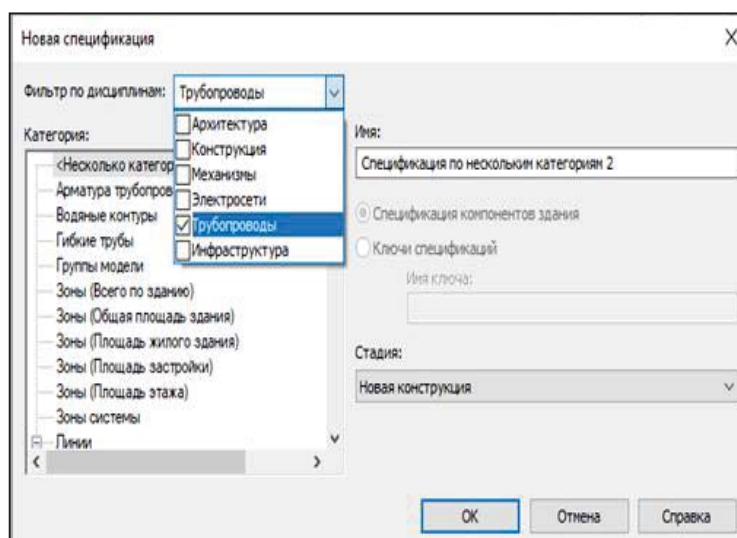


Рисунок 3 – Окно «Новая спецификация»

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ РАБОТЕ С АРМАТУРОЙ И ОБОРУДОВАНИЕМ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В REVIT

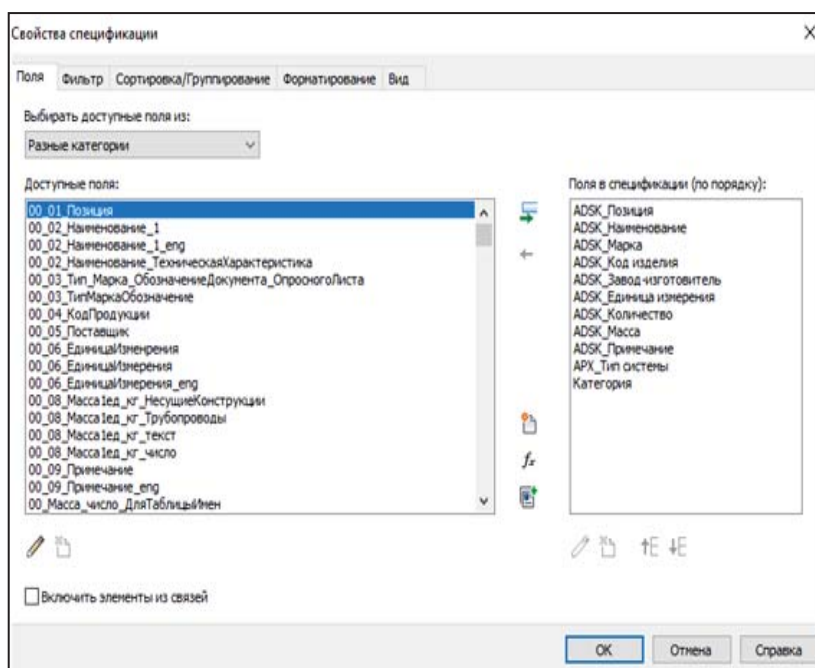


Рисунок 4 – Выбор полей

Если выбрать несколько категорий, то в одной спецификации можно сразу считать и трубу, и фитинги, и арматуру, и всё, что есть в модели. Однако для такого варианта можно будет добавить в таблицу только общие для всех категорий параметры. Справа поле с именем спецификации.

Поля спецификации – это параметры элементов. В спецификацию можно вынести только системные параметры, например «Расход» или «Размер», и общие параметры, добавленные к семейству или проекту. Например, все параметры ADSK – общие. Если хотя бы у одного семейства добавлен общий параметр, то он будет доступен в выборе полей (рисунок 4).

Таким образом, запроектированное оборудование и приборы отражаются в спецификации, что облегчает дальнейшие этапы проектирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М. : Минстрой, 2020. – 35 с.
2. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации и полимерных материалов. – Москва, 2000. – 47 с.

3. ГОСТ 21.601-2011. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутренних систем водоснабжения и канализации. – Москва, 2013. – 63 с.

4. Коробка, В. А. Проектирование системы внутреннего противопожарного водопровода в AUTODESK REVIT / В. А. Коробка, И. А. Бахтина // Ползуновский альманах. – 2025. – № 1. – С. 96-98.

5. Коробка, В. А. Моделирование систем водоснабжения многоэтажного жилого дома с помощью информационного моделирования / В. А. Коробка, И. А. Бахтина, А. Н. Корнеев // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : сборник. – Рубцовск, 2025. – С. 306-310.

**Коробка Владислав Александрович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: korobka.vlad01@mail.ru;

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: bia-altai@mail.ru.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ, АДАПТИРОВАННОЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Ю. А. Кузнецов, М. А. Гаврикова, Е. Р. Кирколуп

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается проблема интеграции технологий информационного моделирования и аддитивного производства в строительстве. Отмечается технологический разрыв между этапами проектирования в средах разработки цифровых информационных моделей и подготовкой к 3D-печати: большинство платформ не поддерживают прямую генерацию траекторий экструдера и G-code. Приведены ключевые особенности проектирования зданий для 3D-печати с учётом технологических ограничений аддитивного производства, детально рассмотрены архитектурные и конструктивные ограничения, а также предложена методология адаптации цифровой информационной модели под требования строительных принтеров.*

**Ключевые слова:** технология информационного моделирования, 3D-печать, аддитивные технологии, цифровая трансформация, архитектурные и конструктивные ограничения.

Строительный контроль при возведении объектов методом 3D-печати требует особого подхода к разработке цифровых информационных моделей (ЦИМ). Согласно Постановлению Правительства РФ от 17 мая 2024 г. № 614, с 1 сентября 2024 года применение технологии информационного моделирования (ТИМ) стало обязательным для всех объектов капитального строительства, что создаёт предпосылки для массового внедрения аддитивных технологий.

Однако на практике сохраняется технологический разрыв между проектированием в среде ТИМ и подготовкой к 3D-печати: стандартные платформы (например, Autodesk Revit) не генерируют напрямую траектории движения экструдера и управляющие коды для строительных принтеров [1].

Успешная реализация проектов с применением 3D-печати невозможна без качественной ЦИМ, которая должна учитывать, не только архитектурно-конструктивные объекта строительства, но и технологические особенности аддитивного производства [2].

Технология 3D-печати в строительстве открывает широкие возможности для реализации сложных архитектурных форм, однако она накладывает ряд существенных ограничений на проектирование зданий. Эти ограничения обусловлены как физико-механическими свойствами печатаемых материалов, так и кинематикой движения принтера, что требует от проектировщиков кардинального пересмотра традиционных подходов к архитектурному и конструктивному решению объектов.

Одним из ключевых ограничений является необходимость проектирования стен с учётом непрерывности экструзии. В отличие от традиционной кладки или монолитного бетонирования, 3D-печать предполагает непрерывное движение экструдера по заданной траектории. Резкие повороты, разрывы контуров или частые остановки могут привести к деформации слоя, расслоению или обрушению свежеложенного материала. Поэтому оптимальной формой стен являются: прямолinéйные участки; плавные криволинейные формы (радиус закругления  $\geq 150$  мм); замкнутые контуры, позволяющие начать и завершить печать без разрывов.

Например, в проекте «BOD2 House» компании COBOD использована цилиндрическая форма здания, что позволило минимизировать количество остановок и обеспечить равномерное распределение напряжений в стене [3]. Напротив, здания с множеством внутренних углов или сложной планировкой требуют дополнительных временных опор или сегментации процесса печати, что увеличивает трудоёмкость и сроки работ.

Толщина стены при 3D-печати должна быть кратна диаметру сопла экструдера, который обычно составляет от 20 до 50 мм. Наиболее распространённые значения – 30-40 мм. Это ограничение связано с тем, что каждый слой материала (дорожка) наносится последовательно, и для прочного соединения между слоями требуется перекрытие слоев в 10-20%.

Формула расчёта количества дорожек

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ, АДАПТИРОВАННОЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

$$n = t/d,$$

где  $t$  – толщина стены,  $d$  – 0,8...0,9 диаметра сопла с учетом наложения слоев.

Например, при толщине стены 120 мм и диаметре сопла 30 мм получается ровно 5 дорожек при их 20% перекрытии.

Высота слоя также не должна превышать определенных значений. Чем выше слой, тем быстрее печать, но хуже точность и прочность сцепления.

Оптимального соотношения ширины сопла экструдера к высоте слоя для строительных принтеров не указывают, т.к. параметры настройки 3D-принтера зависят от особенностей модели, материала, диаметра сопла и других факторов. Тем не менее, в некоторых случаях рекомендуют настраивать высоту слоя в пределах  $1/3 \dots 1/2$  от диаметра сопла. При превышении этого соотношения возрастает риск осадки верхних слоев.

Современные строительные принтеры и технологии печати позволяют печатать наклонные конструкции под углом к горизонту вплоть до  $30^\circ$ , что открывает возможности для создания сводчатых перекрытий (покрытий) различной кривизны, арок и консольных элементов без использования опалубки. Например, в проекте «Tecla» (WASP, Италия) применена технология печати куполов с наклоном до  $60^\circ$  за счёт использования быстро схватывающегося глиняного композита (рисунок 1) [4]. Однако такие решения требуют: высокой скорости схватывания материала; точного контроля траектории движения; специального программного обеспечения для расчёта устойчивости слоев.

Важно отметить, что угол наклона должен быть постоянным или плавно изменяться. Резкие изменения угла нарушают адгезию и могут вызвать обвал конструкции.

На текущем этапе развития аддитивных технологий перекрытия и кровля редко печатаются непосредственно вместе со стенами. Это связано с несколькими факторами: необходимость временной опалубки для горизонтальных элементов; отсутствие армирования в процессе печати (кроме единичных экспериментов с вставкой арматуры); длительное время выдержки нижних слоев перед возведением вертикальных конструкций. Поэтому чаще всего применяется гибридная технология: стены печатаются, а перекрытия и кровля выполняются из сборных железобетонных элементов, деревянных или стальных конструкций.

Что касается инженерных коммуникаций (водоснабжение, отопление, вентиляция,

электропроводка), их интеграция в стены возможна двумя способами: путем закладки каналов, т.е. проектирование в ЦИМ пустот (ниш, отверстий), либо непосредственной прокладкой после печати – путем механического сверления или штробления стен после затвердевания. Первый метод предпочтительнее, т.к. позволяет избежать повреждения структуры стены. Однако он требует высокой точности моделирования и четкой координации с инженерами ещё на стадии формирования цифровой модели.

Одной из главных проблем печатных конструкций является низкая трещиностойкость и ограниченная прочность на растяжение. Поскольку бетонный композит наносится слоями, между ними формируются границы раздела, которые становятся потенциальными зонами разрушения [5].

Для повышения прочности печатных конструкций применяются следующие методы:

- использование фибробетона – добавление полимерных, стальных или базальтовых волокон в смесь (до 1-2% от массы) [6];
- внешнее армирование – установка арматурных каркасов после печати отдельных секций;
- интегрированное армирование – введение арматуры в процессе печати, например, с помощью второго экструдера или робота-манипулятора;
- комбинированный метод, например, компания ICON (США) печатает стены из высокопрочного бетона с фиброй и дополнительно устанавливает вертикальную арматуру в полости стен, которые затем заполняются раствором.

Процесс 3D-печати крайне чувствителен к внешним условиям: температура ниже  $+5^\circ\text{C}$



Рисунок 1 – Эко-жилой дом Tecla, напечатанный на 3D-принтере из глины



замедляет схватывание смеси и может привести к её замерзанию; высокая температура и ветер вызывают быстрое испарение влаги, что приводит к растрескиванию верхних слоёв [7]; дождь делает невозможным продолжение работ без временного укрытия. Поэтому большинство крупных проектов реализуется либо в закрытых ангарах, либо в регионах с умеренным климатом. Для защиты используются мобильные укрытия, системы обогрева основания и модификация состава смеси с добавлением противоморозных добавок. Все вышеперечисленные факторы, которые могут возникнуть при 3D-печати, необходимо учитывать на стадии разработки цифровой информационной модели здания.

Адаптацию ЦИМ к 3D-печати следует начинать с концептуального проектирования, учитывая при этом технологические ограничения принтера. В процессе проектирования в параметрах элементов ЦИМ следует учитывать характеристики сопла экструдера строительного принтера, т.е. чтобы геометрические параметры элементов были кратны ширине и высоте слоя.

Ключевым барьером перехода от ЦИМ к 3D-печати остаётся отсутствие прямой интеграции между ТИМ-платформами и САМ-системами, требующее использования промежуточных решений.

Цепочку передачи ЦИМ на печать можно представить следующим образом: ЦИМ из нативного формата конвертируется в формат IFC, далее в формат STL или OBJ и затем уже в формат G-code.

В настоящее время многие программы для моделирования (например, Revit, Renga) позволяют конвертировать ЦИМ сразу в форматы STL/OBJ, таким образом, процесс передачи ЦИМ на печать сокращается на один этап (нативный формат ЦИМ → STL/OBJ → G-code).

Также важно, чтобы ЦИМ содержала информационные метки (например, маркер начала печати, зоны остановки, участки с изменением состава материала).

Преимущества применения адаптированных цифровых информационных моделей для 3D-печати по большей части неразрывно связаны с преимуществами, которые указывают при использовании строительных принтеров. Это:

1. сокращение сроков строительства за счёт автоматизации процесса возведения несущих конструкций;
2. минимизация отходов материалов и снижение трудозатрат;
3. возможность реализации сложных

архитектурных форм без дополнительной опалубки;

4. повышение точности контроля соответствия выполненных работ проектной документации, например, за счёт наложения ЦИМ на реальный объект в режиме дополненной реальности.

Глобальный рынок 3D-печати в строительстве демонстрирует высокие темпы роста – ожидается ежегодное увеличение объёмов строительства с использованием 3D-печати в 1,5-2 раза до 2033 г., что подтверждает перспективность интеграции ТИМ и аддитивных технологий. В России также ожидают рост рынка строительной 3D-печати. К тому же Министерство строительства РФ озвучивает цель, что к 2030 году в России должно быть построено не менее 1 млн. квадратных метров жилья с использованием 3D-печати. Кроме того Минстрой планирует разработку нормативной базы для массового внедрения 3D-печати в строительную практику.

### Заключение

Цифровая информационная модель для 3D-печати должна учитывать не только архитектурно-конструктивные параметры, но и технологические ограничения аддитивного производства: геометрические особенности стен (непрерывность экструзии, радиусы закруглений), толщину и высоту слоя, углы наклона, требования к армированию и климатические условия проведения работ.

Отсутствие прямой интеграции между ТИМ-платформами и САМ-системами, требующее использования многоэтапной конвертации данных ЦИМ делает перспективным направление разработки специализированных модулей для ТИМ-систем, соответствующих требованиям ГОСТ Р 10.00.00.00-2023 и стандартам ISO 19650, обеспечивающих сквозной цифровой поток «проект → печать» с минимальной ручной обработкой данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов, А. О. Анализ современных видов контроля строительных работ и проблемы их развития / А. О. Акулов, А. О. Рада, С. А. Кононова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 10 (778). – С. 97-107.
2. García-Alvarado R. et al. From BIM model to 3D construction printing: A framework proposal // Sustainable Cities and Society. – 2024. – Vol. 102.
3. Panda, B. Effect of environmental conditions on printability of fly ash geopolymers concrete / B. Panda, S. C. Paul // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 222. – P. 484-493.

4. Chiusoli, A. TECLA. A 3D printed global habitat for sustainable living // WASP: сайт. 2021. – URL: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/> (дата обращения: 11.02.2026).

5. Panda B. et al. Mechanical properties of geopolymer concrete 3D printed with different nozzle sizes // Materials & Design. – 2021. – Vol. 198. – P. 109-120.

6. Buswell R.A. et al. Vision of 3D printing with concrete — Technical implications and challenges // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 112. – P. 138-156.

7. Roussel N. et al. 3D printing of concrete: Method development and front-runner applications // Cement and Concrete Research. – 2020. – Vol. 135. – P. 106-118.

**Кузнецов Юрий Андреевич** – студент группы 8Соим-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: Kuznetsov.konti@yandex.ru;

**Гаверикова Мария Александровна** – ассистент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: miroh1991@mail.ru;

**Кирколуп Евгений Романович** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kirkolup@mail.ru.

УДК 69.07

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАРКАСНЫХ ФИНСКИХ ДОМОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

**Р. Ю. Кулагин, И. В. Харламов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Работа была создана с целью, рассмотреть и выявить новые варианты развития строительных технологий, с целью увеличения энергоэффективности зданий. Актуальность данной темы обусловлена постоянными повышениями требований к экологии в строительстве и энергоэффективности строящихся зданий, вследствие чего выявляется необходимость поиска новых технологий строительства. Рассмотрены методы и мероприятия по применению теплоизоляционных материалов в строительстве каркасных финских домов с целью применения и адаптации данной технологии в условиях Алтайского края. В исследовании применялись методы сравнительного анализа и теплотехнических расчётов. Для расчётов применялись онлайн ресурсы и калькуляторы, а также опыт строительства по подобным технологиям в условиях российского климата и климата Алтайского края. Согласно проведённому исследованию, финская технология строительства и утепления каркасных домов требует адаптации для применения в условиях нашего климата, так как является экономически невыгодной при учёте цен теплоносителя в нашем регионе. В настоящей статье рассмотрен один из вариантов адаптации рассматриваемой технологии, путём конструктивных изменений без весомых изменений технологии строительства.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, пароизоляционные свойства, интенсивность инфильтрации, каркасные дома, коэффициент паропроницаемости, теплопередача, адаптация технологии строительства, ограждающие конструкции, экономические показатели, экология в строительстве.

В период высокого роста цен на энерго-ресурсы, а также повышения требований к экологии в строительстве, энергоэффективность жилых домов стала ключевой задачей современного строительства.

Согласно нормам, в помещениях жилых зданий требуется обеспечивать оптимальные или допустимые параметры микроклимата в обслуживаемой зоне [1]. Учитывая все обстоятельства, финская технология возведения каркасных домов представляет особый

интерес, в данном контексте. Особенность таких построек заключается в их высоких показателях теплосбережения и экологичности. Финляндия, с её суровым и холодным климатом, совершенствовала данный метод строительства несколько десятков лет, что позволяет рассмотреть применение этой технологии на территории Алтайского края со схожим климатом.

Главной особенностью финской технологии строительства каркасных домов явля-

ется продуманная многослойная структура стен, каждый слой которой выполняет определённую функцию, начиная от пароизоляции, заканчивая вентилируемым фасадом [2].

Для фундамента таких домов подбирается утеплённая финская плита (УФП), особенностью которой является наличие слоя утеплителя из экструдированного пенополистирола, что предотвращает промерзание грунта под полом и снижает потерю тепла.

Для сборки каркаса используется сухая строганная доска. Сначала монтируется платформа перекрытия первого этажа, затем вертикальные стойки, укрепляемые горизонтальными связями. В качестве утеплителя стен применяется минеральная вата, обладающая превосходными характеристиками теплоизоляции и паропроницаемости. Толщина слоя минеральной ваты составляет 100 мм. Минеральная вата укладывается в два слоя. Снаружи каркас обшивают ветрозащитным слоем, за которым монтируется вентиляционный зазор при помощи контробрешетки. Пароизоляционная плёнка укладывается внахлест 200 мм.

Отверстия под оконные и дверные проёмы прорезаются после закрепления. На проёмы плёнка заходит на 15 мм. Крепление плёнки выполняется оцинкованными стальными скобами степлером. Проклейка стыков плёнки и углов проёма выполняется пароизоляционным скотчем.

Особое внимание уделяется утеплению кровли и потолочного перекрытия. Кровля выполняется скатной. Утепление перекрытия осуществляется по многослойной технологии. Первым делом к перекрытию снизу подшивается пароизоляционная плёнка. Оклеивка потолочного перекрытия пароизоляционной плёнкой осуществляется в стык к стене и перекрывается отогнутой частью плёнки закреплённой на стене. Стыки стены и потолочного перекрытия также проклеивают пароизоляционным скотчем. Далее устанавливают обрешётку (48 × 48 мм) с креплением к нижним поясам стропильных ферм. Шаг обрешётки 400 мм.

Следующим шагом на перекрытие укладывается слой минераловатного утеплителя толщиной 100 мм. Минеральная вата укладывается для запуска тепла в помещение.

После устройства всех инженерных сетей, в том числе и в чердаке, задувают эковату слоем 350 мм [3].

Для удобства монтажа и строительства обустраиваются ходовые мостики. Затем по верхнему поясу ферм укладывают влагоза-

щитную мембрану и крепят её обрешёткой. Внутри помещения всю конструкцию перекрытия оклеивают крафтовой бумагой.

Финальным шагом является утепление пола бетоном или экструдированного пенополистирола.

В последнюю очередь монтируются инженерные системы, среди которых особое место занимает вентиляция. В финских домах устанавливается приточно-вытяжная система с рекуперацией тепла, что позволяет сохранить до 80% тепла, уходящего с отработанным воздухом.

Для оценки класса энергоэффективности домов, построенных по финской технологии, применяется тестирование с использованием аэродвери. Специальное оборудование создаёт разряжение воздуха внутри здания, после чего замеряется интенсивность инфильтрации через неплотности. В условиях климата Финляндии, коэффициент паропроницаемости, по результатам аэро-дверного теста, должен составлять не менее 0,9: норма – 1,5. Благодаря такой технологии строительства в условиях финского климата удастся достичь высокого уровня комфорта и экономии на отоплении.

Чтобы проверить пригодность применения финской технологии строительства каркасных домов на территории Алтайского края, использовался онлайн сервис «SmartCalc» [4]. Для расчёта сопротивления теплопередаче на сайте указываются все слои стены и перекрытий, и их толщина (рисунок 1).

Согласно расчетам данного онлайн сервиса, сопротивление теплопередаче стены по финскому варианту каркасного дома с заданными характеристиками утепления составляет 5,4 ( $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}$ )/Вт, что превышает значение нормы в 1,5 раза (рисунок 2).

Согласно расчётам для перекрытия, сопротивление теплопередаче составляет 9,72 ( $\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}$ )/Вт, при норме 4,56. Из полученных данных также можно сделать вывод, что возведение и утепление такого дома является экономически невыгодным.

Исходя из расчётов, можно понять, что применение технологии строительства каркасных финских домов на территории Алтайского края оправдано только в случае чрезвычайной дороговизны энергоносителя для системы отопления, в ином случае, затраты на достижение данного показателя энергоэффективности при помощи исследуемой технологии могут оказаться экономически невыгодными.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАРКАСНЫХ ФИНСКИХ ДОМОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

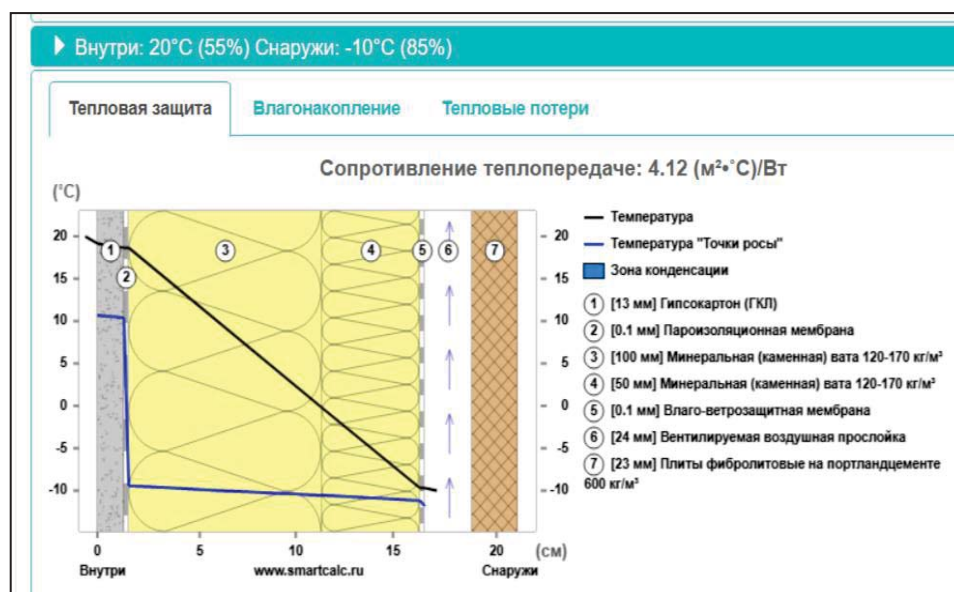


Рисунок 1 – Расчёт сопротивления теплопередаче стен дома, возведённого по финской технологии в климатических условиях Алтайского края на сайте «SmartCalc»

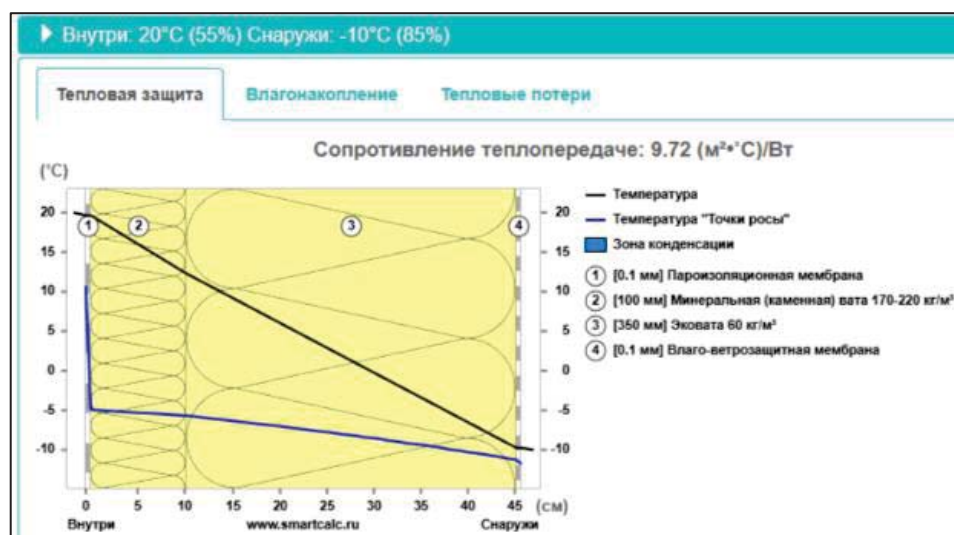


Рисунок 2 – Расчёт сопротивления теплопередачи перекрытия дома, возведённого по финской технологии в климатических условиях Алтайского края на сайте «SmartCalc»

Для адаптации технологии строительства финских домов в Алтайском крае рассмотрим вариант изменения их конструкции. Рассчитаем сопротивление теплопередаче при уменьшении одного слоя минераловатного утеплителя стены на 50 мм и введём обновленные данные в калькулятор, для вычисления новых данных (рисунок 3).

Полученное сопротивление теплопередачи, после конструктивных изменений стало равным  $4,12(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ . Согласно заключению сайта «SmartCalc»: Ограждающая конструкция удовлетворяет санитарно-

гигиеническим нормам и нормам по тепловой защите вне зависимости от иных требований.

На рисунке 4 видно, что слой ограждающей конструкции удовлетворяет нормам по защите от переувлажнения. Отклонение данной величины от нормируемых значений может привести к отложению конденсата внутри ограждающей конструкции, что в свою очередь ведёт к разрушению конструктивных элементов.

На рисунке 5 видно, что утечка тепла через ограждающую конструкцию здания находится в пределах нормы.



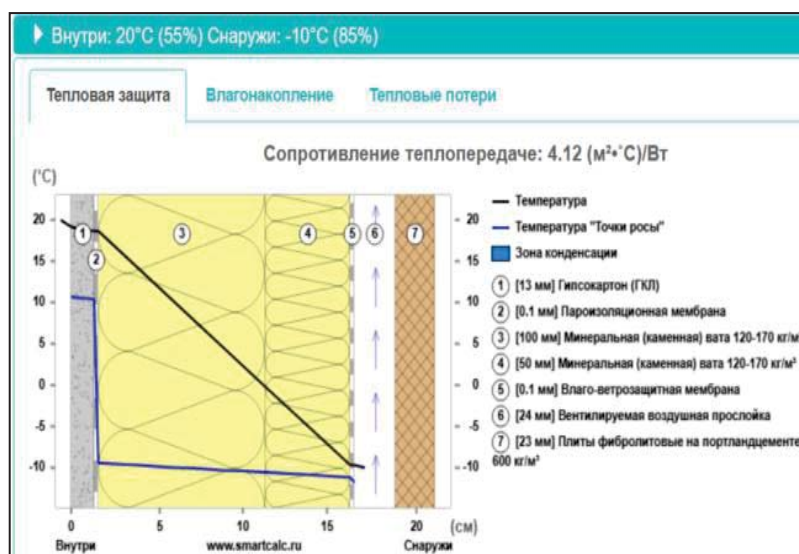


Рисунок 3 – Расчёт сопротивления теплопередаче для стены дома возведённого по финской технологии с конструктивными изменениями для адаптации к климатическим условиям Алтайского края на сайте «SmartCalc»

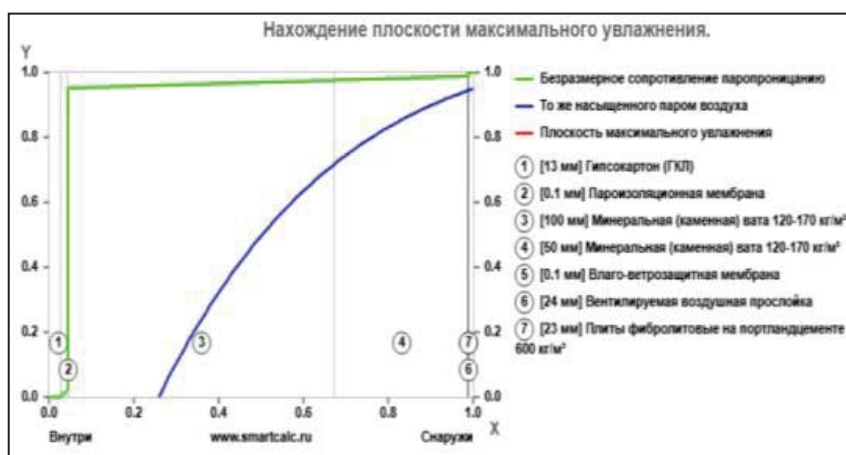


Рисунок 4 – График расчёта переувлажнения методом безразмерных величин

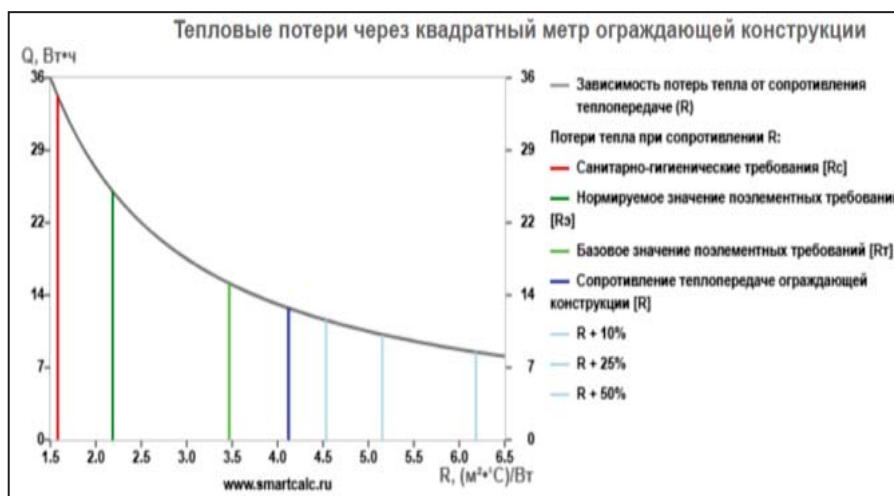


Рисунок 5 – График тепловых потерь для изменённой конструкции стены каркасного финского дома

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАРКАСНЫХ ФИНСКИХ ДОМОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

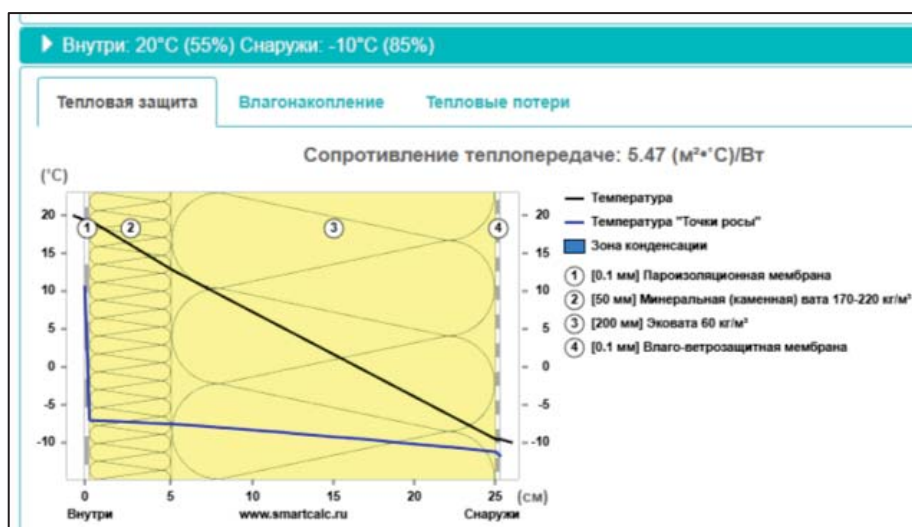


Рисунок 6 – Расчёт сопротивления теплопередаче для перекрытия дома возведённого по финской технологии с конструктивными изменениями для адаптации к климатическим условиям Алтайского края на сайте «SmartCalc»

Проведём расчёт сопротивления теплопередачи для перекрытий, с учётом конструктивных изменений (рисунок 6). Предлагается уменьшить толщину слоя минераловатного утеплителя до 50 мм, а слой эковаты уменьшить до 200 мм. Вводим обновлённые данные расчёта в калькулятор. Обновлённый расчёт показывает, что сопротивление теплопередачи стало равным  $5,47 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ . Данное значение, согласно заключению сайта «SmartCalc», удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам и нормам по тепловой защите вне зависимости от иных требований.

Технология строительства каркасных финских домов для применения в условиях Алтайского края требует конструктивных изменений для адаптирования к климату, так как данная технология является неоправданно дорогостоящей. В данной работе мы рассмотрели актуальную финскую технологию строительства и адаптированную под климат Алтая.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М. : Стандартинформ, 2012. – 2 с.
2. Семёнов, А. А. Деревянное каркасное домостроение: технологии и расчёты / А. А. Семёнов. – М. : Изд-во АСВ, 2019. – 256 с.
3. Густафссон, С. Ф. Архитектурно-строительная физика. Лёгкий каркас как решение для суровых климатических условий / С. Ф. Густафссон. – М. : НГАСУ, 2020. – 184 с.
4. SmartCalc.ru. Теплотехнический калькулятор [Электронный ресурс]. – URL: SmartCalc. Расчет утепления и точки росы для строящих свой дом. СНИП (дата обращения: 03.02.2026).

**Кулагин Роман Юрьевич** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [RomansssK@yandex.ru](mailto:RomansssK@yandex.ru);

**Харламов Иван Викентьевич** – к.т.н., профессор кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [harlamoviv@altgtu.ru](mailto:harlamoviv@altgtu.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ СТЕНОК ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Е. К. Ладыка, Е. И. Вяткина

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Статья посвящена обзору современных технологий обеспечения устойчивости грунтовых стенок глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки. Рассмотрены виды стенок глубоких котлованов, способы обеспечения их устойчивости. Проведен анализ эффективности применения различных технологий по обеспечению устойчивости грунтовых стенок глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки.*

**Ключевые слова:** котлован, городская застройка, существующие здания, устойчивость грунтовых стенок, осадка, усиление, РИТ, ограждение, укрепление, нагрузки.

Активное развитие подземного пространства в крупных городах приводит к необходимости устройства глубоких котлованов (глубиной более 10-15 м) в непосредственной близости от существующих зданий и инфраструктуры (рисунок 1). В условиях плотной городской застройки ключевой задачей становится обеспечение устойчивости грунтовых стенок котлована с минимальным воздействием на окружающую застройку [1].

Неконтролируемые деформации могут привести к образованию трещин в соседних зданиях, повреждению коммуникаций и даже к аварийным ситуациям. Поэтому выбор эффективной технологии ограждения и крепления стенок котлована является критически важным этапом проектирования.

### **Виды ограждающих конструкций глубоких котлованов.**

В современной практике для устройства вертикальных стенок котлованов в условиях плотной застройки применяются следующие основные типы ограждающих конструкций.

**Траншейные стеновые конструкции.** Представляют собой монолитные или сборные стены, возводимые внутри траншей для ограждения котлована. Используются как временные (до завершения строительных работ) или постоянные (в составе фундаментов или подпорных стен). Могут быть выполнены из различных материалов: бетона, железобетона, кирпича, камня или современных композитных материалов.

Основная задача – удержание грунта и предотвращение обвалов, а также создание устойчивой основы для дальнейших строительных работ. Монолитные бетонные стены заливаются в опалубке прямо на строитель-

ной площадке. Обеспечивают высокую прочность и герметичность, подходят для сложных условий. Сборные железобетонные панели изготавливаются заранее на заводе и монтируются на месте. Быстрое устройство, хорошая точность размеров. Кирпичные или каменные стены применяются в историческом строительстве или при необходимости эстетического оформления; менее распространены в современных проектах из-за меньшей скорости возведения.

Преимущества данной технологии – высокая прочность и долговечность позволяют выдерживать значительные нагрузки. Возможность точного проектирования и изготовления с учетом специфики участка. Могут быть выполнены с различной толщиной и формой для оптимизации конструкции.

К недостаткам следует отнести значительные затраты времени и средств на устройство, особенно при использовании моно-



Рисунок 1 – Пример глубокого котлована в условиях городской застройки

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ СТЕНОК ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

литных технологий, технология требует проведения земляных работ по устройству траншей, что увеличивает объем земляных работ и их стоимость, необходимость использования опалубки и арматуры, что усложняет технологический процесс.

**Буронабивные сваи.** Выполняются путем бурения скважины в грунте с помощью специальных буровых установок. После бурения скважина заполняется армированным бетоном – это обеспечивает высокую несущую способность. Армирование включает металлическую арматуру, которая усиливает бетонный стержень. Используются для укрепления слабых грунтовых оснований под зданиями или сооружениями, а также для создания несущих элементов стен котлована [3].

**Буросекущиеся сваи.** В процессе бурения осуществляется механическая секущая часть сваи – специальный инструмент или секущий элемент. После достижения нужной глубины секущий элемент остается в грунте вместе с армированным стержнем. Обеспечивают надежное закрепление стенки котлована за счет интеграции с грунтом и высокой несущей способностью.

Преимущества: возможность устройства в сложных грунтовых условиях (например, в плотных или водонасыщенных грунтах), минимальные земляные работы по сравнению с традиционными методами – не требуется выемка больших объемов грунта, быстрое выполнение – установка сваи занимает меньше времени.

Недостатки: высокая стоимость оборудования и работ по устройству свай, требуют наличия специализированного оборудования (буровые установки) и квалифицированных специалистов, не всегда оправданы при небольших объемах работ или при необходимости экономии бюджета.

**Сваи РИТ (разрядно-импульсная технология).** Разрядно-импульсная технология – это технология, использующая эффекты, возникающие при разряде импульсов тока высокого напряжения в жидкости [4]. Технология основана на физико-химическом укреплении грунтов при воздействии на них высоковольтных электрических разрядов (искровых или дуговых) непосредственно в массиве грунта. Разряд происходит между электродами, погруженными в скважину, заполненную электролитом (обычно жидким стеклом или цементным раствором) (рисунок 2).

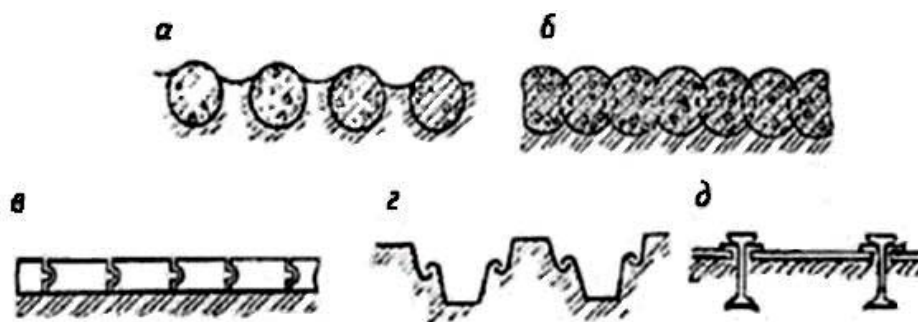
Преимущества технологии РИТ: высокая эффективность в слабых водонасыщенных грунтах; повышенная несущая способность по сравнению с забивными и буронабивными сваями; минимальные динамические воздействия на окружающую застройку; скорость устройства; возможность работы в стесненных условиях.

Недостатки и ограничения технологии РИТ: высокая стоимость энергии, расходных материалов и технологии; сложность точного прогнозирования геометрии и свойств получаемого элемента из-за неоднородности грунта; ограниченная глубина применения (обычно до 20-25 м) из-за сложностей с передачей импульса и устройством электродов; низкая эффективность в сухих и скальных грунтах, где нет среды для формирования электролитической дуги и электрохимических реакций; необходимость в квалифицированном персонале и специализированном дорогостоящем оборудовании (генераторы импульсов высокого напряжения); относительная новизна и малая распространенность по сравнению с классическими методами, что вызывает осторожность у проектировщиков и заказчиков.



Рисунок 2 – Схема устройства свайного фундамента по разрядно-импульсной технологии





а – буронабивные сваи; б – железобетонная стенка из «секущихся свай»; в – железобетонный шпунт; г – металлический шпунт; д – двутавровый шпунт

Рисунок 3 – Виды шпунтовых ограждений

Таблица 1 – Критерии выбора метода ограждения котлованов

| Критерий                 | Рекомендуемые методы                                                             |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Глубина котлована        | Траншейные стены – до 10 м;<br>шпунты – до 15 м;<br>сваи и сваи РИТ – более 15 м |
| Тип грунта               | Глинистые – траншейные стены;<br>пески – шпунты;<br>слабые грунты – сваи РИТ     |
| Временность              | Временные – шпунты;<br>постоянные – монолитные стены                             |
| Условия застройки        | Ограниченное пространство – шпунты;<br>сложный рельеф – сваи                     |
| Экономические показатели | Быстрые методы – шпунты;<br>долговечные – монолитные стены                       |

**Шпунтовое ограждение.** Представляет собой вертикальные металлические или пластиковые шпунты (профили), которые забиваются или вибропогружаются по периметру котлована для его ограждения (рисунок 3) [2]. Может использоваться как временное средство поддержки стен во время земляных работ, либо как часть постоянной конструкции. Основная функция – удержание грунта за счет жесткой фиксации шпунтовых элементов.

Виды шпунтовых систем:

- металлические шпунты: шпренгель (классический тип металлического профиля с замками для соединения между собой; широко применяется благодаря высокой прочности), шпренгель-профиль (более современные профили с улучшенными характеристиками монтажа и прочности), другие виды металлических шпунтов включают Н-профили, Z-профили и т.п., подбираемые под конкретные задачи;

- пластиковые шпунты используются реже из-за меньшей прочности по сравнению с металлом; применяются там, где важна коррозионная стойкость или есть ограничения по весу.

Преимущества: быстрое устройство – монтаж занимает минимальное время по сравнению с заливкой монолитных стен, возможность многократного использования элементов после демонтажа (особенно металлических).

Недостатки: ограниченная несущая способность при больших нагрузках; не подходит для очень глубоких котлованов с тяжелыми конструкциями сверху, требуется точная установка и закрепление для обеспечения надежности ограждения [2].

Современные технологии позволяют комбинировать различные методы: например, использование шпунтовых систем вместе с инъекциями для усиления слабых участков либо сочетание свайных конструкций с временными траншейными стенами для оптимизации затрат и повышения эффективности работы.

Выбор технологии по обеспечению грунтовых стенок глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки зависит от таких факторов, как: тип грунта, глубина проектируемого котлована, уровень подземных вод, близость соседних зданий и коммуникаций, бюджет проекта и сроки строительства.

Выбор наиболее рационального метода обеспечения устойчивости стенок в зависимости от типа грунта представлен в таблице 1.

### Заключение

Проведенный анализ подтверждает, что обеспечение устойчивости глубоких котлованов в плотной городской застройке требует системного подхода.

Универсального решения не существует; выбор технологии зависит от комплекса факторов: геологических условий, глубины котлована, близости существующих сооружений и экономических рамок.

Наиболее эффективной стратегией является комбинирование проверенных мето-

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ СТЕНОК ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

дов (буронабивных/буросекущих свай, шпунта с безударным погружением и монолитных стен) с инновационными решениями, такими как сваи-РИТ для сложных грунтов. Решающим условием является тщательный предпроектный анализ, применение численного моделирования для прогноза деформаций и обязательный геотехнический мониторинг на всех этапах работ.

Таким образом, безопасное освоение подземного пространства достигается за счет рационального выбора технологий, что позволяет минимизировать риски для существующей инфраструктуры и обеспечивать устойчивость конструкций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 361.1325800.2017. Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов. – М.: Стандартинформ. 2018. – 57 с.

2. СП 381.1325800.2018. Сооружения подпорные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2018. – 110 с.

3. Мангушев, Р. А. Современные свайные технологии: учебное пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин. – Москва: АСВ, 2010. – 240 с.

4. Технические рекомендации (ТР) 50-180-06 «Рекомендации по применению технологии разрядно-импульсных воздействий для укрепления оснований фундаментов». – М.: ООО «УИЦ «ВЕК», 2006. – 68 с.

**Ладья Егор Константинович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: egor.ladyka18@mail.ru;

**Вяткина Елена Ивановна** – к.г.-м.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: el240943@mail.ru.

УДК 696.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И ТИПОВ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

**В. В. Логвиненко, Н. Н. Сащенко**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются применяемые в современном строительстве газопроводов материалы и типы труб. В ходе исследования были изучены основные методы прокладки газопроводов (с применением стальных и полиэтиленовых труб), их свойства и особенности применения в климатических и инженерно-геологических условиях. Статья позволяет получить представление о том, как обоснованный выбор материалов влияет на безопасность и эффективность эксплуатации современных систем газоснабжения.*

**Ключевые слова:** газоснабжение, стальные трубы, полиэтиленовые трубы, подземная прокладка газопроводов, надземная прокладка газопроводов, бестраншейные технологии (ГНБ), коррозионная стойкость, сварка полиэтиленовых труб, сварка стальных труб.

Современная строительная отрасль в сфере трубопроводного транспорта переживает трансформацию, обусловленную необходимостью повышения надежности инфраструктуры газоснабжения и оптимизации материальных затрат.

Среди ключевых инженерных задач, требующих научно-обоснованного подхода, выбор материалов и типов труб для систем газораспределения занимает одно из наиболее приоритетных мест. Данный выбор переходит из стадии типовых решений в фазу глубокого технико-экономического анализа, предлагая альтернативу устаревшим подходам к проектированию газопроводов, особен-

но в региональных условиях.

Ключевыми технико-экономическими направлениями развития систем газоснабжения являются два основных метода:

- Применение стальных труб (рисунок 1) для строительства газопроводов. Данный метод традиционно ориентирован на создание высоконадежных систем, работающих под высоким давлением, а также на надземную прокладку в условиях сложного рельефа или в промышленных зонах, где требуется максимальная механическая прочность.

- Применение полиэтиленовых труб (рисунок 2) для подземной прокладки газораспределительных сетей. Данный метод ориен-



Рисунок 1 – Производство стальных труб для газопроводов



Рисунок 2 – Полиэтиленовые трубы для газопровода

тирован на промышленное производство и монтаж коррозионностойких трубопроводов, обеспечивающих длительный срок эксплуатации (до 50 лет и более) и высокую скорость строительства в грунтовых условиях Алтайского края.

При полностью автономной технологии строительства стальные трубы для газопроводов производятся в заводских условиях и доставляются на трассу строительства непосредственно для проведения сварочно-монтажных работ, без использования альтернативных материалов (полиэтилена) и сложных систем электрохимической защиты на начальном этапе. Прокладываются как отдельные участки газопроводов (переходы под дорогами, вводы в котельные), так и магистральные линии высокого давления.

Заводское качество металла заменяет необходимость в усилении стенок трубы на месте, а сортамент стального проката практически не ограничивает рабочие параметры, если грамотно подбирать марки стали и толщину стенки под конкретное давление.

Для реализации технологии используются два основных метода прокладки.

Подземная прокладка в изоляции позволяет создавать долговечные коммуникации, где в заводских или трассовых условиях на трубу наносится усиленное антикоррозионное

покрытие для защиты от грунтовой коррозии.

Надземная прокладка на опорах позволяет полностью отказаться от изоляционных работ и полагаться на механическую прочность металла, прокладывая газопровод по эстакадам или отдельно стоящим опорам, что придает конструкции доступность для обслуживания и чистую, индустриальную эстетику.

Данная система обеспечивает отличную герметичность сварных соединений и длительный срок эксплуатации (до 40-50 лет) [1] за счет заводского контроля качества металла и сварных швов. Технология остается материалоёмкой и требует значительных затрат на антикоррозионную защиту, т.к. сталь подвержена коррозии в грунтовых условиях, что требует тщательного выбора изоляционных покрытий и применения методов электрохимической защиты (катодная поляризация, протекторная защита).

В технологии подземной прокладки газопроводов из полиэтиленовых труб используется метод заводского производства гладких или профилированных труб в контролируемых цеховых условиях [1]. Этот метод позволяет добиться максимальной стабильности геометрических размеров, однородности толщины стенки и высокого качества поверхности выпускаемых труб, которые затем доставляются на объект и соединяются в непрерывную нитку газопровода непосредственно в траншее или методом наклонно-направленного бурения.

Данный подход применяется в сложных инженерно-геологических условиях или при строительстве в стесненных городских условиях, когда трасса газопровода имеет сложную конфигурацию, требует изгибов под дорогами или пересечения с существующими коммуникациями.

При использовании открытого способа прокладки (в траншеях) в плотной городской застройке добиться сохранности благоустройства и минимизации сбоев будет практически невозможно.

Исходя из этого применяют два основных подхода при использовании полиэтиленовых труб.

Первый вариант – прокладка длинномерными плетями (буктами). Этот способ является классическим для создания распределительных газопроводов низкого и среднего давления. В первую очередь происходит заводское производство трубы и смотка ее в бухты большой длины (до 200 м и более). Далее готовую плетть транспортируют на объект и раскатывают по траншее или укладывают методом горизонтально-направленного



## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И ТИПОВ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

бурения (ГНБ), соединяя отдельные плети сваркой в непрерывную нитку.

Во втором варианте используют прокладку отдельными мерными отрезками (хлыстами) (рисунок 3). Таким образом, создаются газопроводы большого диаметра (от 160 мм и выше) [2], которые невозможно сматывать в бухту. Отрезки труб соединяются на трассе при помощи стыковой сварки. Кроме того, такой способ, за счет применения специальных фитингов и отводов, позволяет собирать сложные узлы (обводы, врезки, переходы) непосредственно на месте строительства, обеспечивая требуемую конфигурацию газораспределительной сети.

К достоинствам применения стальных и полиэтиленовых труб при строительстве газопроводов относятся:

- Высокая надежность и долговечность, благодаря которой обеспечивается бесперебойная транспортировка газа. Стальные трубы служат до 40-50 лет за счет механической прочности, полиэтиленовые – до 50-80 лет за счет коррозионной стойкости, что позволяет выбирать оптимальный материал под конкретные условия эксплуатации.

- Технологичность монтажа, позволяющая вести строительство в различные сроки: стальные трубы сваривают, полиэтиленовые соединяют автоматической сваркой, что в обоих случаях обеспечивает герметичность и надежность стыков.

- Адаптивность к условиям прокладки, дающая возможность применять стальные трубы для надземной прокладки и высоких давлений, а полиэтиленовые – для подземной прокладки в коррозионно-активных грунтах и бестраншейных технологий.

- Экономическая эффективность, достигаемая за счет оптимизации выбора: сталь эффективна при высоких нагрузках и давлениях, полиэтилен – при строительстве распределительных сетей в грунтах с низкой несущей способностью.

- Безопасность эксплуатации, обеспечиваемая заводским контролем качества материалов и сварных соединений, а также возможностью применения методов диагностики (ультразвуковой контроль для стали, акустическая эмиссия для полиэтилена).

На фоне достоинств присутствуют так же и недостатки, к ним относятся:

- Ограниченная область применения каждого материала, требующая тщательного технико-экономического обоснования при проектировании: сталь эффективна при высоких давлениях и надземной прокладке, но уязвима к коррозии; полиэтилен коррозион-

ностойкий, но ограничен по давлению и чувствителен к ультрафиолету.

- Зависимость от внешних факторов, выражающаяся в том, что стальные трубы требуют защиты от грунтовой коррозии и блуждающих токов, а полиэтиленовые – от механических повреждений и низких температур, что особенно актуально в климатических условиях Алтайского края.

- Сложность контроля качества соединений, требующих применения различных методов диагностики: для стали – рентгенография и ультразвук, для полиэтилена – акустическая эмиссия и визуальный контроль, что требует привлечения специализированных лабораторий и оборудования.

- Высокие эксплуатационные расходы при несоблюдении условий применения: для стали – затраты на электрохимическую защиту и периодический контроль изоляции, для полиэтилена – риск аварий при повреждениях и сложность ремонта в зимних условиях.

- Технологические ограничения монтажа, связанные с тем, что сварка стали требует высокой квалификации и энергозатрат, а сварка полиэтилена чувствительна к погодным условиям (осадки, отрицательные температуры) и требует применения специальных укрытий и оборудования.

В настоящее время при строительстве газопроводов применяются два основных вида технологий прокладки – открытый (траншейный) способ (рисунок 4) и закрытый (бестраншейный) способ (рисунок 5).

При открытом способе используется землеройная техника – экскаваторы различных модификаций, которые разрабатывают траншею заданной глубины и ширины. Дно траншеи, на которое укладывается трубопровод, называется основанием и должно иметь проектную отметку и уклон, обеспечивающие нормальную эксплуатацию газопровода.



Рисунок 3 – Прокладка полиэтиленовых труб мерными отрезками





Рисунок 4 – Открытый (траншейный) способ прокладки



Рисунок 5 – Закрытый (бестраншейный) способ прокладки

Основными составляющими технологического процесса являются разработка грунта, устройство песчаного основания, укладка труб, монтаж соединений и обратная засыпка. Таким образом, движение техники осуществляется линейно вдоль трассы будущего газопровода.

При бестраншейном способе (горизонтально-направленное бурение – ГНБ) используется буровая установка, которая бурит скважину по заданной траектории с последующим ее расширением и протягиванием в нее полиэтиленовой трубы. Данный метод позволяет прокладывать газопроводы под дорогами, водными преградами и другими препятствиями без нарушения благоустройства.

При строительстве газопроводов используют специальные трубы, соответствующие проектным параметрам. Трубы могут

быть как стальными (электросварные, бесшовные), так и полиэтиленовыми (ПЭ 80, ПЭ 100). Толщина стенки трубы обязательно должна соответствовать рабочему давлению газа и условиям прокладки [3]. Это обеспечивает надежную и безопасную транспортировку газа на протяжении всего срока эксплуатации. Диаметр труб может варьироваться от 20 мм до 1200 мм и более [3]. Для подземной прокладки стальные трубы обязательно изолируются усиленным антикоррозионным покрытием, а полиэтиленовые трубы могут укладываться без дополнительной изоляции.

Для сохранения герметичности и целостности строящегося газопровода, между соединяемыми элементами (трубами, отводами, фитингами) необходимо обеспечить качественное сварное соединение. Для стальных труб применяется электродуговая сварка, для полиэтиленовых – стыковая сварка нагретым инструментом или сварка с закладными электронагревателями. Это также помогает защитить конструкцию от утечек газа, возникающих вследствие некачественных стыков и механических напряжений в материале. Эти сварные швы необходимо тщательно контролировать, так как качество соединений не только обеспечивает герметичность газопровода, но и гарантирует его безопасную эксплуатацию как единой системы.

Чтобы правильно подобрать трубы для строительства газопровода, необходимо знать следующие ключевые критерии:

- В первую очередь необходимо учитывать прочностные характеристики: предельное рабочее давление, которое выдерживает труба, и коэффициент запаса прочности (для стальных труб – предел текучести, для полиэтиленовых – минимальная длительная прочность MRS).

- Необходимо учитывать коррозионную стойкость материала, так как это влияет на срок службы газопровода и необходимость применения дополнительных защитных мер (изоляция, электрохимическая защита).

- Поведение материала при различных температурах окружающей среды: для стальных труб – сохранение вязкости при отрицательных температурах (хладостойкость), для полиэтиленовых – температурный диапазон эксплуатации от -20°C до +40°C.

- Стойкость к механическим повреждениям при транспортировке, монтаже и эксплуатации, включая устойчивость к точечным нагрузкам и динамическим природным воздействиям.

- Долговечность и прогнозируемый срок службы в конкретных грунтово-климатических

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И ТИПОВ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

условиях (для Алтайского края – с учетом глубины промерзания, пучинистости грунтов, коррозионной активности).

- Экономическая эффективность, включающая не только стоимость труб, но и затраты на транспортировку, монтаж, защиту от коррозии и последующее обслуживание в течение всего срока эксплуатации.

Таким образом, сравнительный исследование подтверждает, что стальные и полиэтиленовые трубы находятся не в конкурентной, а в симбиотической связи. Жесткость, термостойкость и способность стали выдерживать экстремальные давления органично дополняются коррозионной стойкостью, эластичностью и простотой монтажа полиэтилена.

Полиэтилен является оптимальным выбором для подземных распределительных сетей в условиях агрессивной среды и низкого/среднего давления, обеспечивая долговечность и герметичность.

Сталь остается незаменимой для ответственных участков: надземная прокладка, газопроводы высокого давления, пересечения с препятствиями и обвязка оборудования.

Только совместное применение этих материалов с учетом их сильных сторон гарантирует создание эффективной, безопасной и

экономически целесообразной системы газоснабжения, отвечающей современным требованиям промышленной безопасности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные положения: дата введения 2015-01-01. – М. : Минстрой России, 2015. – 38 с.

2. ГОСТ Р 58121.2-2018. Пластмассовые трубопроводы для транспортирования газообразного топлива. Основные положения: дата введения 2019-07-01. – М. : Минстрой России, 2019. – 46 с.

3. СТО НОСТРОЙ 2.3.202-2016. Строительство подземных сетей газораспределения давлением газа до 1,2 МПа (включительно). Основные положения: дата введения 2016-24-10. – М. : Минстрой России, 2016. – 32 с.

**Логвиненко Владимир Васильевич** – к.т.н., и.о. заведующего кафедрой «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика», ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: Logvinenkovv@altgtu.ru;

**Сащенко Николай Николаевич** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: Starina\_nik1988@mail.ru.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДЧИКОВ: ЭЖЕКЦИОННЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ, В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ

С. Н. Маняк, И. А. Бахтина

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Проведен сравнительный анализ энергоэффективности и уровня обеспечиваемого комфорта двух типов оконечных устройств систем обеспечения микроклимата: эжекционных доводчиков (холодных балок) и вентиляционных доводчиков (фанкойлов) в условиях современных офисных зданий.*

**Ключевые слова:** охлаждающая балка, приточный воздух, системы переменного расхода, конденсация, эжекция, микроклимат

Современное офисное строительство многоэтажных зданий с наружными стенами, выполненными из стекла в климате большинства регионов России с диапазоном зимних температур ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  и летних температур превышающих  $+30^{\circ}\text{C}$  сопряжено со значительными энергетическими расходами на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха.

Системы вентиляции используются для обеспечения оптимального микроклимата в жилых, коммерческих и промышленных помещениях. Вентиляция не только отвечает за приток свежего воздуха, но также способствует удалению загрязняющих веществ и избыточной влаги. Все более актуальными становятся системы с рекуперацией тепла, которые позволяют значительно сократить энергозатраты, связанные с обогревом или охлаждением поступающего воздуха. Такие системы основаны на использовании теплообменников для извлечения тепла из отводимого воздуха и передачи его приточному воздуху.

Одной из ключевых задач при проектировании инженерных систем является выбор оборудования, способного эффективно ассимилировать теплоизбытки при минимальных затратах энергии на транспортировку теплоносителя и воздуха. Выбор между эжекционными и вентиляторными доводчиками является одной из наиболее обсуждаемых тем в отечественной инженерной школе. Основной вклад в теоретическое обоснование работы эжекционных систем внес О. Я. Кокорин, который рассматривал их как средство достижения высокого уровня комфорта при минимизации локальных энергозатрат [1, 2]. В то же время широкое распространение фанкой-

лов обусловлено их высокой тепловой маневренностью и относительной простотой монтажа.

Вентиляционные доводчики, более известные как фанкойлы (от англ. Fan-Coil Unit – узел «вентилятор-теплообменник»), развивались параллельно с развитием компактных электродвигателей и централизованных систем холодоснабжения (чиллеров).

Идея интеграции вентилятора и радиатора в одном компактном корпусе для локального управления температурой зародилась в США в 1950-х годах.

Технология эжекции в климатических системах берет свое начало из принципов классической аэродинамики, в частности, из эффекта Вентури и закона Бернулли. В отличие от западных стран, где активно развивались фанкойлы с электродвигателями, в СССР делалась ставка на эжекционные системы из-за их высокой надежности, пожаробезопасности и отсутствия необходимости подвода электропитания к каждому прибору.

В то время как вентиляционные доводчики эволюционировали в сторону улучшения электроники и повышения эффективности двигателей (переход на ЕС-моторы), эжекционные доводчики развивались по пути совершенствования сопел и аэродинамики корпуса для максимизации коэффициента эжекции при минимальном давлении воздуха. Таким образом, фанкойлы стали продуктом развития электромеханики, а эжекционные доводчики – продуктом развития прикладной физики и аэродинамики [3].

Рассмотрим конструктивные и функциональные различия доводчиков.

Вентиляционные доводчики (ВД, фанкойлы) представляют собой устройства, ос-



# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДЧИКОВ: ЭЖЕКЦИОННЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ, В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ

нащенные собственным вентилятором, фильтром и теплообменником. Они обеспечивают рециркуляцию комнатного воздуха, его охлаждение или нагрев. Схема смешительной вентиляции, реализуемая при применении ВД показана на рисунке 1.

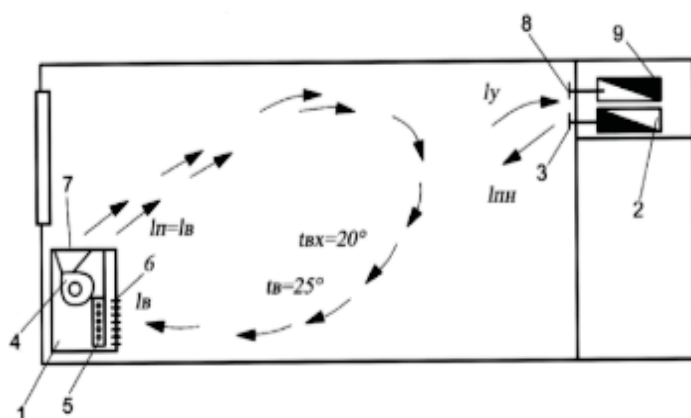
Поддержание в холодный период года в зоне обитания людей комфортной температуры  $t = 20^\circ\text{C}$  достигается подачей горячей воды в теплообменник 5. Со стороны оребрения трубы теплообменника 5 от работы вентилятора 4 через решетку 6 поступает внутренний воздух. Зимой этот воздух нагревается, а летом – охлаждается при подаче в теплообменник 5 холодной воды.

Напротив, эжекционные доводчики (ДЭ, активные холодные балки) используют энергию первичного воздуха, подаваемого от центральной приточной установки. За счет эффекта эжекции (подсоса) комнатный воздух проходит через встроенный теплообменник без использования локальных вентиляторов. Схема вытесняющей вентиляции показана на рисунке 2 и реализуется при применении ДЭ.

Рассмотрим обеспечение доводчиками комфорта и качества внутренней среды.

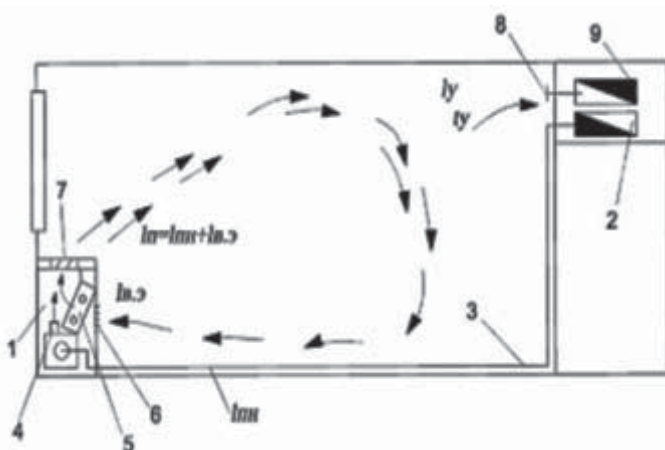
С точки зрения акустического комфорта эжекционные доводчики являются предпочтительными, так как отсутствие вращающихся частей минимизирует уровень шума. Кроме того, принцип работы балок позволяет избежать возникновения сквозняков, обеспечивая более равномерное распределение температур по объему помещения. Вентиляционные доводчики обеспечивают более высокую скорость выхода на заданные параметры температуры, что важно для помещений с периодическим пребыванием людей. С позиции санитарных норм, как отмечают многие исследователи, эжекционные доводчики имеют неоспоримое преимущество: отсутствие дренажной системы исключает риск размножения легионелл и других микроорганизмов.

Критики ЭД подчеркивают, что эжекционные системы чувствительны к разбалансировке по воздуху: изменение давления в одном ответвлении неизбежно сказывается на производительности всех доводчиков в данной ветке. Сравнительные параметры систем представлены в таблице 1.



1 – вентиляторный доводчик; 2 – приточный воздуховод за подшивным потолком; 3 – приточное поступление приготовленного в приточном агрегате; 4 – вентилятор с приводным электродвигателем; 5 – теплообменник; 6 – решетка для поступления рециркуляционного воздуха; 7 – приточная решетка с направляющими пластинами; 8 – отверстие забора под потолком; 9 – вытяжной воздуховод

Рисунок 1 – Местно-центральные системы кондиционирования воздуха в административных зданиях с вентиляторными доводчиками (ВД), которые широко применяются в России, начиная с 1990 г.



1 – доводчик эжекционный модели КНЭ-У [1]; 2 – приточный воздуховод за подшивным потолком коридора; 3 – воздуховод подачи; 4 – сопла; 5 – теплообменник, соединенный трубопроводами с центрами приготовления горячей холодной воды; 6 – решетка для поступления из обитаемой зоны помещения эжектируемого воздуха; 7 – приточная решетка с направляющими пластинами; 8 – отверстие для забора под потолком; 9 – вытяжной воздуховод

Рисунок 2 – Местно-центральные системы кондиционирования воздуха в административных зданиях, построенных с 1969 по 1990 гг. в СССР



Таблица 1 – Сравнительные параметры систем

| Характеристика           | Эжекционные доводчики (ЭД)          | Вентиляционные доводчики (ВД)         |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Источник побуждения      | Первичный воздух (центральный)      | Локальный вентилятор (ЕС/АС мотор)    |
| Уровень шума             | Низкий (20-30 дБА)                  | Средний/высокий (30-45 дБА)           |
| Техническое обслуживание | Минимальное (чистка теплообменника) | Высокое (фильтры, двигатели, дренаж)  |
| Контроль влажности       | Требует осушения первичного воздуха | Возможно за счет выпадения конденсата |
| Стоимость инсталляции    | Высокая (требует точной настройки)  | Средняя (стандартное решение)         |

Рассмотрим эксплуатационные расходы при использовании эжекционных и вентиляционных доводчиков. Эжекционные доводчики демонстрируют значительное преимущество в долгосрочной перспективе. Отсутствие вентилятора и двигателя в каждом устройстве снижает потребление электроэнергии в зоне обслуживания до нуля. Основное энергопотребление переносится на центральный кондиционер, где использование мощных и эффективных вентиляторов выгоднее, чем эксплуатация сотен мелких двигателей. Экономия на техническом обслуживании достигает 50-70%, т.к. в ЭД нет движущихся частей, подшипников и фильтров, требующих регулярной замены или чистки.

Проведем сравнение доводчиков по сроку службы и амортизации. Расчетный срок службы эжекционных систем составляет 20-25 лет, в то время как вентиляторные доводчики требуют капитального ремонта или замены двигателей уже через 7-10 лет эксплуатации. Это делает ЭД более привлекательными для объектов с длительным циклом владения, таких как государственные учреждения, больницы и офисные здания класса «А». Оба типа доводчиков интегрируются в современные системы управления. Оба типа устройств легко интегрируются в протоколы BACnet или Modbus. Однако системы с эжекционными доводчиками требуют более сложной автоматики на уровне центрального кондиционера для контроля точки росы, чтобы предотвратить выпадение конденсата на охлаждающих поверхностях балок внутри помещений.

Исходя из вышеизложенного, выбор между требованиями к классу здания. Для офисов класса эжекционными и вентиляционными доводчиками зависит от функционального назначения «А» с высокими требованиями к акустике и гигиене (больницы, библиотеки, высокотехнологичные офисы), эжекционные системы являются более предпочтительными ввиду их долговечности, бесшумности и низкого энергопотребления.

Вентиляционные доводчики остаются оптимальным решением для объектов с высокими удельными тепловыделениями или там, где требуется максимальная автономность каждой зоны [4].

В целом перспективы развития технологий вентиляторов обрисовывают уверенный путь к созданию более эффективных, устойчивых и экономически выгодных систем вентиляции с рекуперацией. Соответствующие инновации не только способствуют значительному снижению энергозатрат, но и улучшают качественные характеристики, комфорт и безопасность жилых и коммерческих объектов [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов, В. В. Инженерное оборудование современных зданий / В. В. Степанов. – М. : Стройиздат, 2021. – 135 с.
2. Кокорин, О. Я. «Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования / О. Я. Кокорин. – М. : Изд-во АСВ, 2013. – 256 с.
3. Наумов, А. Л. Энергоэффективные системы вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Л. Наумов. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2019. – 246 с.
4. Польковский, М. А. Виды рекуператоров для систем вентиляции / М. А. Польковский, И. А. Бахтина, Н. В. Гейко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : матер. XIV Всерос. науч.-практ. конф. – Рубцовск, 2024. – С. 198-203.
5. Маняк, С. Н. Исследование применения современных решений повышения эффективности систем вентиляции / С. Н. Маняк, И. А. Бахтина, Н. В. Гейко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : сборник. – Рубцовск, 2025. – С. 334-337.

**Маняк Сергей Николаевич** – студент группы 8Спс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: z303z@yandex.ru;

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: bia-altai@mail.ru.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

К. С. Маркелова, Я. Г. Мозговая

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В рамках данной статьи рассмотрены возможности применения автоматизации данных информационной модели здания для повышения эффективности и точности сметных расчетов.*

**Ключевые слова:** информационное моделирование зданий, машинное обучение, искусственный интеллект, BIM-модель, ценообразование в строительстве, автоматизация сметной стоимости, экономические данные, информационные технологии в строительстве.

### Введение

Современное строительство характеризуется активным внедрением цифровых технологий, направленных на повышение эффективности управления проектами, оптимизацию затрат, сокращение сроков реализации и обеспечение прозрачности всех этапов жизненного цикла здания – от предпроектной стадии до эксплуатации.

В условиях усложнения архитектурных и инженерных решений, роста требований к энергоэффективности и устойчивому развитию традиционные методы проектирования и управления строительством становятся недостаточно эффективными.

Одним из ключевых направлений цифровизации отрасли является технология информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM), которая позволяет объединить в единой цифровой среде геометрические, технологические, конструктивные, организационные и экономические данные об объекте строительства.

BIM обеспечивает целостное представление проекта и формирует основу для междисциплинарного взаимодействия всех участников инвестиционно-строительного процесса – архитекторов, инженеров, сметчиков, подрядчиков и заказчиков [3]. BIM-модель служит не только инструментом проектирования, но и важнейшим источником данных для календарного планирования, оценки рисков, управления ресурсами и контроля затрат.

Несмотря на это, процесс формирования сметной стоимости на основе данных информационной модели во многих случаях всё ещё требует значительных трудозатрат и участия специалистов-сметчиков. Ручное со-

поставление параметров модели с элементами нормативно-сметной базы, классификаторами ресурсов и расценками нередко приводит к ошибкам, задержкам в подготовке документации и расхождениям между проектной и фактической стоимостью строительства [1].

В этих условиях особенно актуальным становится применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации анализа данных BIM и расчёта сметной стоимости. Использование ИИ позволяет обрабатывать большие объёмы разнородных данных, выявлять скрытые зависимости между параметрами модели и фактическими затратами, а также учитывать опыт реализованных проектов. Это даёт возможность не только ускорить процесс формирования смет, но и повысить точность и обоснованность стоимостных решений на различных стадиях проектирования и строительства [2].

### Цель и задачи работы

Целью данной работы является исследование возможностей применения искусственного интеллекта для автоматизации оценки сметной стоимости строительства на основе параметров информационного моделирования зданий.

Для достижения поставленной цели в работе предполагается решение следующих задач:

- Проанализировать существующие подходы и инструменты интеграции BIM и сметных расчётов, используемые в практике строительного проектирования.
- Определить роль и место искусственного интеллекта в автоматизации строительных и сметно-экономических процессов.
- Предложить концептуальную модель

использования ИИ для оценки сметной стоимости на основе данных BIM-модели.

- Выявить преимущества, потенциальные эффекты и ограничения данного подхода с точки зрения практического применения и нормативного регулирования.

#### **Материалы и методы**

Технология BIM формирует цифровой аналог будущего здания, содержащий точные и структурированные данные об объёмах работ, спецификациях строительных материалов, инженерных системах, конструктивных элементах и пространственных характеристиках объекта. Эти данные могут служить основой для расчёта сметной стоимости, однако их большой объём, сложность структуры и многообразие параметров делают ручную обработку неэффективной и подверженной субъективным ошибкам.

Для решения данной задачи всё чаще применяются методы машинного обучения – одного из ключевых направлений искусственного интеллекта. Методы машинного обучения позволяют обучать интеллектуальные системы на основе исторических данных, включающих параметры реализованных BIM-проектов и соответствующие им фактические или сметные показатели стоимости.

В качестве входных данных могут использоваться такие параметры, как:

- общая и полезная площадь здания; объём и тип несущих конструкций;
- количество этажей и уровень сложности архитектурных решений;
- применяемые строительные и отделочные материалы;
- типы инженерных систем (отопление, вентиляция, электроснабжение и др.);
- уровень отделки и класс объекта (жилой, общественный, промышленный).

На основе анализа этих данных алгоритм формирует математическую модель, способную прогнозировать сметную стоимость для новых проектов с аналогичными характеристиками.

Например, при изменении этажности или типа фасадных систем система может автоматически пересчитать ориентировочную стоимость и отразить влияние этих изменений на общий бюджет проекта [2].

В рамках исследования использовались методы анализа BIM-данных, методы машинного обучения (регрессионный анализ, деревья решений, нейронные сети), а также сравнительный анализ традиционных и автоматизированных подходов к сметным расчётам. Нормативно-методической базой послужили действующие документы в области ценооб-

разования в строительстве, применяемые в практике сметного нормирования и планирования.

Следует отметить, что эффективность применения искусственного интеллекта напрямую зависит от степени структурированности данных BIM-модели.

Использование единых классификаторов элементов (например, по типу конструкций, стадиям работ и ресурсам) существенно повышает качество обучения интеллектуальных алгоритмов. При этом особую роль играет стандартизация данных, обеспечивающая сопоставимость информации из различных проектов и программных комплексов.

На практике всё чаще используются гибридные подходы, сочетающие нормативный метод сметных расчётов и прогнозные модели машинного обучения. В таких системах ИИ не заменяет полностью традиционные методы, а выступает в роли интеллектуального помощника, предлагая предварительные расчёты, выявляя отклонения и формируя рекомендации для специалиста-сметчика. Это особенно актуально при реализации крупных и сложных объектов, где количество элементов BIM-модели может исчисляться десятками тысяч.

#### **Результаты**

Применение искусственного интеллекта в сметном деле открывает широкие перспективы для автоматизации и интеллектуализации процесса оценки стоимости строительства. Интеллектуальные системы способны автоматически извлекать количественные показатели из BIM-модели, сопоставлять их с базами данных нормативов, расценок и рыночных цен, а также учитывать региональные и временные коэффициенты. Кроме того, такие системы могут динамически корректировать расчёты при изменении параметров модели – например, при замене материалов, изменении конструктивной схемы или инженерных решений. Это обеспечивает не только значительное ускорение процесса формирования смет, но и повышение точности расчётов, поскольку влияние человеческого фактора и вероятность арифметических ошибок минимизируются [1].

Концепция автоматизации сметных расчётов на основе BIM и ИИ включает несколько ключевых этапов [3]:

- *Извлечение параметров из BIM-модели* – использование данных о геометрии, объёмах, материалах и конструктивных решениях.

- *Формирование обучающего набора данных* – сопоставление исторических дан-

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

ных о реализованных проектах с их сметными и фактическими стоимостными показателями.

- *Обучение интеллектуальной модели* – применение алгоритмов регрессии, деревьев решений или нейронных сетей для выявления взаимосвязей между параметрами проекта и итоговой стоимостью.

- *Автоматизированный расчёт* – анализ параметров BIM-модели нового проекта и формирование прогнозной сметной стоимости.

Результатом такого подхода является возможность получения оперативной и актуальной оценки стоимости строительства уже на ранних стадиях проектирования, когда принимаются ключевые архитектурно-планировочные и инженерные решения.

Любые изменения в BIM-модели автоматически приводят к пересчёту сметных данных, что обеспечивает тесную и динамичную связь между проектными решениями и их экономическими последствиями.

Практическое применение искусственного интеллекта на основе BIM-данных возможно на различных стадиях жизненного цикла строительного объекта. Так, на стадии проектных проработок ИИ может использовать укрупнённые параметры модели (площадь, этажность, функциональное назначение) для формирования ориентировочной стоимости и сравнения нескольких проектных вариантов. Это позволяет заказчику принимать обоснованные инвестиционные решения ещё до начала детального проектирования.

На стадии рабочей документации интеллектуальные системы могут автоматически формировать детализированные сметные расчёты, привязанные к конкретным элементам BIM-модели. Например, при изменении толщины перекрытий или замене типа отделочных материалов система мгновенно пересчитывает объёмы и стоимость соответствующих работ, что значительно сокращает время корректировки смет.

Кроме того, ИИ может использоваться для анализа фактических затрат на этапе строительства. Сопоставление плановых сметных данных с фактическими показателями позволяет выявлять причины перерасхода средств, прогнозировать отклонения бюджета и формировать рекомендации по оптимизации затрат в режиме реального времени.

### Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что применение искусственного интеллекта в сочетании с технологией информационного моделирования позволяет существенно по-

высить эффективность процесса формирования сметной стоимости.

Интеграция BIM и ИИ способствует переходу от трудоёмких, фрагментированных и во многом субъективных ручных операций к автоматизированному и интеллектуальным методам обработки данных.

В то же время данный подход имеет ряд ограничений. К ним относятся требования к высокому качеству и полноте исходных BIM-данных, необходимость накопления значительного объёма обучающих выборок, а также соответствие результатов расчётов требованиям действующей нормативно-сметной базы.

Кроме того, внедрение подобных систем требует организационных изменений, подготовки специалистов и адаптации существующих бизнес-процессов, что также должно учитываться при практической реализации.

### Выводы

В заключение можно сделать вывод, что применение искусственного интеллекта в области информационного моделирования зданий открывает новые возможности для цифровизации строительной отрасли.

Автоматизация сметных расчётов на основе параметров BIM-модели позволяет существенно повысить точность и скорость формирования сметной документации, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить прозрачность процессов ценообразования [1].

Интеграция BIM и ИИ способствует переходу к концепции «умного строительства», в рамках которой проектирование, планирование, оценка стоимости и управление объектом осуществляются в единой цифровой среде.

В перспективе развитие подобных систем может привести к созданию интеллектуальных цифровых двойников зданий и сооружений, способных не только оценивать, но и прогнозировать финансовые, эксплуатационные и инвестиционные показатели объекта в режиме реального времени.

Таким образом, применение искусственного интеллекта для автоматизации оценки сметной стоимости на основе параметров информационного моделирования зданий является важным и перспективным шагом на пути к комплексной цифровой трансформации строительной отрасли.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, Д. В. Интеграция искусственного интеллекта и BIM для автоматизации сметных рас-



четов / Д. В. Шевченко, И. В. Воронин // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 112–120.

2. Ковалев, А. С. Цифровизация сметного дела на основе технологий искусственного интеллекта / А. С. Ковалев, Д. В. Титов // Экономика строительства и городского хозяйства. – 2022. – № 5. – С. 33–40.

3. Плотников, А. Н. Информационное моделирование зданий и сооружений: методология и практика применения / А. Н. Плотников, С. Н. Лебедев. – М. : Изд-во АСВ, 2020. – 280 с.

**Маркелова Кристина Сергеевна** – студентка группы 8Соим-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: holykriss@yandex.ru;

**Мозговая Яна Григорьевна** – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: yanagt@mail.ru.

УДК 625.84

## ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА С-3 НА ПОРОВУЮ СТРУКТУРУ ДОРОЖНОГО БЕТОНА

**Н. В. Медведев, Г. И. Овчаренко, И. С. Гончаров, А. Н. Юраков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Исследовано влияние меламино-формальдегидного суперпластификатора (Frem C-3, Полипласт СП-1) на воздуховлечение и поровую структуру дорожного бетона. Экспериментально установлено, что такой суперпластификатор подавляет воздуховлечение (снижение в 2-4 раза) и не формирует резервной пористости (доля условно-замкнутых пор 0,6-1,2%). Воздуховлекающая добавка Полипласт ВВ в присутствии такого С-3 обеспечивает рост резервной пористости только до 3,5-4%, что не достаточно для обеспечения требуемой морозостойкости дорожных бетонов. Исследование методом ИК-спектроскопии добавок показало, что Frem C-3 содержит примеси (полоса  $756\text{ см}^{-1}$ ), действующие как пеногасители, и переводит воздуховлекающую добавку в неактивную форму. Результаты свидетельствуют о необходимости учёта химической природы суперпластификатора при проектировании составов морозостойких дорожных бетонов.*

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, дорожный бетон, пластифицированные бетоны, воздуховлечение, ИК-спектроскопия, суперпластификатор С-3

### Введение

Долговечность цементобетонных покрытий автомобильных дорог является одной из ключевых проблем современного дорожного строительства. В значительной степени эксплуатационная надежность и морозостойкость дорожного бетона определяются характером его капиллярно-пористой структуры [1].

Формирование оптимальной поровой структуры, обеспечивающей высокие физико-механические характеристики материала, достигается путем применения различных модифицирующих добавок, среди которых особое место занимают суперпластификаторы.

Суперпластификатор С-3 – один из наиболее распространенных отечественных пластификаторов на основе продуктов конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида [2]. Его применение позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 15–25%, что способствует повышению плотности,

прочности и однородности бетона, улучшению его структуры. При введении С-3 в количестве 0,4-1,0% от массы цемента обеспечивается не только увеличение подвижности смеси, но и формирование более плотной матрицы цементного камня с оптимизированными параметрами пористости [3].

Вопросы влияния суперпластификатора С-3 на фазовую структуру цементного камня и процессы гидратации рассматривались в ряде исследований. Установлено, что модификация цементных систем комплексными добавками с участием С-3 способствует активации процессов гидратации и увеличению содержания кристаллической фазы в виде новообразований [4].

Однако, несмотря на имеющиеся данные о влиянии С-3 на свойства бетонных смесей и прочностные характеристики затвердевшего бетона, вопросы трансформации поровой структуры дорожного бетона при введении данного суперпластификатора остаются не-

достаточно изученными. Особую актуальность эта проблема приобретает для дорожных бетонов, к которым предъявляются повышенные требования по морозостойкости, водонепроницаемости и коррозионной стойкости [1]. Формирование морозостойкой структуры бетона связано с созданием определенного объема условно-замкнутых (резервных) пор, которые компенсируют напряжения при замерзании воды. При этом важно не только количество вовлеченного воздуха, но и характер распределения пор по размерам, их однородность и замкнутость.

Целью настоящей работы является исследование влияния суперпластификатора С-3 на параметры поровой структуры дорожного бетона, включая суммарный объем пор, соотношение открытых и условно-замкнутых пор.

### Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились как на бетонной смеси (по ГОСТ 59301-2021), так и на бетонных образцах, выдержанных в нормальных условиях 28 суток (по ГОСТ 12730.4-2020).

Для изготовления образцов и приготовления бетонной смеси использовался портландцемент для транспортного строительства ЦЕМ I 42,5Н, с тонкостью помола 2,2%, насыпной плотностью 1300 кг/м<sup>3</sup> и истинной 3,1 г/см<sup>3</sup> по ГОСТ Р 55224-2020.

В качестве минерального заполнителя были использованы:

- песок из отсевов дробления с модулем крупности 2,07 и насыпной плотностью 1380 кг/м<sup>3</sup>;
- щебень фракции 5-10 мм насыпной плотностью 1330 кг/м<sup>3</sup>.

Соотношение компонентов в составе бетона на 1 м<sup>3</sup> было следующим:

- цемент – 500 кг/м<sup>3</sup>;
- щебень – 920 кг/м<sup>3</sup>;
- песок – 920 кг/м<sup>3</sup>.

Так как основная цель исследования заключалась в определении влияния суперпластификатора С-3, то для проведения экспериментальных исследований были использованы:

- суперпластификатор Frem С-3 белорусского производства;
- суперпластификатор С-3Р2 производства ООО «Гермес» (Россия).

Дополнительно, для оценки влияния на воздухововлечение использовалась воздухововлекающая добавка Полипласт ВВ, производства ООО «Полипласт», которая применяется на АО «НЗМК».

Определение поровой структуры бетона

проводилось с использованием стандартного оборудования по ГОСТ 12730.4. Объем вовлеченного воздуха в бетонную смесь измерялся при помощи поромера Teasting 2.0334, который позволяет в полуавтоматическом режиме получить оцениваемые данные.

Дополнительно проводилась оценка ИК-спектров двух добавок для выявления причин получившихся эффектов. Съемка инфракрасных спектров проводилась на ИК-спектрометре ФСН-22-02 в интервале 4000-700 см<sup>-1</sup>. Спектры сняты с таблеток KBr (15-20 мг вещества, общая масса таблеток 300 мг.).

В ходе исследования ИК-спектров каждой из представленных в работе добавок было установлено следующее:

- ИК-спектр Frem С-3 соответствует сульфированному меламино-формальдегидному суперпластификатору, что является классическим представителем пластификаторов типа С-3. Задача данного пластификатора состоит в мощном диспергирующем действии цементных частиц за счет электростатического отталкивания, создаваемого сульфонатными группами;

- ИК-спектр С-3Р2 соответствует сульфированному нафталин-формальдегидному поликонденсату – основному компоненту суперпластификатора С-3. Его работа происходит по тому же принципу, что и у вышеописанного пластификатора;

- ИК-спектр Полипласт ВВ соответствует воздухововлекающей добавке на основе солей карбоновых кислот с длинными алифатическими цепями. Ее можно отнести к классическому типу ПАВ для целенаправленного создания системы микроскопических пузырьков воздуха в бетоне.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Исследования поровой структуры бетона проводилось в два этапа. На первом этапе проводилось исследование воздухововлечения в бетонную смесь, как составов с одной добавкой, так и при их сочетании (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, при введении пластификатора в контрольный состав происходит снижение воздухововлечения в 4 раза по сравнению с контрольным составом. Подобный результат наблюдается и с введением воздухововлекающей добавки, где происходит снижение показателя воздухововлечения в 2-3,5 раза.

Полученный результат может говорить о том, что суперпластификатор Frem С-3 катстрофически снижает воздухововлечение в бетонную смесь, что приводит к низкой моро-

Таблица 1 – Результаты определения воздухововлечения

| Пластификаторы                         | Полипласт ВВ, % от цемента |      |      | Без добавки |
|----------------------------------------|----------------------------|------|------|-------------|
|                                        | 0,6                        | 0,64 | 0,68 |             |
| Контрольный состав без пластификаторов | 3,8                        | 5,3  | 7,6  | 2,0         |
| Суперпластификатор Frem C3 - 1%        | 1,5                        | 2,6  | 3,8  | 0,5         |
| Суперпластификатор Frem C3 – 1,5%      | 1,0                        | 1,9  | 3,1  | 0,5         |
| Суперпластификатор Frem C3 – 2%        | 0,8                        | 1,6  | 2,9  | 0,5         |

Таблица 2 – Параметры пористости модифицированных бетонов

| Состав                              | Объем открытых капиллярных пор бетона (образца) $P_o$ , см <sup>3</sup> /л | Объем условно-закрытых капиллярных пор бетона $P_z$ , см <sup>3</sup> /л | Полный объем пор бетона (образца) $P_n$ , см <sup>3</sup> /л | Доля резервной пористости, % |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Контрольный состав                  | 119,41                                                                     | 3,01                                                                     | 122,42                                                       | 2,0                          |
| Суперпластификатор C3 -- 1%         | 97,35                                                                      | 0,55                                                                     | 97,90                                                        | 0,6                          |
| Суперпластификатор C3 – 1,5%        | 68,61                                                                      | 0,83                                                                     | 69,44                                                        | 1,2                          |
| Воздуховлекающая добавка ВВ – 0,6%  | 79,83                                                                      | 9,18                                                                     | 89,01                                                        | 10,31                        |
| Воздуховлекающая добавка ВВ – 0,64% | 81,14                                                                      | 9,73                                                                     | 90,87                                                        | 10,71                        |
| C3 – 1% + ВВ – 0,64%                | 58,70                                                                      | 5,63                                                                     | 64,33                                                        | 8,75                         |

Таблица 3 – Результаты определения воздухововлечения с пластификатором С-ЗР2

| Контрольный состав | Состав с С-3 – 1% | Состав с С-ЗР2 – 2% Полипласт ВВ – 0,64% |
|--------------------|-------------------|------------------------------------------|
| 2,5%               | 3,7%              | 18,2%                                    |

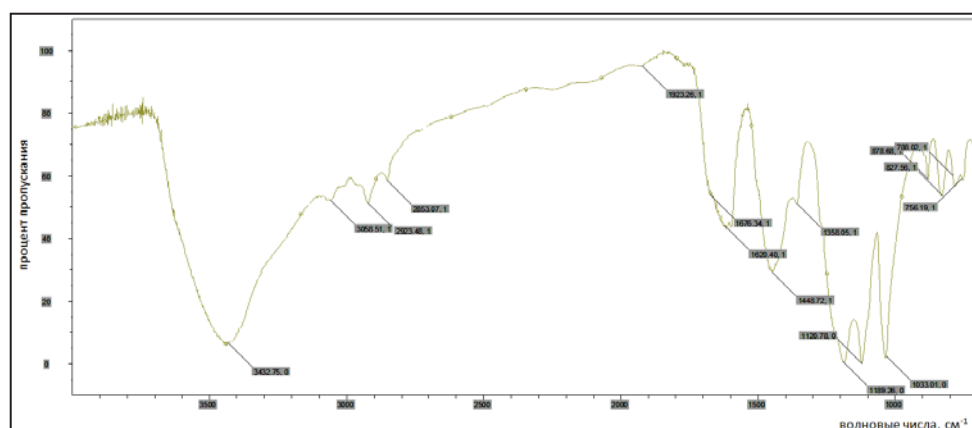


Рисунок 1 – ИК-спектр Frem C-3 и Полипласт ВВ

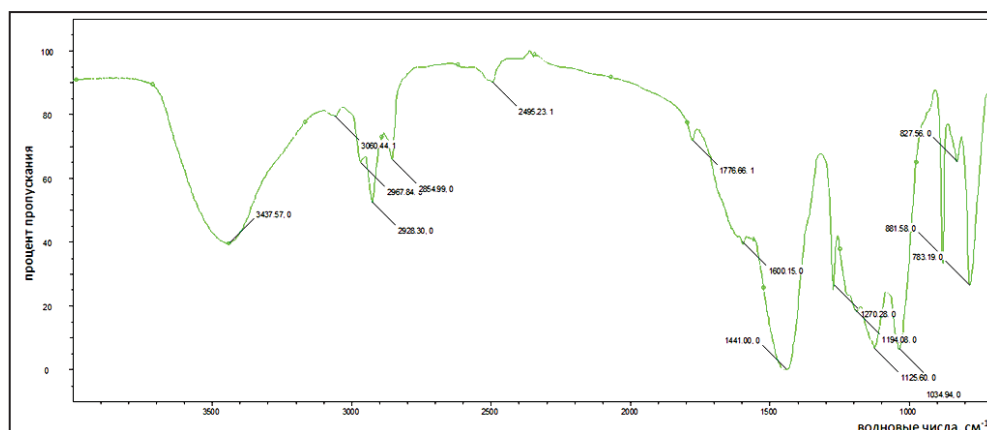


Рисунок 2 – ИК-спектр С-ЗР2 и Полипласт ВВ

зостойкости в проведенных ранее исследованиях и как следствие недолговечности бетонных конструкций, которые изготавливаются с применением данного пластификатора. Такой эффект привел к дальнейшим исследованиям показателей поровой структуры бетона по ГОСТ 12730.4-2020 с бетонными образцами.

Полученные результаты представлены в таблице 2. Из таблицы видна та же закономерность, что и при измерении воздуховлечения, кроме того можно обратить внимание, что Frem С-3 не способствует формированию резервной пористости и при увеличении концентрации в составе снижает объем условно закрытых пор  $P_z$  в 3,6-5,5 раза. Введение воздуховлекающей добавки наоборот увеличивает данный показатель относительно контрольного состава даже совместно с пластификатором, т.е. полученные результаты коррелируют с ранее проведенным исследованием бетонной смеси.

Так как Frem С-3 относится к меламиноформальдегидному пластификатору, то для сравнения полученного эффекта был выбран суперпластификатор С-3Р2, который относится к нафталин-формальдегидному поликонденсату и, теоретически, должен работать по-другому.

В первую очередь было проведено исследование влияния на параметр воздуховлечения, результаты которого представлены в таблице 3.

В настоящее время эксперименты с данным пластификатором только начинаются, что объясняет малое количество экспериментальных данных, но наблюдается резкое различие в действии двух пластификаторов.

Полученные результаты определения воздуховлечения говорят о том, что С-3Р2 сам создает дополнительное воздуховлечение и при совместной работе с Полипласт ВВ мы видим значительное увеличение параметра в 7,2 раза относительно контрольного состава.

Изучение физических параметров бетонов с пластифицирующими добавками позволяют оценить только результат воздействия различного рода С-3 на поровую структуру, но не дают ответ, с чем это может быть связано. В связи с этим были сняты ИК-спектры комбинации добавок в водной среде и непосредственно с цементом.

В итоге было получено, что Frem С-3 при взаимодействии с Полипласт ВВ проявляет себя более активно, адсорбируясь на поверхности пузырьков воздуха и схлопывая их из-за своей более жесткой структуры. Анализ

спектра с С-3Р2 показал обратную реакцию между компонентами, что может объяснять полученное воздуховлечение, представленное в таблице 3. ИК-спектры двух композиций представлены на рисунках 1 и 2.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о двух суперпластификаторах С-3:

- в составе с С-3Р2 использован С-3 без полосы  $756\text{ см}^{-1}$ , то есть без низкомолекулярных ароматических примесей, которые в образце с Frem С-3 действовали как самостоятельные пеногасители. Нафталинформальдегидный С-3, хотя и является ПАВ, не разрушает пузырьки воздуха, а лишь конкурирует за поверхность раздела, но не подавляет воздуховлечение полностью;

- в бетонной системе всегда есть конкуренция между разными ПАВ за поверхности раздела. В образце с С-3Р2 эта конкуренция не привела к подавлению воздуховлечения, потому что С-3 преимущественно адсорбируется на цементе (его основная задача), оставляя границу «вода-воздух» для воздуховлекающей добавки;

- в составе с Frem С-3 доминирует полоса  $1676\text{ см}^{-1}$  (неактивная форма воздуховлекающей добавки) и присутствует примесь  $756\text{ см}^{-1}$  (пеногаситель в С-3), тогда как в составе С-3Р2 – полоса  $1441\text{ см}^{-1}$  (активная форма воздуховлекающей добавки) и отсутствие пеногасящей примеси в С-3.

Дальнейшие исследования морозостойкости позволят дать ответ на вопрос: влияет ли природа С-3 (нафталин или меламин – формальдегидный) на конечную морозостойкость тяжелых дорожных бетонов и целесообразности их использования в дорожном строительстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по контролю качества поровой структуры дорожного бетона / Министерство транспортного строительства, Союздорнии. – М., 1978. – 24 с.
2. Суперпластификатор С-3. Технические условия ТУ 5745-001-21095447-2015 / ООО «ТД Суперпласт». – М., 2015.
3. Добавка «Суперпластификатор С-3» для бетона / ЗАО «Владимирский ЖБК» // Справочник строителя. – Владимир, 2018. – С. 23-35.
4. Vdovin, E. A. Phase structure of cement pastes with antifreeze agents / E. A. Vdovin, V. F. Stroganov // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – № 120(4). – Article No. 12007.

**Медведев Никита Владимирович** – старший преподаватель кафедры «Строи-



тельные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Овчаренко Геннадий Иванович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [egogo@mail.ru](mailto:egogo@mail.ru);

**Гончаров Иван Сергеевич** – студент группы С-34 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [ivan-gon4arov@mail.ru](mailto:ivan-gon4arov@mail.ru);

**Юраков Александр Николаевич** – студент группы С-34 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [yurakov.9@mail.ru](mailto:yurakov.9@mail.ru).

УДК 625.7

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Г. С. Меренцова, В. В. Адышев**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В данной статье рассмотрена классификации трещин в асфальтобетонных покрытиях и комплексной стратегии борьбы с ними. Описываются четыре основных типа трещин по причинам образования: температурные (от низких температур с регулярными интервалами), отражённые (повторяющие дефекты основания), силовые или усталостные (от превышения нагрузок) и технологические (из-за нарушений при укладке). Решение проблемы требует точной диагностики механизма разрушения и системного подхода на всех этапах: от модификации состава асфальтобетона и улучшения технологии работ до качественной подготовки основания. Интеграция этих мер позволяет существенно повысить трещиностойкость покрытий, продлить срок их службы и снизить затраты на содержание дорог.*

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, виды трещин, повышение трещиностойкости, трещиностойкость.

Трещины классифицируют по причинам образования на температурные, отраженные, силовые и технологические.

Температурные трещины возникают из-за недостаточной деформативности и прочности асфальтобетона при низких температурах. Характерны регулярными интервалами (от 25 до 6 м), изменением ширины раскрытия в зависимости от температуры и постепенным разрушением изначально ровных кромок. Отраженные трещины повторяют рисунок дефектов жёсткого основания (швов, трещин). Имеют извилистый профиль, значительную ширину раскрытия и быстро разрушающиеся кромки из-за перемещений плит основания. Силовые (усталостные) трещины образуются от превышения нагрузкой несущей способности конструкции. Развиваются снизу вверх, образуя сетку или одиночные извилистые разрывы с закруглёнными кромками, часто сопровождаются вибрацией покрытия. Технологические трещины (пучения

грунта) – следствие нарушений при укладке (стыки полос, переуплотнение). Характеризуются малой глубиной и шириной, развиваются от поверхности, приводя к выбоинам (рисунок 1).

Каждая группа трещин обладает уникальными признаками, прямо указывающими на её происхождение. Температурные трещины легко идентифицируются по своей прямолинейности, правильным интервалам и «живому» поведению – их ширина напрямую зависит от температуры окружающего воздуха. Отражённые трещины выделяются своим хаотичным, извилистым рисунком, точно копирующим швы или разломы в бетонном основании под асфальтом. Силовые, или усталостные, трещины развиваются «снизу вверх», формируя характерную сетку или «крокодиловую кожу» в зонах максимальной нагрузки, что свидетельствует об исчерпании несущей способности дорожной конструкции.

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

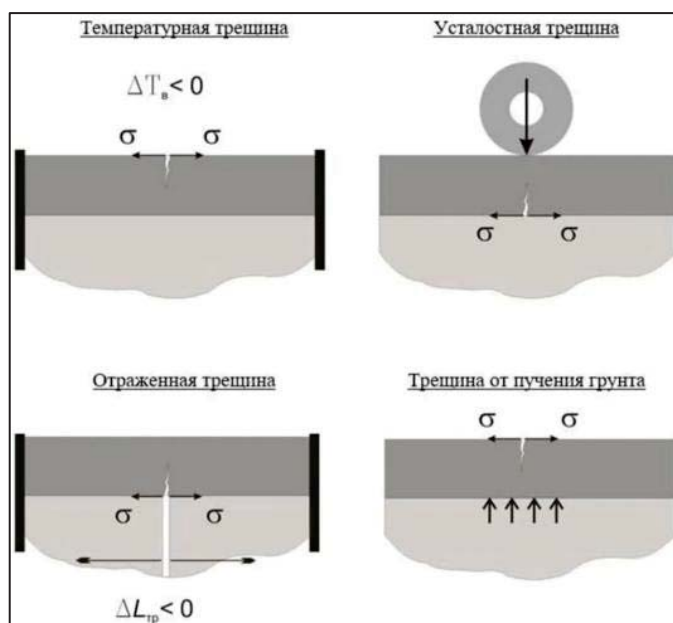


Рисунок 1 – Виды трещин

Технологические трещины, часто являющиеся следствием ошибок при строительстве, обычно неглубоки, расположены локально – например, вдоль стыка между укладочными полосами – и быстро прогрессируют до выбоин.

Таким образом, визуальный анализ типа, геометрии и локализации трещин позволяет точно диагностировать первопричину разрушения покрытия, что является критически важным этапом для выбора правильной стратегии ремонта и предотвращения дальнейшей деградации [1].

Повышение трещиностойкости требует комплексного подхода на всех этапах строительства.

1. Модификация состава асфальтобетона:

- Применение полимерномодифицированных битумов для повышения эластичности.
- Использование армирующих добавок (волокна) и адгезионных присадок.
- Оптимизация гранулометрии минеральной части для создания прочного каркаса.

2. Совершенствование технологии работ:

- Соблюдение температурно-временного режима укладки и уплотнения.
- Качественное выполнение рабочих швов.
- Обеспечение адгезии между слоями с помощью битумных эмульсий.

3. Подготовка основания:

- Уплотнение грунтов земляного полотна.

- Устройство дренажа и применение геосинтетиков.

- Стабилизация пучинистых грунтов.

Эффективность мероприятий подтверждается длительным отсутствием технологических трещин, замедленным развитием усталостных и отражённых дефектов. Нарушения технологии ведут к ускоренному разрушению покрытия.

Таким образом, проблема трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях носит системный характер и требует для своего решения столь же системного, дифференцированного подхода.

Успешная стратегия повышения долговечности дорожных одежд должна быть основана на двух взаимосвязанных принципах:

1. Точная диагностика механизма разрушения. Эффективная борьба с трещинами возможна только при правильной идентификации их первопричины. Принципиально разные подходы требуются для нейтрализации температурных напряжений, предотвращения отражения дефектов основания, повышения усталостной прочности и устранения технологических ошибок.

2. Комплексное применение технологических мероприятий на всех этапах жизненного цикла покрытия. Устойчивость к трещинообразованию закладывается последовательно: от создания качественного и стабильного основания и земляного полотна через проектирование оптимального состава

асфальтобетона с применением модифицированных вяжущих и добавок и вплоть до безукоснительного соблюдения регламентов укладки и уплотнения, обеспечивающих монолитность конструкции.

Только интеграция глубокого понимания механизмов деформации с последовательным внедрением всего спектра передовых материалов и технологий позволяет существенно повысить трещиностойкость асфальтобетонных покрытий, что напрямую ведет к удлинению межремонтных сроков их службы и значительной экономии средств на содержании автомобильных дорог. Пренебрежение любым из этих элементов неминуемо ведет к ускоренной деградации покрытия и росту затрат на его восстановление.

Всестороннее изучение деформационных процессов в асфальтобетоне выявляет, что классификация трещин по четырём основным типам – температурные, отражённые, силовые и технологические – является лишь первым, пусть и фундаментальным, шагом в понимании их природы. Каждая из этих категорий представляет собой целый спектр дефектов, развитие которых обусловлено сложным взаимодействием физико-химических, механических и климатических факторов.

Глубинный анализ показывает, что температурные трещины, например, могут быть не только следствием хрупкости материала на морозе, но и результатом циклических термических напряжений, возникающих при суточных и сезонных перепадах, которые приводят к усталости материала даже без приложения внешней нагрузки. Отражённые трещины, помимо простого копирования швов, могут активизироваться и прогрессировать под влиянием динамических нагрузок и изменения влажностного режима основания, превращаясь в очаги комплексного разрушения. Силовые трещины, традиционно связываемые с превышением расчётных нагрузок, часто являются индикатором более глубоких проблем: неверной оценки фактического модуля упругости слоёв, кумулятивного усталостного повреждения от многократного воздействия или релаксации связующего в битуме.

Технологические дефекты, в свою очередь, могут иметь латентный характер, проявившись лишь через несколько лет эксплуатации под совокупным воздействием среды и транспорта, что затрудняет установление истинной причинно-следственной связи и возложение ответственности.

Таким образом, за видимой простотой классификации скрывается многомерная и

динамичная система взаимосвязей, требующая для своего анализа привлечения данных долгосрочного мониторинга, реологических моделей поведения материалов и статистики нагрузок.

Концепция комплексного подхода к повышению трещиностойкости, основанная на модификации состава, совершенствовании технологии и подготовке основания, должна быть расширена до целостной философии жизненного цикла дорожной одежды. Этот подход начинается не на строительной площадке, а на стадии проектирования, где должны применяться продвинутое методы расчёта, учитывающие вероятностный характер нагрузок и изменчивость свойств материалов. При этом проектирование оптимального состава асфальтобетона сегодня вышло далеко за рамки эмпирического подбора гранулометрии. Это сложная инженерная задача, решаемая с помощью рецептур на основе принципов перколяции каменного скелета, оптимизации толщины битумных плёнок с учётом адсорбции на поверхности минералов и целенаправленного введения многофункциональных добавок – от пластификаторов и стабилизаторов до наномодификаторов, меняющих структуру материала на микроуровне.

Совершенствование технологии – это уже не просто соблюдение температурного режима, а прецизионный контроль каждого параметра: от скорости и траектории движения укладочного асфальтоукладчика, обеспечивающего равномерность распределения смеси и минимизацию сегрегации, до интеллектуальных систем катков с датчиками, в реальном времени оценивающими достигнутую плотность и температуру уплотняемого слоя.

Подготовка основания трансформируется в создание многофункциональной платформы, где геосинтетики выполняют роль не только разделяющих и армирующих прослоек, но и становятся элементами системы мониторинга, если речь идёт о smart-материалах с оптическими волокнами. Кроме того, нельзя забывать о человеческом факторе: внедрение этих технологий невозможно без коренной перестройки системы обучения кадров, где на смену ремесленным навыкам приходит компетенция в области материаловедения, механики и анализа данных.

**Развитие и внедрение интегрированной системы предиктивного управления состоянием покрытий на основе постоянного мониторинга и цифровых двойников**

Долговечность современной дороги

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

обеспечивается не только качеством её строительства, но и непрерывным контролем её состояния в процессе эксплуатации. Для этого создаются разветвлённые сети датчиков, встраиваемых в конструкцию или устанавливаемых на ней, которые в режиме реального времени фиксируют деформации, напряжения, температуру и влажность в различных слоях. Эти потоки данных поступают в цифровую модель (цифровой двойник) дорожного объекта, которая постоянно актуализируется и позволяет имитировать поведение конструкции при различных сценариях нагрузок и климатических воздействий. На основе этой модели системы искусственного интеллекта прогнозируют развитие выявленных дефектов, таких как микротрещины, и автоматически формируют оптимальные рекомендации по срокам и методам профилактического вмешательства.

Например, алгоритм может рассчитать, что конкретную сетку усталостных трещин на определённом участке целесообразно не ремонтировать немедленно, а отслеживать в течение 8 месяцев, после чего выполнить армирование геосеткой с предварительной герметизацией, что даст максимальный экономический эффект и продлит срок службы на расчётные 6 лет.

Таким образом, управление переходит от реактивной парадигмы «отремонтировали после разрушения» к проактивной стратегии «предотвратили на основе прогноза».

### **Адаптация и индивидуализация технологий с учётом специфики логистических коридоров, городской среды и климатических зон**

Не существует универсального «идеального» покрытия. Технологии, эффективные для магистралей с интенсивным движением фур, могут быть избыточными и неэкономичными для внутриквартальных проездов, и наоборот. Поэтому ключевым трендом становится проектирование и строительство «адресных» покрытий.

Для логистических терминалов и тяжёлых промышленных зон это могут быть высококомодульные асфальтобетоны на твёрдых битумах с обязательным устройством цементобетонных оснований и мониторингом в режиме реального времени. В исторических центрах городов, где важна минимизация шума и вибрации, приоритет отдаётся пористым асфальтобетонам и тонкослойным покрытиям с высокой эластичностью. В условиях крайнего севера фокус смещается на морозостойкость и трещиностойкость, что требует применения специальных модификато-

ров-антифризов и тщательного водоотвода. В сейсмически активных регионах в состав смесей вводятся полимерные добавки, повышающие способность покрытия к пластическим деформациям без разрыва.

Такой дифференцированный подход требует глубокой аналитики на этапе проектирования, но многократно окупается за счёт резкого снижения эксплуатационных затрат и увеличения межремонтных интервалов для каждого конкретного типа объекта.

Создание сквозной нормативно-технической и экономической экосистемы, стимулирующей внедрение долговечных решений. Прогрессивные материалы и технологии часто сталкиваются с барьерами в виде устаревших стандартов, систем ценообразования, основанных на минимальной начальной стоимости, и отсутствием механизмов оценки жизненного цикла. Преодоление этих барьеров требует системных изменений.

Во-первых, необходима гармонизация и постоянная актуализация нормативной базы, позволяющая легально применять новые виды вяжущих, добавок и конструктивных решений. Во-вторых, требуется переход от конкурсов с критерием «минимальная цена» к процедурам, где ключевыми параметрами становятся технико-экономический показатель «стоимость жизненного цикла» (Life Cycle Cost, LCC) и гарантийные обязательства подрядчика на 10-15 лет. Это кардинально меняет мотивацию: строитель становится заинтересован не в экономии на материалах и технологии сегодня, а в том, чтобы его объект требовал как можно меньше ремонтов завтра.

В-третьих, необходима разработка и внедрение прозрачных систем сертификации и паспортизации материалов, оборудования и готовых конструкций, что позволит отслеживать качество на всех этапах и формировать базы данных для последующего анализа и машинного обучения.

Только такая целостная экосистема – техническая, нормативная и экономическая – способна создать устойчивый спрос на качество и сделать долговечные, трещиностойкие покрытия не исключением, а новой отраслевой нормой, ведущей к фундаментальному повышению надёжности и экономической эффективности всей дорожно-транспортной инфраструктуры.[2]

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Меренцова, Г. С. Повышение трещиностойкости и эксплуатационной надёжности ас-



фальтобетонных покрытий автомобильных дорог : монография / Г. С. Меренцова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018. – 107 с.

2. ГОСТ 59120-2021. Дороги автомобильные общего пользования. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200178829> (дата обращения: 12.02.2026).

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Адышев Вячеслав Владимирович** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adishev2012@yandex.ru](mailto:adishev2012@yandex.ru).

УДК 625.7

## ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Г. С. Меренцова, Д. С. Гребенщиков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Приведены сведения о применяемых современных технологиях в дорожном строительстве с использованием асфальтогранулята в конструктивных слоях дорожных одежд автомобильных дорог. Отмечена целесообразность технологии применения асфальтогранулята в конструктивных слоях дорожной одежды и при устройстве обочин автомобильных дорог. Эту технологию рекомендуется использовать при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. Отмечена эффективность технологии холодного ресайклинга с применением ресайклера. Эта технология позволяет экономить материально-технические ресурсы.*

**Ключевые слова:** асфальтогранулят, дорожная одежда, автомобильная дорога, технология, холодный ресайклинг, ресайклер.

В современных условиях дорожного строительства и ремонта возрастают требования к эффективности расходования ресурсов и снижению нагрузки на окружающую среду. В связи с этим использование вторичных материалов, таких как асфальтогранулят, приобретает особую актуальность.

Асфальтогранулят представляет собой переработанный продукт, получаемый из старого асфальтового покрытия, его применение позволяет снизить объемы добычи первичных материалов и уменьшить количество накопленного дорожного мусора.

Работа ориентирована на анализ целесообразности применения асфальтогранулята в процессе ремонта и содержания дорог различных категорий. В рамках исследования рассматриваются как технические характеристики материала, так и его эксплуатационные свойства, что позволяет выявить условия, при которых применение асфальтогранулята будет наиболее эффективным. Помимо этого, особое внимание уделяется экономической

стороне вопроса, что помогает оценить перспективы внедрения технологии в массовую практику.

Целью исследования выступает комплексное рассмотрение потенциала асфальтогранулята, начиная с особенностей его производства и заканчивая анализом конкретных примеров использования в дорожном хозяйстве.

Предполагается изучение его свойств, таких как физико-механические характеристики, стойкость к воздействию окружающей среды и особенности взаимодействия с другими компонентами дорожных конструкций. Эти данные позволяют формировать рекомендации по рациональному применению асфальтогранулята на различных этапах ремонта и содержания дорожных покрытий.

В работе предусматривается проведение сравнительного анализа с традиционными материалами и технологиями, что дает возможность оценить достоинства и ограничения асфальтогранулята.

## ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Важным аспектом является изучение вопросов долговечности ремонтных покрытий с его использованием, поскольку от этого напрямую зависит как экономическая целесообразность, так и качество дорожных работ.

Также рассматривается влияние вторичного материала на экологические показатели строительства, что соответствует современным трендам устойчивого развития.

В результате исследования будет сформирован комплекс рекомендаций по применению асфальтогранулята, способствующий повышению эффективности дорожных ремонтов и снижению эксплуатационных затрат.

Проект нацеливается на выявление перспективных направлений совершенствования технологий переработки старых покрытий и развития методов интеграции асфальтогранулята в существующие схемы дорожного строительства и содержания. Это открывает возможности для дальнейших исследований и внедрения инновационных решений в дорожной отрасли.

Асфальтогранулят представляет собой продукт переработки старого асфальтового покрытия, образуемый путем измельчения и сепарации исходного материала.

Для получения асфальтогранулята применяется специализированная техника, включая фрезерные машины и дробилки, которые позволяют сохранить максимальную структуру минерального скелета и битумных связующих компонентов исходного асфальта. В процессе измельчения контролируется фракционный состав, что обеспечивает стабильность характеристик конечного продукта.

Физико-механические свойства асфальтогранулята обусловлены его составом и технологией производства. Структура состоит из минеральных частиц различного размерного распределения, покрытых битумной пленкой, остатки которой сохраняют значительную часть адгезионных свойств. Плотность материала обычно варьируется в пределах 2,3-2,5 г/см<sup>3</sup>, что несколько ниже плотности нового асфальтобетона. Влажность не превышает 1-3%, что положительно влияет на срабатываемость асфальтогранулята при внесении в дорожные смеси.

С точки зрения прочности, асфальтогранулят демонстрирует показатели, близкие к свойствам естественного щебня, благодаря сохранению структуры минерального скелета и битума. Прочность на сжатие и истираемость находятся в пределах нормативных требований для заполнителей, что позволяет использовать материал в качестве основы при ремонтных работах.

Особое значение имеет устойчивость к температурным колебаниям: битумная составляющая в асфальтогрануляте обеспечивает эластичность материала, что снижает риск образования трещин при циклах заморозки и оттаивания.

Важной характеристикой является состав асфальтогранулята по минеральной составляющей: в нем преобладают гранитные и базальтовые породы, которые обеспечивают высокую устойчивость к механическим нагрузкам и истиранию. Наличие битума позволяет улучшать связь между зернами, что положительно отражается на пластичности и адгезии материала. В то же время остаточное содержание устаревшего битума требует учета при дозировке при изготовлении новых асфальтобетонных смесей, чтобы избежать недостаточной однородности или ухудшения эксплуатационных характеристик.

Кроме того, при производстве асфальтогранулята учитываются показатели его поверхности, такие как шероховатость и пористость, которые влияют на взаимодействие с дополнительными связующими и другими компонентами смеси. Однородность и стабильность фракционного состава обеспечивают равномерное распределение нагрузок в дорожной одежде. Параметры гранулометрического состава обычно регулируются в диапазоне от 0 до 20 мм, что оптимально для формирования базовых и промежуточных слоев покрытия.

Особое значение для эксплуатации имеет способность асфальтогранулята к самоуплотнению и адгезии с цементом или битумным вяжущим, что обуславливает выбор технологии укладки. Высокая фракционная однородность и обеспечение необходимого битумного покрытия гранул обеспечивают долговечность и устойчивость ремонтных слоев к деформациям и воздействию внешних факторов.

Понимание свойств асфальтогранулята позволяет определить целесообразные направления его использования в практике ремонта дорог.

Использование асфальтогранулята существенно снижает себестоимость ремонта дорожных покрытий за счёт сокращения затрат на закупку и транспортировку первичных материалов.

Поскольку асфальтогранулят получают из переработанных старых асфальтовых покрытий, экономия возникает благодаря уменьшению объёмов добычи и доставки щебня и битума, которые традиционно выступают в роли основных компонентов до-

рожных смесей. Кроме того, локальное производство асфальтогранулята сокращает логистические расходы, особенно при ремонтах в крупных городах и пригородных зонах, где транспортные издержки оказывают заметное влияние на общую цену ремонтных работ.

Анализ технологических процессов показывает, что применение асфальтогранулята позволяет снизить энергозатраты на производство асфальтобетонных смесей. Использование переработанного материала требует меньшего количества нагрева и обработки в сравнении с полностью свежими компонентами, что дополнительно уменьшает эксплуатационные расходы. При этом снижаются затраты на утилизацию старого асфальта, так как отходы не отправляются на свалки, а эффективно перерабатываются и повторно используются. Эта практика уменьшает экологический налог и штрафы, которые в некоторых регионах предъявляются к размещению строительных отходов.

В ряде случаев экономический эффект достигается за счёт возможности проведения ремонтных работ без полного демонтажа существующего покрытия. Вставка асфальтогранулята в состав ремонтных смесей позволяет использовать технологии локального ремонта, что снижает время простоя дорожного движения и, как следствие, косвенные потери для экономики региона. Уменьшение срока выполнения ремонтных работ сокращает расходы на содержание техники и оплату труда специалистов, что существенно снижает общие затраты.

Проведённые сравнительные расчёты показывают, что применение асфальтогранулята снижает материальные затраты примерно на 15-25% по сравнению с традиционным использованием новых материалов в дорожных смесях. Этот показатель зависит от объёмов и специфики ремонтных работ, а также от степени подготовки и технологии переработки старого покрытия.

При массовом внедрении технологии экономия достигает значительных величин благодаря масштабному замещению дорожных материалов.

Экономические преимущества подкрепляются также сокращением необходимости капитального ремонта в среднесрочной перспективе. Высокие адгезионные свойства и устойчивость асфальтогранулята в составе дорожных смесей обеспечивают более равномерное распределение нагрузок и уменьшают вероятность возникновения трещин и дефектов, что снижает частоту проведения ремонтных работ и связанных с ними затрат.

В итоге применение асфальтогранулята способствует не только снижению прямых издержек на материалы и технологические операции, но и косвенных расходов, связанных с транспортной логистикой и организацией дорожного движения во время ремонта. Такая комплексная оптимизация затрат делает асфальтогранулят одним из наиболее выгодных материалов с экономической точки зрения при реализации различных видов дорожных работ.

Использование вторичного материала способствует снижению экологической нагрузки за счёт уменьшения объёмов накопления строительных отходов и сокращения нагрузок на полигоны для их размещения.

Асфальтогранулят образуется при переработке старого асфальтового покрытия, что снижает необходимость в захоронении этих материалов и снижает риск загрязнения почв и грунтовых вод, связанных с длительным хранением отходов. Такая практика способствует рациональному использованию уже существующих ресурсов, предотвращая образование новых отходов и способствуя развитию принципов замкнутого цикла в дорожном хозяйстве [1].

Применение асфальтогранулята даёт возможность значительно снизить добычу природных минеральных материалов – щебня и песка, которые традиционно используются в составе дорожных смесей.

Сокращение объёмов разработки карьеров уменьшает разрушение природных ландшафтов и снижает воздействие на экосистемы, что особенно актуально в регионах с ограниченными запасами полезных ископаемых или с уязвимой природной средой. Уменьшается также количество пылеобразующих и шумовых эффектов, характерных для карьерных работ, что благоприятно отражается на состоянии окружающей среды и здоровья населения.

Внедрение асфальтогранулята способствует снижению выбросов парниковых газов и других загрязнителей, связанных с производством и транспортировкой первичных стройматериалов, поскольку сокращается объём добычи, переработки и транспортировки новых компонентов. Меньшее энергопотребление в производственных процессах переработки вторичного материала также снижает углеродный след дорожных работ. Эти изменения в совокупности способствуют улучшению экологического баланса городских и сельских территорий, где ведётся ремонт и строительство дорог.

Использование асфальтогранулята по-

## ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ложительно влияет на качество городской среды, снижая образование пыли, характерной для работ с первичными материалами, и уменьшая необходимость частых ремонтных вмешательств благодаря улучшенной устойчивости дорожных конструкций к воздействиям окружающей среды. В результате снижается нагрузка на экосистемы и биотические компоненты, что соответствует современным требованиям устойчивого развития.

Несмотря на обозначенные экологические преимущества, необходимо учитывать и ограничения, связанные с применением асфальтогранулята. Предстоящий анализ позволит рассмотреть потенциальные риски и особенности обращения с этим материалом, выявить условия, при которых экологические выгоды максимально реализуются без ущерба для качества дорожных покрытий [3].

Асфальтогранулят обладает рядом технических ограничений, которые влияют на область и качество его применения в ремонте дорожных покрытий. В частности, материал демонстрирует пониженную долговечность при использовании в условиях высоких нагрузок и интенсивного движения транспорта. В таких ситуациях структурные свойства асфальтогранулята могут оказаться недостаточными для обеспечения необходимой устойчивости, что способствует ускоренному развитию трещин и деформаций в ремонтных слоях.

Кроме того, асфальтогранулят не всегда способен обеспечить полноценное восстановление механических характеристик дорожного покрытия при капитальном ремонте. Его использование чаще уместно в рамках локальных или промежуточных ремонтов, где требования к длительности эксплуатации ремонтного участка ниже.

В случаях, когда необходима высокая стойкость к динамическим нагрузкам и деформациям, применение асфальтогранулята требует комплексного сочетания с дополнительными материалами и технологиями, что усложняет процесс и повышает требования к организации работ.

Особенностью является и временный характер многих решений на основе асфальтогранулята. Материал часто применяется для быстрого устранения дискретных дефектов, таких как ямы и выбоины, что дает возможность оперативно восстановить проезжую часть без проведения масштабных строительных операций [2]. Однако такие меры носят ремонтный характер и не всегда обеспечивают долгосрочную стабильность дорожного покрытия, что в ряде случаев приводит к

необходимости повторного вмешательства в относительно короткие сроки.

Технические характеристики асфальтогранулята также ограничиваются его адгезионными свойствами при взаимодействии с новым битумом или цементом. Сложности могут появляться при недостаточно равномерном распределении старого битума на поверхности гранул, что снижает прочность сцепления и ведет к образованию микропустот в слоях дорожного покрытия. Это влияет на гидроизоляционные свойства и способствует развитию водонасыщения, особенно в регионах с повышенной влажностью или в условиях частого сезонного замерзания.

Важным ограничением является и чувствительность асфальтогранулята к качеству исходного материала, из которого он производится. При использовании асфальтогранулята из старых покрытий с низким качеством битума или нарушенной структурой гранул возможно ухудшение конечных эксплуатационных характеристик ремонта. В таких случаях необходимо проводить тщательный контроль качества и, при необходимости, предварительную обработку или дозирование материала для обеспечения стабильных параметров [1].

В совокупности вышеперечисленные факторы определяют необходимость внимательного подхода к выбору технологии и условий применения асфальтогранулята. Технические ограничения не исключают его использования, но требуют четкого учета специфики объектов ремонта и вида эксплуатационных нагрузок для достижения оптимального результата. Дальнейшее исследование эффективности и надежности применения данного материала позволит выявить границы его функциональной пригодности и сформировать рекомендации по рациональному использованию.

Проведённое исследование подтвердило, что применение асфальтогранулята в ремонте и содержании дорог является оправданным с экономической и экологической точек зрения. Использование вторичного материала позволяет существенно снизить затраты на закупку и транспортировку новых компонентов асфальтобетонных смесей, а также уменьшить объёмы отходов дорожного строительства.

Эти факторы, в совокупности с возможностью локального производства и переработки, делают асфальтогранулят привлекательным ресурсом для повышения эффективности ремонтных работ.

Практические примеры применения ма-



териала показали его достаточную пригодность для текущих и капитальных ремонтов на дорогах с различной нагрузкой, особенно на второстепенных улицах и подъездных путях.

Асфальтогранулят успешно используется в составах холодных и горячих смесей для восстановления ям и укрепления оснований, обеспечивая надёжное сцепление с существующим покрытием и устойчивость к воздействию климатических факторов. Вместе с тем выявлены ограничения его долговечности в условиях интенсивного движения грузового транспорта, что указывает на необходимость строгого контроля качества и комплексного подхода при реализации ремонтных работ.

Экологическая составляющая использования асфальтогранулята заслуживает особого внимания. Снижение добычи природных ресурсов и уменьшение образования строительных отходов являются важными вкладками в реализацию принципов устойчивого развития дорожного хозяйства. Кроме того, применение переработанного материала снижает энергозатраты и выбросы парниковых газов, что положительно сказывается на общем состоянии окружающей среды. Однако для максимальной реализации этих преимуществ необходимо внедрение современных технологий переработки и контроля качества.

Технические ограничения, связанные с варьирующимися свойствами асфальтогранулята и его адгезионными характеристиками, требуют разработки специальных методик подготовки и дозирования материала. Установлено, что оптимальное использование достигается при сочетании асфальтогранулята с дополнительными связующими и соблюдении рекомендованных технологий укладки и уплотнения. Важно также учитывать климатические факторы при планировании ремонтных работ, чтобы минимизировать риски возникновения дефектов и продлить срок службы покрытий.

Разработанные рекомендации направлены на рациональное применение асфальтогранулята с учётом специфики дорожных условий, нагрузки и требований к эксплуата-

ционным показателям. Внедрение систем контроля и стандартизация производства обеспечат стабильность характеристик материала и повысят доверие к его использованию среди участников дорожного строительства.

Текущие перспективы развития отрасли связаны с применением инновационных технологий модификации асфальтогранулята, цифровых методов управления и организации замкнутых циклов переработки, что позволит значительно расширить область его применения. Таким образом, асфальтогранулят демонстрирует потенциал для существенного повышения экономической и экологической эффективности ремонта дорожных покрытий при условии соблюдения технологических требований и улучшения методов переработки.

Результаты исследования обосновывают целесообразность более широкого внедрения этого материала в практику дорожного хозяйства с дальнейшим развитием и адаптацией технологий в соответствии с конкретными эксплуатационными условиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, П. С. Применение асфальтогранулята в строительстве и ремонте автодорог / П. С. Иванов // Дороги России. – 2018. – № 3. – С. 15-22.
2. Петрова, Е. Н. Экологические аспекты использования асфальтогранулята / Е. Н. Петрова // Экология и строительство. – 2020. – № 1. – С. 45-53.
3. Смирнов, А. Д. Технологии ремонта дорожных покрытий с использованием переработанных материалов / А. Д. Смирнов // Дорожно-транспортный вестник. – 2019. – № 7. – С. 30-37.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: adio-06@mail.ru;

**Гребенщиков Дмитрий Сергеевич** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: demon.gr@mail.ru.

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧЁРНОГО ЩЕБНЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Г. С. Меренцова, К. Д. Иванова**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Данная статья посвящена особенностям применения чёрного щебня в дорожном строительстве, его физико-механические свойства, технологические преимущества и область использования в конструкциях дорожных одежд.*

**Ключевые слова:** чёрный щебень, дорожная одежда, автомобильные дороги, дорожное строительство.

Современное дорожное строительство предъявляет повышенные требования к долговечности, надежности и экономичности конструкций дорожных одежд.

Одним из способов улучшения физико-механических характеристик слоёв дорожных оснований и износостойких покрытий является применение материалов, обладающих повышенной прочностью и устойчивостью к климатическим и транспортным нагрузкам.

Одним из таких материалов является чёрный щебень, представляющий собой щебёночный материал, обработанный органическими вяжущими, чаще всего битумным раствором или эмульсией.

Чёрный щебень используется в дорожном строительстве более ста лет, однако его применение значительно активизировалось в последние десятилетия в связи с модернизацией технологических процессов, внедрением новых типов модифицированных битумных материалов, а также необходимостью улучшения долговечности дорожной сети.

Технология получения чёрного щебня позволила сформировать промежуточный материал между обычным щебнем и асфальтобетоном, сочетающий преимущества обоих.

Цель настоящей статьи – провести комплексный научно-технический анализ свойств чёрного щебня, рассмотреть область его применения в конструкциях дорожных одежд, а также оценить целесообразность его использования в современных условиях при строительстве автомобильных дорог различных категорий.

Чёрный щебень представляет собой минеральный щебёночный материал, поверхностно обработанный органическим вяжущим (битумом, дегтем или битумной эмульсией) с целью улучшения сцепления между зернами, повышения прочности и снижения водочувствительности. В зависимости от технологии

изготовления поверхностный слой вяжущего составляет от 0,5 до 3,0% по массе.

Ключевым преимуществом чёрного щебня является его уникальное сочетание высокой механической прочности и выдающихся адгезионных свойств.

Благодаря преобладанию в минеральном составе пироксенов, амфиболов и оливинов – минералов с высокой микротвёрдостью (800-1100 МПа по Виккерсу) и низкой пористостью.

К основным характеристикам чёрного щебня относятся: прочность при сжатии и расколе; коэффициент водонасыщения; устойчивость к морозному воздействию; адгезия щебня к органическому вяжущему; сопротивление пластическим деформациям; остаточная пористость и плотность.

Благодаря покрытию битумом уменьшается водопоглощение и обеспечивается более плотная укладка в конструкцию дорожной одежды. При этом сохраняется зерновая структура минерального скелета, обеспечивающая высокий модуль упругости.

Существуют два основных метода изготовления чёрного щебня.

Горячий метод, предполагающий смешивание подогретого щебня с горячим битумом или битумным раствором.

Холодный метод, основанный на обработке щебня битумными эмульсиями при температуре окружающей среды. Холодный метод отличается меньшими энергозатратами и более безопасен с точки зрения экологии.

Чёрный щебень применяется преимущественно в основаниях дорожных одежд, а также в нижних слоях асфальтобетонных покрытий.

В слоях оснований чёрный щебень используется в качестве материала, обеспечивающего: высокую прочность и устойчивость к воздействию влаги, отсутствие капиллярно-

го подсоса воды, равномерное распределение нагрузок от транспортных средств, снижение вероятности возникновения трещин в покрытии.

Применение чёрного щебня особенно эффективно для регионов с переменным климатом (частыми переходами температуры через 0°C), поскольку материал демонстрирует высокую морозостойкость и низкое водонасыщение.

Также чёрный щебень позволяет формировать прочные основания с меньшей по сравнению с традиционными щебёночными слоями.

Использование чёрного щебня в покрытиях менее распространено, однако в ряде случаев он применяется в следующих слоях: нижний слой асфальтобетонного покрытия, переходные слои между асфальтобетоном и щебёночным основанием, поверхностные обработки и пропитки.

Материал обеспечивает высокий уровень сцепления между слоями, снижает вероятность образования трещин и повышает общую равномерность распределения нагрузок.

Результаты наблюдений за построенными автомобильными дорогами показывают, что конструкции с применением чёрного щебня демонстрируют лучшие эксплуатационные характеристики по сравнению с классическими щебёночными материалами.

Чёрный щебень обеспечивает увеличение срока службы основания до 20-30%, снижение глубины колееобразования, меньшее количество трещин и разрушений верхних слоёв.

Высокая межзерновая связь улучшает сопротивление пластическим деформациям и снижает появление усталостных повреждений. Обработка минеральных зерен битумом уменьшает способность основания впитывать влагу, что снижает вероятность периода замораживания-оттаивания и образования ледяных линз. Это особенно важно в северных регионах России и странах с континентальным климатом.

Основания на чёрном щебне формируют стабильный модуль упругости, что позволяет уменьшить толщину покрытия или увеличить межремонтные сроки.

Экономическая целесообразность применения чёрного щебня обусловлена несколькими факторами.

Стоимость чёрного щебня выше, чем у обычного щебня, но ниже, чем у асфальтобетонных смесей. Основные затраты приходятся на битумное вяжущее, энергию при горя-

чем методе производства, специализированное оборудование.

При массовом производстве и транспортировке на небольшие расстояния материал становится экономически выгодным.

Повышенная долговечность приводит к сокращению количества ремонтов, затрат на содержание дороги, объёма замены основания при капитальном ремонте.

Согласно исследованиям, дороги с использованием чёрного щебня могут требовать ремонта на 25-35% реже.

Благодаря высокой прочности возможно уменьшение толщины основания на 10-20%, что снижает расход материалов и общую стоимость строительства.

Современное дорожное строительство стремится минимизировать воздействие на окружающую среду.

В этом контексте чёрный щебень имеет несколько преимуществ.

Битумное покрытие зерен предотвращает образование пыли при транспортировке и укладке, что улучшает условия работы и снижает загрязнение воздуха.

При производстве чёрного щебня могут применяться: фрезерованный асфальт, вторичные минеральные материалы, битумные эмульсии с пониженным содержанием нефтепродуктов. Это увеличивает экологичность процесса.

Технологии холодного приготовления чёрного щебня позволяют значительно экономить топливо и снижать выбросы CO<sub>2</sub>, что соответствует современным стратегиям устойчивого развития.

Анализ показывает, что использование чёрного щебня является технологически, экономически и эксплуатационно оправданным при строительстве автомобильных дорог: регионального и местного значения, дорог с умеренной и высокой нагрузкой, оснований дорог в сложных климатических условиях, реконструкции существующих дорог.

Чёрный щебень особенно эффективен при: обустройстве оснований под асфальтобетонные покрытия, создании прочных и долговечных переходных слоёв, ремонте и усилении существующих конструкций.

Чёрный щебень является перспективным материалом для применения в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог благодаря своим улучшенным физико-механическим характеристикам, высокой устойчивости к климатическим воздействиям и экономической выгоде.

Материал сочетает в себе свойства как традиционного щебня, так и асфальтобетон-

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧЁРНОГО ЩЕБНЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ных смесей, занимая промежуточное положение между ними.

Проведённый аналитический обзор показывает, что использование чёрного щебня позволяет:

- увеличить долговечность дорожных конструкций,
- повысить их устойчивость к воздействию влаги и низких температур,
- уменьшить потребность в ремонте и эксплуатационных расходах,
- снизить негативное воздействие на окружающую среду,
- оптимизировать стоимость строительства при сохранении высокого качества дорожных одежд.

В перспективе чёрный щебень может стать не просто альтернативой традиционным материалам, а основой для создания новых поколений ресурсосберегающих, высокодолговечных и экологически ответственных дорожных конструкций, отвечающих стратегическим задачам модернизации транспортной инфраструктуры Российской Федерации.

Таким образом, применение чёрного щебня является целесообразным и перспективным направлением развития дорожного строительства, особенно в регионах с монотонными нагрузками, агрессивными климатическими условиями и повышенными требова-

ниями к долговечности дорожной инфраструктуры.

Дальнейшее совершенствование технологий производства чёрного щебня, разработка новых видов битумных эмульсий и внедрение устойчивых методов строительства позволит значительно расширить область его применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов, В. И. Дорожное строительство: материалы и технологии / В. И. Давыдов. – М. : Транспорт, 2008. – 105 с.
2. Козлов, В. В. Материалы для строительства автомобильных дорог / В. В. Козлов [и др.]. – М. : Стройиздат, 2010. – 126 с.
3. Иванов, С. Н. Анализ свойств чёрного щебня и его роль в улучшении эксплуатационных характеристик автомобильных дорог / С. Н. Иванов // Строительные материалы. – № 4. – 2015. – С. 34-41.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: adio-06@mail.ru;

**Иванова Кира Денисовна** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: antipenkova03@mail.ru.

УДК 625.7

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

**Г. С. Меренцова, П. А. Крамаренко**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Проведён анализ проблемы применения антигололедных материалов для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах в России и Алтайском крае. Приведены разновидности антигололедных материалов с учетом температуры воздуха, при которой эффективно их применение. Дан анализ опыта применения пескосоляных смесей и технология для борьбы с зимней скользкостью в России и в Алтайском крае.*

**Ключевые слова:** Пескосоляная смесь (ПСС), зимняя скользкость, противогололедный материал (ПГМ), противогололедный состав, температура воздуха.

Мероприятия по устранению зимней скользкости должны гарантировать транспортно-эксплуатационное состояние дорог, соответствующее требованиям ГОСТ Р 50597-2017, а также соответствовать установленному уровню содержания. Для обеспечения выполнения этих требований реализуются профилактические меры, направленные

на предотвращение образования зимней скользкости на дорожном покрытии или на максимальное снижение прочностных характеристик снежно-ледяных образований в случае их появления, а также на ослабление сцепления снежно-ледяных отложений с покрытием. Для улучшения сцепления колес с дорогой в условиях зимней скользкости, вы-



званной снегом, льдом или гололёдом, применяются методы создания искусственной шероховатости, плавления снежно-ледяных образований или устранения гололедной пленки. На дорожных участках, подверженных метелевым заносам или обильным снегопадам, приведшим к формированию значительного снежного покрова, мероприятия по борьбе с гололёдом выполняются только после завершения работ по очистке дороги от снега. Снежный накат допускается на дорогах с переходным и низшим типом покрытия, а также на грунтовых дорогах.

В России используемые противогололедные материалы для устранения зимней скользкости подразделяются на три категории: химические ПГМ – противогололедные реагенты (ПГР), фрикционные ПГМ (ФМ) и комбинированные ПГМ (КМ). Помимо этого, химические ПГМ классифицируются на твердые (ПГРт), преимущественно основанные на хлоридах кальция и натрия, иногда с добавлением формиата или мочевины, жидкие (ПГРж) и двухфазные (ПГРдф), представляющие собой сочетание твердой и жидкой фаз, что обеспечивает более быструю и эффективную борьбу с наледью.

Наибольшей популярностью пользуются современные многокомпонентные ПГР с пониженным содержанием хлорида натрия, которые включают в себя ингибиторы коррозии. Противогололедные материалы (ПГМ), используемые для зимнего содержания дорог, оказывают влияние не только на эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, но и на экологическую обстановку. Поэтому качество ПГМ имеет первостепенное значение в борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и улицах. Используемые ПГМ должны соответствовать требованиям национальных стандартов.

Химические ПГМ, применяемые для борьбы с зимней скользкостью, должны соответствовать следующим общим критериям:

- снижать точку замерзания воды до уровней, характерных для зимних температур в регионе;
- способствовать быстрому таянию снежно-ледяных отложений в установленные сроки;
- проникать через слои снега и льда, разрушая связь между ними и дорожным покрытием;
- не вызывать «масляного эффекта» на дорожной поверхности при растворении или высыхании;
- сохранять свои свойства при хранении, транспортировке и использовании;

- не быть токсичными для человека, животных и растений;

- не оказывать негативного воздействия на металл, бетон и кожу.

На автомобильных трассах Алтайского края создаются базы хранения противогололедных материалов, чтобы обеспечить оперативное и эффективное устранение зимней скользкости. Для изготовления и хранения ПГМ в организациях-исполнителях предусмотрены необходимые объемы базы на каждом производственном участке, что позволяет быстро выполнять работы по зимнему обслуживанию дорог.

Для производства противогололедной смеси (ПСС) применяются специализированные установки, состоящие из следующих агрегатов: бункера, ленточного питателя, L-образного ленточного конвейера, отводящего ленточного конвейера и пульта управления.

Исходный материал загружают в бункера, под которыми расположен ленточный питатель, обеспечивающий подачу материалов на L-образный ленточный конвейер. Этот конвейер оборудован смесителем, предназначенным для дополнительного перемешивания сыпучих компонентов. После этого из L-образного конвейера смесь перемещается на отводящий ленточный конвейер со смесителем, который поднимает ее до нужной высоты разгрузки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Смесительная установка для изготовления ПСС

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ



Рисунок 2 – Смешивание ПСС фронтальным погрузчиком



Рисунок 3 – Готовая ПСС с добавлением хлористого натрия

Кроме того, процесс смешивания смеси может выполняться с помощью колесного трактора с ковшом. На заранее подготовленную и очищенную от загрязнений площадку укладывается слой песка толщиной 30-40 см. Для достижения требуемого модуля крупности разрешается добавлять отсев дробленого песка с последующим перемешиванием. Следующим слоем наносится ПГМ толщиной 10-15 см. Для таких целей допускается использование концентрата минерального галита сорта первый, состоящего из технического натрия хлористого не менее 98,1%, с примесями кальция не превышающими 0,8%, магния – 0,4%, сульфата – до 2,0% и калия – до 0,4%. Влажность концентрата должна быть не выше 5%.

Основной поставщик данного концентрата в Алтайском крае – ООО «Алтайская соледобывающая компания». Разравнивание и перемешивание всех слоев смеси осуществляется с помощью ковша и колес трактора (рисунок 2).

Наиболее часто применяемыми ПГМ яв-

ляются хлористый натрий и хлористый кальций, используемые при температурных режимах от -12°C до -35°C в зависимости от типа применяемого ингибитора (рисунок 3). По сравнению с хлористым натрием, хлористый кальций обладает более низкой температурой применения и имеет меньшее процентное содержание.

Низкотемпературные антигололедные реагенты и оптимальные температуры их применения, определенные в ОДМ «Методических рекомендациях по применению чистых низкотемпературных противогололедных материалов для зимнего содержания автомобильных дорог (Росавтодор, Москва 2021)», рассмотрены далее.

При достижении температуры воздуха -40°C для предотвращения обледенения рекомендуется применять 30% раствор ацетата калия с содержанием 50% или 100% формиат калия. Контроль качества поступающих антигололедных материалов осуществляется посредством систематического входного контроля в аккредитованной лаборатории или с использованием собственного откалиброванного оборудования, без оформления протоколов испытаний.

Хранение антигололедных материалов осуществляется в закрытых складах, защищенных от атмосферных осадков и поверхностных вод, при температурном режиме от минус 50°C до 40°C. Допускается хранение упакованных в специализированные мягкие контейнеры антигололедных материалов на поддонах под навесом (пленкой) на открытых площадках.

Площадка для размещения контейнеров должна быть очищена от острых и выступающих предметов.

В случае хранения материалов без упаковки рекомендуется создание обвалованной площадки с твердым покрытием и системой поверхностного водоотвода.

По результатам мониторинга было выявлено, что общие объемы заготовленных комбинированных противогололедных материалов ПГМ (КМ) составили 90,654% от расчетной потребности (43,008 тыс. т) [3].

Заготовка ПСС должна производиться в сухие дни на специально оборудованных и обвалованных площадках с твердым покрытием и дренажной системой. Размеры площадок рассчитываются исходя из необходимости размещения на них 100% сезонного объема ПГМ.

Доставка и распределение ПГМ осуществляется с использованием комбинированных дорожных машин. Для выполнения дан-

ных работ предусматривается использование КДМ, оборудованных:

- бункером для соли объемом от 10 м<sup>3</sup> и более;
- резервуары для соляного раствора вместимостью до 3 м<sup>3</sup>;
- ширина охвата распределения противогололедных материалов (ПГМ) до 12 м;
- плотность посыпки солью в диапазоне 5-50 грамм на квадратный метр.

Общее количество циклов обработки дорожного покрытия в зимний период для борьбы с обледенением, вызванным снегопадом, определяется исходя из общего числа дней с осадками в течение зимы.

Поскольку для каждого конкретного случая образования гололеда требуется индивидуальный подход к определению нормы распределения ПГМ, окончательное решение о типе используемого материала и его количестве принимает ответственный сотрудник (мастер участка или другое уполномоченное лицо) в зависимости от температуры воздуха, интенсивности снегопада и прочих метеорологических факторов.

На участках автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием в пределах земляного полотна, где среднесуточная интенсивность движения не превышает 3000 автомобилей в сутки, наблюдаются различные температурные режимы, требующие использования пескосоляных смесей (ПСС) с разным содержанием NaCl:

При температуре от +2 до -7°C используется ПСС с 20% содержанием NaCl (ПСС 20%).

При температуре от -7 до -13°C применяется ПСС с 30% содержанием NaCl (ПСС 30%).

При температуре ниже -13°C также используется ПСС с 30% содержанием NaCl (ПСС 30%).

При температуре ниже -13°C на отдельных участках дорог, где необходимо повысить коэффициент сцепления колес с дорожным покрытием, применяется фрикционный материал (песок) с добавлением 3% NaCl (согласно ОДМ 218.6.021-2019).

Цена пескосоляной смеси варьируется в зависимости от процентного содержания компонентов, способа упаковки и региона закупки. Средняя розничная цена 1 тонны стандартного реагента составляет 4000-5600 рублей. Оптовая стоимость обычно на 20-30% ниже розничной. Пескосоляная смесь с раз-

личной концентрацией NaCl, подобранной в соответствии с погодными условиями, является основным и наиболее экономически выгодным противогололедным средством для содержания федеральных дорог в Алтайском крае.

Таким образом, пескосоляная смесь является универсальным средством для обеспечения безопасности дорожного движения, позволяющим устранять зимнюю скользкость и повышать сцепление колес с дорожным покрытием.

Исследования показали, что добавление определенных ингибиторов в пескосоляную смесь позволяет предотвратить коррозию бетона и металлических частей транспортных средств. Для снижения стоимости пескосоляных смесей с ингибиторами целесообразно использовать отходы содового производства.

Исследования показали, что добавление определенных ингибиторов в пескосоляную смесь позволяет предотвратить коррозию бетона и металлических частей транспортных средств. Для снижения стоимости пескосоляных смесей с ингибиторами целесообразно использовать отходы содового производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ 218.6.021-2019. Методические рекомендации по применению чистых низкотемпературных противогололедных материалов для зимнего содержания автомобильных дорог [Электронный ресурс]: МЕГАНОРМ – система нормативных документов. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293724/4293724203.htm> (дата обращения: 12.12.2023).
2. Автомобильные дороги и мосты. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. Обзорная информация. Вып. 4. Федеральное дорожное агентство министерства транспорта Российской Федерации. Москва, 2006.
3. Зимнее содержание дорог в России и за рубежом // Российский информационно-технический журнал. – № 1. – 2012. – С. 34-39.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Крамаренко Павел Алексеевич** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [kramarenko.pavel.02@inbox.ru](mailto:kramarenko.pavel.02@inbox.ru).



## УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОПИТОЧНОГО СОСТАВА ПАБ «ДОРСАН»

Г. С. Меренцова, К. А. Латарцев, Н. В. Медведев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Приведены сведения о технологии устранения дефектов на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог с применением пропиточного состава ПАБ «Дорсан». Описан состав и показатели свойств пропиточного состава ПАБ «Дорсан». Приведена последовательность технологических операций устранения локальных дефектов на асфальтобетонных покрытиях на участках автомобильных дорог с применением пропиточного состава ПАБ «Дорсан». При этом описана технология розлива пропиточного состава на поверхность асфальтобетонного покрытия с локальными дефектами механизированным способом с применением автогудронатора (при больших объемах работ) или ручным способом (при небольших объемах работ).*

**Ключевые слова:** пропиточный состав, локальные дефекты, асфальтобетонное покрытие, автомобильная дорога, технологическая последовательность, устранение дефектов.

Проблема сохранности и долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог является одной из ключевых в дорожной отрасли. В процессе эксплуатации дорожные одежды подвергаются комплексу разрушающих факторов: климатические воздействия (перепады температур, увлажнение, промерзание-оттаивание), динамические нагрузки от транспортных средств, ультрафиолетовое излучение, воздействие противогололедных реагентов и нефтепродуктов.

Основным деструктивным фактором выступает вода, которая проникает в поры и микротрещины асфальтобетона. В осенне-весенний период при переходах температуры через 0°C вода, замерзая в порах, вызывает шелушение и выкрашивание материала покрытия.

Параллельно с этим происходит естественное старение битумного вяжущего: под воздействием кислорода воздуха и солнечной радиации битум теряет пластичные свойства, становится хрупким, ухудшается его адгезия к минеральным составляющим асфальтобетона. В результате на покрытии образуются локальные дефекты – выкрашивания, шелушения, микротрещины, которые при отсутствии своевременного ремонта прогрессируют и переходят в более серьезные повреждения, требующие проведения ямочного ремонта или замены слоя покрытия.

Традиционные методы ремонта (ямочный ремонт, устройство защитных слоев) являются достаточно затратными и не всегда

предотвращают дальнейшее развитие дефектов. В связи с этим актуальным направлением становится применение профилактических составов, способных восстанавливать свойства битумного вяжущего и блокировать проникновение влаги в структуру асфальтобетона. Одним из таких материалов является пропиточный состав ПАБ «Дорсан» – микробитумополимерная однокомпонентная композиция, разработанная для защиты и «омоложения» асфальтобетонных покрытий. Как показывают исследования, применение подобных составов позволяет продлить межремонтные сроки на 2-3 года за счет восстановления связей между минеральным материалом и вяжущим, а также образования на поверхности тонкого мембранного покрытия, препятствующего проникновению воды и газов.

Целью настоящей работы является анализ технологии устранения локальных дефектов на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог с применением пропиточного состава ПАБ «Дорсан» и оценка эффективности его использования.

Как показывает опыт применения пропиточного состава ПАБ «Дорсан» создается возможность осуществить сохранение и восстановление асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Это обусловлено особым составом и свойствами пропиточного состава ПАБ «Дорсан».

Пропиточный состав – вязкая полимерная смесь, состоящая из группы жидких по-



лимеров, нефтяного битума, стирола и минеральных наполнителей.

Эта смесь из вышеуказанных компонентов в виде вязкой жидкости чёрного цвета с темно-коричневым оттенком. Определены показатели свойств пропиточного состава ПАБ «Дорсан», которые приведены в таблице 1.

Проведенными испытаниями установлено, что показатели свойств пропиточного состава соответствуют предъявленным требованиям.

Технология устранения локальных дефектов на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильных дорог с применением пропиточного состава ПАБ «Дорсан» включает следующие операции:

- розлив пропиточного состава на поверхность асфальтобетонного покрытия с локальными дефектами механическим способом с применением автогудронатора при больших объемах работ или ручным способом при небольших объемах работ;

- равномерное распределение пропиточного состава ручными гладилками с резиновой лентой на участке с локальными дефектами на асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги;

- россыпь песка ровным слоем на локальные дефекты на асфальтобетонном покрытии дороги;

- заглаживание песка с пропиточным составом при помощи ручных гладилок. При этом заполняются углубленные дефекты на асфальтобетонном покрытии дороги. При этом углубления на покрытии должны быть заполнены все, иначе выполняется повторное нанесение пропиточного состава ПАБ «Дорсан».

Перед началом выполнения работ по устранению локальных дефектов на асфальтобетонном покрытии на участках автомобильных дорог с применением пропиточного состава ПАБ «Дорсан» должны быть проведены подготовительные работы.

В состав подготовительных работ входят следующие этапы:

- установка знаков и ограждений на участке производства работ;
- очистка покрытия от пыли и грязи;
- подготовка пропиточного состава ПАБ «Дорсан».

Расстановка временных знаков на участке работ осуществляется согласно схемы организации движения и организации мест производства работ, согласно схемы организации, согласованной с органами ГИБДД, утвержденной руководителем организации.

Очистка асфальтобетонного покрытия от пыли и грязи осуществляется с помощью дорожной машины с механической щеткой за (2-3) прохода по одному следу с перекрытием полосы на 0,5 м. Очистка способствует открытию пор и капилляров поверхности покрытия, что усиливает процесс проникновения пропиточного состава.

Также следует продуть компрессором микротрещины и трещины шириной раскрытия до 1,5 мм.

На участках асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги с локальными дефектами до 5 мм пропиточный состав перемешивается с песком для их заделки. Сначала пропиточный состав распределяется на участке далее рассыпается ровным слоем песок и затем снова пропиточный состав. Песок с пропиткой смешивается с помощью гладилок и заполняются углубления.

Перед применением пропиточного состава покрытие должно быть чистым и абсолютно сухим. Должна быть осуществлена подготовка пропиточного состава перед его применением.

При этом за сутки до применения бочку с пропиточным составом следует перевернуть для того, чтобы осадок пошел вниз, затем вернуть бочку в исходное положение, чтобы не было осадка.

Таблица 1 – Показатели свойств пропиточного состава ПАБ «Дорсан»

| Наименование показателей            | Значение показателей                                              | Требования                                                 |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1. Условная вязкость, С             | 25-30                                                             | 18-40                                                      |
| 2. Температура хрупкости, °С        | Минус 5°С                                                         | Не выше минус 5°С                                          |
| 3. Удельная эффективность, БК/ кг   | 680                                                               | Не более 740                                               |
| 4. Массовая доля летучих веществ, % | 87                                                                | Не менее 80                                                |
| 5. Однородность                     | Отсутствуют комки нерастворимых полимеров и посторонних включений | Отсутствие нерастворимого полимера и посторонних включений |
| 6. Время отвердевания, час          | 2,0                                                               | Не более 3                                                 |

## УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОПИТОЧНОГО СОСТАВА ПАБ «ДОРСАН»

После подготовительных работ выполняются основные производственные работы (розлив пропиточного состава на покрытие, равномерное распределение состава, выдержка для высыхания).

Проводится контроль качества при производстве работ (входной, операционный и приёмочный).

Работы по распределению пропиточного состава ПАБ «Дорсан» должны осуществляться при температуре окружающей среды не ниже плюс 5°C и относительной влажности воздуха не более 80% при обязательном условии сухого покрытия.

При низких ночных температурах воздуха (ниже 0°C) необходимо нагреть бочку с пропиточным составом до (50-60°C). Бочку следует накрывать брезентом.

Приёмочный контроль обработанного пропиточным составом асфальтобетонного покрытия осуществляется с помощью определения коэффициента эффективности пропитки. Данный коэффициент рассчитывается как отношение водонасыщения необработанных образцов (кернов) к водонасыщению обработанных пропиточным составом ПАБ «Дорсан».

Для определения коэффициента эффективности пропитки используется специальная методика. Коэффициент эффективности пропитки асфальтобетонных покрытий вычисляется по формуле

$$K_{\text{эф}} = \frac{W_1}{W_2}, \quad (1)$$

где  $W_1$  – водопоглощение образцов до обработки пропиточным составом;  $W_2$  – водопоглощение образцов после проведения работ.

По данным предприятия-производителя после нанесения ПАБ «Дорсан» коэффициент эффективности пропитки асфальтобетонных покрытий должен быть не менее 1,2.

Разработаны технологические схемы защиты и восстановления асфальтобетонных покрытий пропиточным составом ПАБ «Дорсан»:

- технологическая схема восстановления и защиты асфальтобетонного покрытия при нанесении пропиточного состава механизированным способом при наличии дефектов глубиной до 2 мм (при больших объёмах работ);

- технологическая схема восстановления и защиты асфальтобетонного покрытия при нанесении пропиточного состава механизированным способом на покрытие с локальными дефектами в виде углублений до 5 мм и

с наличием шелушений (при больших объёмах работ с локальными дефектами);

- технологическая схема защиты асфальтобетонного покрытия с применением пропиточного состава при нанесении его механизированным способом на свежее уложенное покрытие (при больших объёмах работ);

- технологические схемы восстановления и защиты асфальтобетонного покрытия пропиточным составом при нанесении ручным способом на покрытие глубиной до 2 мм и с локальными дефектами в виде углублений до 5 мм (при небольших объёмах работ) [1].

Как показывают исследования, применяемый для пропитки асфальтобетонных покрытий пропиточный состав ПАБ «Дорсан» позволяет осуществить профилактическую защиту на начальной стадии локальных дефектов при неудовлетворительных показателях по водонасыщению. Этот состав предназначен для защиты асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог.

Актуальность применения пропиточного состава для защиты и восстановления асфальтобетонных покрытий обусловлена тем, что она позволяет продлить межремонтные сроки основного ремонта, который предусматривает проведение ямочного ремонта и ликвидацию других дефектов покрытия.

Проведенные исследования показывают, что применение пропиточного состава ПАБ «Дорсан» является эффективным методом профилактической защиты и восстановления асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог на начальной стадии образования локальных дефектов.

Установлено, что показатели свойств состава (условная вязкость 25-30 С, температура хрупкости не выше минус 5°C, массовая доля летучих веществ 87%, время отверждения 2 часа) соответствуют предъявляемым требованиям и обеспечивают технологичность его применения в различных дорожно-климатических условиях.

Механизм действия пропиточного состава заключается в его способности проникать в поры и микротрещины асфальтобетона за счет химического сродства с битумным вяжущим. Активные компоненты состава вступают во взаимодействие с битумом, «омолаживают» его, восстанавливая пластичные и упругие свойства, а после отверждения образуют на поверхности и в приповерхностном слое мембранное покрытие, препятствующее проникновению воды, газов и агрессивных сред – 1-3. Это подтверждается показателем коэффициента эффективности пропитки, ко-

торый должен составлять не менее 1,2, что свидетельствует о снижении водонасыщения обработанного покрытия.

Разработанная технологическая последовательность производства работ включает подготовительный этап (установка ограждений, очистка покрытия, подготовка состава), основные операции (розлив состава механизированным или ручным способом, равномерное распределение, россыпь песка при необходимости) и контроль качества. Важным условием эффективности является выполнение работ при температуре не ниже +5°C на сухом и чистом покрытии, а при низких температурах – предварительный подогрев состава до 50-60°C.

Представленные технологические схемы позволяют дифференцированно подходить к выбору способа производства работ в зависимости от объемов и характера дефектов: при больших объемах и дефектах глубиной до 2 мм применяется механизированный розлив; при наличии углублений до 5 мм – механизированный розлив с заполнением дефектов смесью состава с песком; при небольших объемах работ используется ручной способ нанесения.

Экономическая эффективность применения пропиточного состава ПАБ «Дорсан» обусловлена возможностью продления межремонтных сроков на 2-3 года, что позволяет отодвинуть проведение более затратных видов ремонта (ямочный ремонт, устройство слоев износа). Кроме того, состав устойчив к воздействию солевых растворов, кислот, щелочей, нефтепродуктов, что особенно важно

при эксплуатации покрытий в условиях современного интенсивного движения – 1.

Таким образом, применение пропиточного состава ПАБ «Дорсан» рекомендуется для профилактической защиты асфальтобетонных покрытий на участках с повышенным водонасыщением («мокрые пятна»), на стыках полос и рабочих швах, локальных участках с начальными признаками шелушения и выкрашивания.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение долговечности обработанных покрытий в различных климатических зонах и оптимизацию режимов нанесения состава в зависимости от состояния асфальтобетона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меренцова, Г. С. Повышение трещиностойкости и эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: монография / Г. С. Меренцова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018. – 107 с.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: adio-06@mail.ru;

**Латарцев Кирилл Артёмович** – студент группы С-24 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kiry5858@mail.ru;

**Медведев Никита Владимирович** – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: adio-06@mail.ru.

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТРЕЩИНОПРЕРЫВАЮЩИХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСЕТКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Г. С. Меренцова, В. И. Пиряев, Н. В. Медведев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул

*Рассматривается проблема повышения трещиностойкости асфальтобетонных покрытий при реконструкции автомобильных дорог с использованием трещинопрерывающих прослоек из геосетки. Выполнен анализ современных технологий армирования асфальтобетонных слоев геосинтетическими материалами, систематизированы технологические параметры устройства прослоек в зависимости от типа основания. Определена оптимальная последовательность работ: подготовка основания, розлив вяжущего, крепление геосетки и укладка асфальтобетонной смеси. Описан механизм работы прослойки, заключающийся в восприятии геосеткой растягивающих напряжений и снижении их концентрации в опасных зонах.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожное покрытие, асфальтобетонное покрытие трещинопрерывающая прослойка, геосетка, реконструкция.

### Введение

Проблема преждевременного разрушения дорожных покрытий, обусловленного развитием трещин, остается одной из наиболее актуальных в дорожной отрасли. При реконструкции автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием особую сложность представляет явление отраженного трещинообразования, при котором дефекты существующего покрытия или основания копируются в новом слое. Отраженные трещины не только ухудшают ровность и эстетическое восприятие покрытия, но и служат путями для проникновения атмосферной влаги, что приводит к дальнейшему разрушению дорожной конструкции и существенно сокращает межремонтные сроки [1].

В мировой практике накоплен значительный опыт применения геосинтетических материалов для борьбы с отраженным трещинообразованием.

Геосетки, как класс геосинтетики, выполняют функцию армирования и перераспределения напряжений в зонах концентрации деформаций, обеспечивая так называемый «трещинопрерывающий» эффект [2]. Принцип действия трещинопрерывающей прослойки основан на восприятии геосеткой растягивающих напряжений, возникающих в асфальтобетоне при температурных колебаниях и транспортных нагрузках, и перераспределении их на большую площадь, что препятствует выходу трещины на поверхность покрытия [3].

В Российской Федерации технология устройства трещинопрерывающих прослоек

регламентируется рядом нормативных документов. Согласно стандарту предприятия СТП 008-99, трещинопрерывающая прослойка представляет собой конструктивный элемент дорожной одежды, состоящий из армирующего полотна (геосетки) и вяжущего, и может устраиваться как локально (над отдельными трещинами), так и сплошным армированием на всей площади покрытия. Технологический регламент на армирование асфальтобетонных покрытий геосетками из стекловолокна подтверждает, что многолетний отечественный и зарубежный опыт свидетельствует об увеличении срока службы армированного покрытия в 2-3 раза [4].

Эффективность применения геосеток подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями. В работах Correia с соавторами на основе четырехточечных изгибных испытаний с применением цифровой корреляции изображений было показано, что образцы, армированные геосинтетикой, выдерживают значительно большее количество циклов нагружения до разрушения по сравнению с контрольными образцами, а коэффициент снижения деформаций достигает значений 0,07-0,36 [5]. Исследования корейских ученых продемонстрировали, что применение георешеток в комбинации с полимер-модифицированными асфальтобетонами обеспечивает максимальную задержку развития отраженных трещин.

Обзор современных стратегий борьбы с отраженным трещинообразованием систематизирует различные подходы и подтверждает, что применение геосинтетических мате-



риалов является одним из наиболее эффективных методов увеличения срока службы ремонтируемых покрытий. Международный опыт, накопленный за последние три десятилетия, включая успешные примеры применения геосеток на аэродромах и автомагистралях в различных климатических условиях, свидетельствует о высокой надежности данной технологии [3].

Несмотря на наличие обширной нормативной базы и положительных результатов зарубежных исследований, вопросы оптимизации параметров трещинопрерывающих прослоек применительно к условиям реконструкции автомобильных дорог в конкретных климатических зонах остаются недостаточно изученными.

Требуют уточнения такие аспекты, как влияние типа геосетки и ее механических характеристик на эффективность сдерживания трещин в зависимости от интенсивности движения и температурного режима эксплуатации.

Целью настоящей работы является исследование эффективности применения трещинопрерывающих прослоек из геосетки при реконструкции автомобильных дорог и оценка их влияния на повышение трещиностойкости дорожных покрытий.

#### **Материалы и методы**

Исследование эффективности применения трещинопрерывающих прослоек из геосетки при реконструкции автомобильных дорог проводилось на основе анализа существующих технологических решений и нормативной документации, регламентирующей применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве.

В качестве объекта исследования рассматривалась технология устройства трещинопрерывающих прослоек при реконструкции участков автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием. Предметом исследования являлись технологические параметры укладки геосетки, включая подготовку основания, розлив вяжущего и крепление полотен геосетки.

При проведении исследований применялись следующие материалы:

- геосетки различных типов, предназначенные для армирования асфальтобетонных слоев;
- битумное вяжущее (вязкий битум и битумная эмульсия) для обеспечения адгезии между слоями дорожной одежды;
- крепежные элементы (дюбели с шайбами, металлические скобы) для фиксации геосетки на основании.

Методология исследования включала:

- анализ нормативно-технической документации, в том числе ОДМ 218.5.001-2009 «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоёв усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте автомобильных дорог»;

- изучение технологических параметров устройства трещинопрерывающих прослоек при различных типах основания (асфальтобетонное, цементобетонное, щебеночная смесь, укрепленная цементом);

- систематизацию требований к подготовке поверхности, розливу вяжущего и креплению геосетки в зависимости от типа основания.

- анализ конструктивных решений дорожных одежд с применением трещинопрерывающих прослоек, включая армирование стыков при уширении дорожной одежды.

Оценка эффективности применения геосеток производилась на основе анализа механизма восприятия растягивающих напряжений, возникающих в асфальтобетонном покрытии при температурных деформациях и транспортных нагрузках, а также способности геосетки снижать концентрацию напряжений в зонах потенциального трещинообразования.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

При реконструкции автомобильных дорог для устранения трещинообразования целесообразно применять трещинопрерывающие прослойки из геосеток. При этом не возникают трещины в асфальтобетонных покрытиях и в стыках уширения асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог. В результате армирования стыка предотвращается появление трещин при уширении дорожной одежды.

Анализ технологических параметров устройства трещинопрерывающих прослоек из геосетки показал, что эффективность армирования асфальтобетонных покрытий в значительной степени зависит от соблюдения последовательности выполнения работ и правильности выбора материалов для каждого типа основания.

Технологическая последовательность укладки геосетки при реконструкции дорожных покрытий включает три основных этапа: подготовку основания, розлив вяжущего и крепление полотен геосетки с последующей укладкой асфальтобетонной смеси.

Одним из способов замедления появления трещин в асфальтобетонном покрытии является армирование трещинопрерываю-

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТРЕЩИНОПРЕРЫВАЮЩИХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСЕТКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

щей прослойкой из геосетки. Геосетка воспринимает растягивающие напряжения, возникающие в асфальтобетонном покрытии, что способствует снижению трещинообразования.

Применение технологии армирования дорожных одежд геосеткой целесообразно снижения трещинообразования асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Эта технология может применяться при реконструкции существующих автомобильных дорог.

Трещинообразование асфальтобетонных покрытий возникает при наличии слоев оснований дорожных одежд из цементобетона или материалов, укрепленных цементом. От этих оснований происходит копирование трещин в асфальтобетонное покрытие. Для снижения трещинообразования рекомендовано применение трещинопрерывающей прослойки из геосетки, при этом снижается концентрация напряжений в покрытии. Геосеткой воспринимаются растягивающие напряжения, возникающие в асфальтобетонном покрытии, что способствует снижению его трещинообразования.

Устройство дорожной одежды автомобильных дорог с укладкой геосетки на слой основания осуществляется в следующей технологической последовательности:

- проводится подготовка основания с разливом битумного вяжущего;
- осуществляется укладка геосетки на слой основания, от которого происходит трещинообразование в асфальтобетонном покрытии (цементное или из материалов, укрепленных цементом).

Укрепление геосетки в слой основания проводится с применением крепежных элементов в виде дюбеля с шайбой. Затем проводится укладка асфальтобетонной смеси слоя покрытия асфальтоукладчиком с последующим уплотнением катками. Реализация описанных выше технологических рекомендаций позволит снизить трещинообразование асфальтобетонных покрытий при применении геосетки при реконструкции автомобильных дорог.

Для получения положительных результатов применения этой технологии необходимо соблюдать технологические параметры устройства трещинопрерывающей прослойки из геосетки.

Вначале выполняется подготовка основания. Характер подготовительных работ определяется типом существующего основания. Для асфальтобетонных оснований требуется очистка поверхности от пыли и грязи, а также

заделка трещин и дефектов покрытия. При наличии цементобетонного основания, помимо очистки поверхности, необходимо устранять дефекты плит и производить герметизацию швов. Для оснований из щебеночной смеси, укрепленной цементом, достаточно механической очистки поверхности и устранения локальных дефектов.

Качество подготовки основания непосредственно влияет на адгезию геосетки с нижележащим слоем и равномерность распределения напряжений в армирующей прослойке. Особое внимание следует уделять зонам стыков и примыканий, где наиболее вероятно возникновение концентраторов напряжений.

Для обеспечения надежного сцепления геосетки с основанием производится розлив вяжущего. Битумная эмульсия наносится с нормой розлива  $0,6 \text{ кг/м}^2$  при температуре, соответствующей требованиям технологии. Вязкий битум применяется при температуре  $140-160^\circ\text{C}$ , что обеспечивает повышенную адгезию к основанию за счет лучшего проникновения в микронеровности поверхности.

Выбор типа вяжущего определяется климатическими условиями производства работ, состоянием основания и требованиями к срокам схватывания. Применение вязкого битума предпочтительно при высоких требованиях к прочности сцепления, однако требует более тщательного контроля температурного режима.

Далее выполняется крепление полотен геосетки. Фиксация геосетки на основании осуществляется с применением крепежных элементов, тип и параметры которых зависят от вида основания. На асфальтобетонных и цементобетонных основаниях крепление производится дюбелями с шайбами с шагом, установленным технологией производства работ. Для оснований из щебеночной смеси применяются металлические скобы длиной не менее 120 мм, обеспечивающие надежную фиксацию в сыпучем материале.

Особое значение имеет армирование стыков при уширении дорожной одежды (рисунк 1). В зонах сопряжения старого и нового покрытия возникают максимальные растягивающие напряжения, обусловленные различием в деформационных характеристиках материалов и возможной неравномерностью осадки. Укладка геосетки в зоне стыка позволяет перераспределить напряжения на большую площадь и предотвратить появление трещин по линии сопряжения.

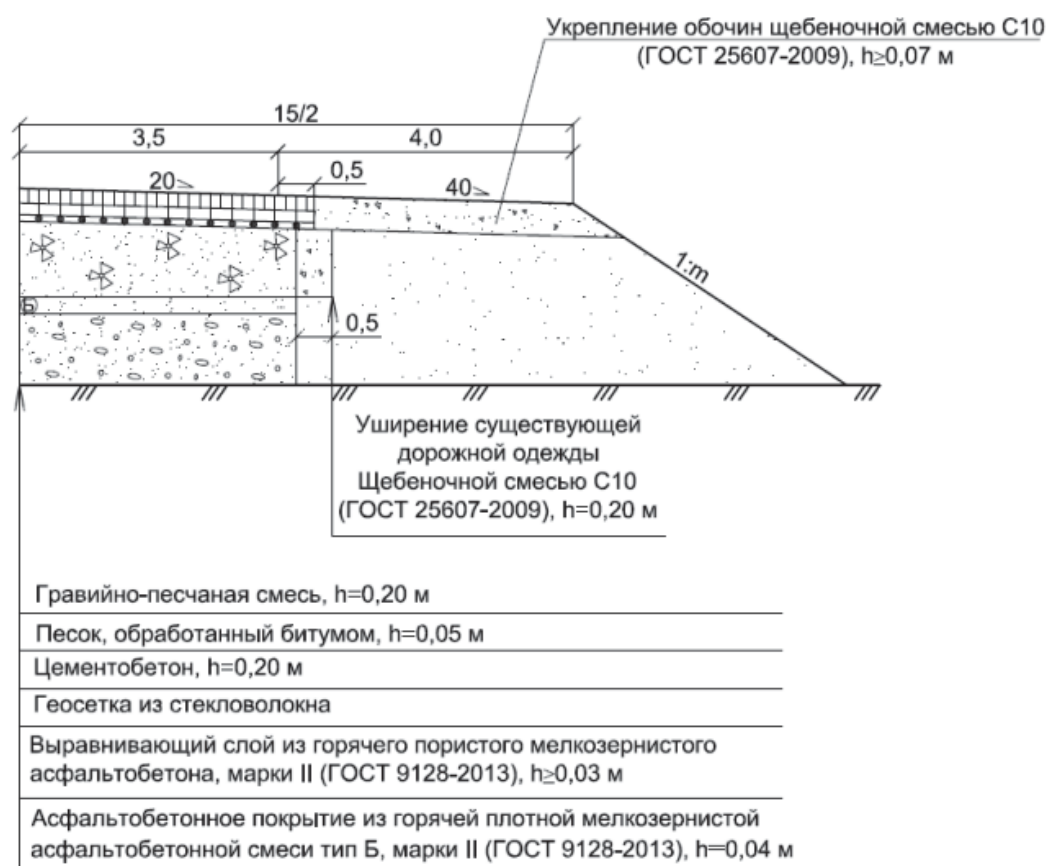


Рисунок 1 – Армирование стыка для предотвращения появления трещин при уширении дорожной одежды

Механизм работы трещинопрерывающей прослойки заключается в следующем: при возникновении растягивающих напряжений в асфальтобетонном покрытии (вследствие температурных колебаний или воздействия транспортных нагрузок) геосетка, обладающая высоким модулем упругости, воспринимает часть этих напряжений, снижая их концентрацию в наиболее опасных зонах. Это особенно важно при наличии подстилающих слоев из цементобетона или материалов, укрепленных цементом, от которых происходит копирование трещин в вышележащие асфальтобетонные слои.

Анализ конструктивных решений дорожных одежд с применением трещинопрерывающих прослоек показывает, что геосетка может укладываться как локально – над отдельными трещинами и в зонах стыков, так и сплошным слоем на всей площади покрытия. Выбор схемы армирования определяется технико-экономическими показателями и требованиями к долговечности реконструируемого участка.

Таким образом, соблюдение технологических параметров устройства трещинопрерывающей прослойки из геосетки, включая

правильную подготовку основания, выбор типа вяжущего и способа крепления, а также точное выполнение технологической последовательности работ, позволяет существенно снизить трещинообразование асфальтобетонных покрытий при реконструкции автомобильных дорог.

Применение данной технологии способствует увеличению межремонтных сроков и повышению эксплуатационной надежности дорожных одежд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park, T. S. Performance of Geogrids for Retarding Reflection Crack of Asphalt Overlay Pavement / T. S. Park, S. D. Lee, J. H. Park, Y. J. Kim // Journal of the Korean Society of Civil Engineers. – 2005. – Vol. 25, No. 3D. – P. 463-469.
2. Correia, N. S. Influence of different paving geosynthetics on crack growth phases and strain behavior in asphalt overlays / N. S. Correia, A. L. C. S. Bernardinelli, K. M. Santos, A. Shahkolahi // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 644. – Article 03012.
3. Jasim, S. A. Minimizing the phenomena of reflection cracks. A review / S. A. Jasim, H. M. Al-Mousawi, A. I. M. Nassar // Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences. – 2025. – Vol. 28, No. 4. – P. 505-513.

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ  
ТРЕЩИНОПРЕРЫВАЮЩИХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСЕТКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

4. How geogrids prevent roads from cracking and extend road lifespan // Geosynthetics Magazine. – 2025. – February 12. – URL: <https://geosyntheticsmagazine.com/2025/02/12/how-geogrids-prevent-roads-from-cracking-and-extend-road-lifespan/> (дата обращения: 19.02.2026)

5. Технологический регламент на армирование асфальтобетонных покрытий геосетками из стекловолокна. – Введ. 2002-04-10. – М. : Министерство транспорта РФ, 2002. – 24 с.

6. Меренцова, Г. С. Повышение трещиностойкости и эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: монография / Г. С. Меренцова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018. – 107 с.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Пиряев Василий Иванович** – студент группы С-24 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [v.i.piryaev04@mail.ru](mailto:v.i.piryaev04@mail.ru);

**Медведев Никита Владимирович** – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru).

УДК 625.832.620.193.725.083

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПО ПОВЫШЕНИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ  
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННОЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ  
ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ**

**Г. С. Меренцова, Д. В. Славгородский**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Приведены сведения по снижению трещинообразования асфальтобетонных покрытий на основаниях дорожных одежд из укрепленной портландцементом щебеночно-песчаной смеси. Указаны причины трещинообразования асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог на основаниях дорожных одежд из укрепленной портландцементом щебеночно-песчаной смеси. От этих оснований копирование трещин в асфальтобетонное покрытие. Для снижения трещинообразования рекомендовано применение трещинопредотвращающей прослойки из геосетки напряжения в асфальтобетонном покрытии. Приведена технология устройства дорожной одежды с укладкой геосетки на слой щебеночно-песчаной смеси, укрепленной портландцементом.*

**Ключевые слова:** трещинообразование, геосетка, асфальтобетонное покрытие, основание, щебеночно-песчаная смесь, портландцемент, дорожная одежда, отраженные трещины, трещинопредотвращающая прослойка, отраженные трещины.

В современном дорожном строительстве особую актуальность приобретает задача снижения преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий. Развитие трещин в процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий является одной из основных причин их преждевременного разрушения.

Трещинообразование в асфальтобетонных покрытиях остается одной из ключевых проблем дорожного строительства. Особенно актуальна эта проблема при устройстве покрытий на основаниях из укрепленных портландцементом щебеночно-песчаных смесей, где наблюдаются отраженные трещины, воз-

никающие вследствие температурных температурных деформаций и циклического нагружения.

Трещинообразование в слоях из щебеночно-песчаных смесей укрепленных цементом часто связано с морозным пучением и температурно-влажностными факторами. Вода в порах при замерзании создаёт избыточное давление, приводящее к разрушению структуры материала.

При изменении температуры воздуха материалы дорожной одежды расширяются или сжимаются. Поскольку асфальтобетон и укрепленный цемент щебеночно-песчаная



смесь имеют разные коэффициенты линейного температурного расширения, на границе слоёв возникают касательные напряжения.

Также многократное прохождение тяжёлых транспортных средств вызывает циклические изгибающие напряжения в слоях дорожной одежды. Со временем в материале накапливаются микрповреждения, перерастающие в макротрещины.

В процессе гидратации портландцемента происходит химическое связывание воды и уменьшение объёма цементного камня. Это вызывает внутренние растягивающие напряжения и микротрещинообразование. При нагреве или охлаждении слои дорожной одежды деформируются неодинаково. На границе асфальтобетона и ЦПС укрепленной портландцементом возникают сдвиговые напряжения, которые нарушают адгезию между слоями и ускоряют усталостное разрушение.

Все указанные причины трещинообразования в цементоукрепленных слоях под асфальтобетонным покрытием неизбежно приводят к формированию отражённых трещин – процессу, при котором дефекты нижнего слоя распространяются вверх, затрагивая вышележащий слой (рисунок 1).

Механизм появления отражённых трещин связан с комбинированными перемещениями (горизонтальными и вертикальными) в толще асфальтобетонного слоя, который опирается на жёсткое цементосодержащее основание. Эти смещения создают зоны концентрации напряжений на границе двух разнородных материалов. Ключевой причиной формирования отражённых трещин выступает существенное различие физических характеристик контактирующих материалов:

- неодинаковые коэффициенты температурного расширения;

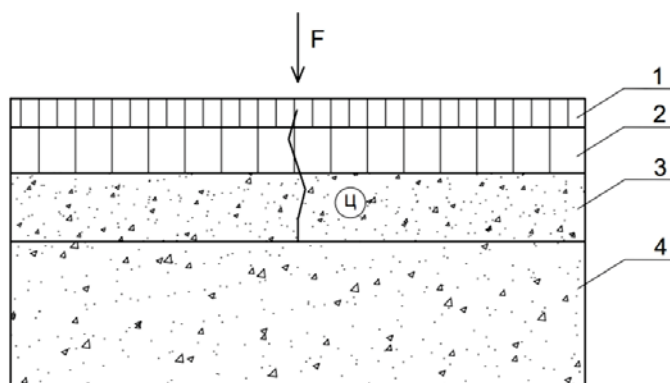
- разные модули упругости;  
- несовпадающие показатели прочности и деформативности.

В результате при эксплуатационных нагрузках и климатических воздействиях на границе слоёв возникают сдвиговые напряжения, зоны отрыва и очаги зарождения микротрещин, которые постепенно трансформируются в макроскопические дефекты.

Таким образом, отражённые трещины представляют собой прямое следствие физико-механической несовместимости асфальтобетона и цементоукрепленного основания при комплексном воздействии эксплуатационных и природных факторов.

Снижение трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях на основаниях из укрепленного портландцементом щебёночно-песчаной смеси достигается за счёт комплексного подхода, включающего модификацию состава смеси, технологические решения и конструктивные меры. Основные методы направлены на повышение морозостойкости, деформативности и прочности материалов, а также на предотвращение распространения трещин из основания в покрытие.

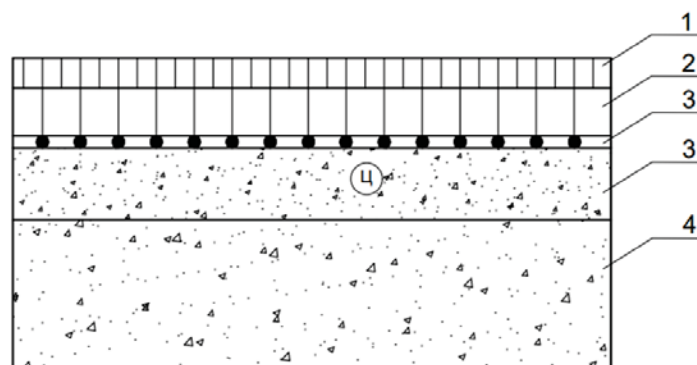
Главный недостаток дорожных одежд с основаниями из материалов укрепленных портландцементом заключается в феномене копирования трещин: дефекты, возникающие в нижнем (цементосодержащем) слое, закономерно распространяются вверх – в асфальтобетонное покрытие. Для снижения концентрации напряжений над трещинами в жёстких или полужёстких основаниях наиболее эффективной и технологически простой мерой выступает устройство трещинопрерывающей прослойки между покрытием и основанием.



1, 2 – верхний и нижний слой покрытия из асфальтобетона; 3 – слой, укрепленный цементом; 4 – слой основания

Рисунок 1 – Распространение отражаемой трещины

# ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННОЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ



1,2 – верхний и нижний слой покрытия из асфальтобетона; 3 – трещинопрерывающая прослойка из геосетки; 4 – слой укрепленный цементом; 5 – слой основания

Рисунок 2 – Армирование дорожной одежды

Примером такой прослойки является использование геосинтетических материалов. Устранение отраженных трещин на покрытиях дорожных одежд может быть достигнуто при помощи их армирования геосетками. Главная задача использования геосеток заключается в том, чтобы гарантировать стабильную работу автомобильной дороги либо её отдельных компонентов в непростых условиях как при возведении, так и в процессе эксплуатации.

Кроме того, применение геосеток оправдано при наличии технологических или экономических преимуществ перед классическими методами строительства. Внедрение трещинопрерывающих прослоек из геосеток способствует повышению эксплуатационной надёжности и продлеванию срока службы дорожной конструкции либо её элементов, упрощению технологии строительства, сокращению сроков возведения объекта, снижению расходов традиционных дорожно-строительных материалов, улучшению качества выполняемых работ и уменьшению материалоемкости всей конструкции дорожной одежды [2].

Использование геосеток способствует экономии на реконструкции и обеспечивает увеличение межремонтного периода дорожных одежд в полтора-два раза, что сопровождается снижением затрат на ремонт и содержание автомобильных дорог.

Используемая технология армирования предотвращает появление температурных и отраженных трещин в верхнем слое, за счет принятия геосеткой на себя части горизонтальных усилий, которые возникают при температурных и механических воздействиях, что способствует повышению несущей способности и увеличению долговечности покрытия. За счет распределяющей способно-

сти геосеток увеличивается рабочая зона нижних слоев покрытия и основания, устраняет в них пиковые (разрушающие) напряжения. Кроме того, геосинтетические материалы способны выполнять дополнительную функцию гидроизоляции, ограничивая проникновение влаги в нижележащие слои и тем самым снижая риск морозного разрушения и коррозионных процессов. Конструкция дорожной одежды с устройством прослойки из геосетки показана на рисунке 2.

Использование геосинтетических прослоек в конструкции дорожной одежды не приводит к значительным изменениям в стандартной технологии строительных работ. Отличительные черты данной технологии – это дополнительная операция по укладке геосетки и изменения устройства слоев непосредственно контактирующих с прослойкой. Однако дополнительная операция по укладке, как правило, не замедляет строительный процесс, так как удобная форма поставки (преимущественно в рулонах), обеспечивает простоту монтажа и лёгкую интеграцию в общий рабочий процесс [3].

Прослойка из геосетки под слоем асфальтобетонного покрытия, укладывается по всей ширине основания: сначала по одной половине, потом по другой.

Подготовка основания для монтажа геосетки включает обязательную очистку поверхности от загрязнений и пыли. Для этого используют подметально-уборочную машину с механической щёткой, выполняя 1-2 прохода по одному следу. При этом поверхность основания должна быть выровненной – недопустимо наличие колеи, выбоин, ям и прочих неровностей, которые могут помешать корректной укладке армирующей прослойки.

Укладка геосетки осуществляется сразу после нанесения вяжущего материала. Для основного розлива применяются автоудро-

Таблица 1 – Сравнение дорожных одежд с использованием геосеток и без них

| Критерий сравнения                            | Дорожная одежда с основанием, укрепленным цементом (без прослойки)                                                            | Дорожная одежда с основанием, укрепленным цементом, и трещинопрерывающей прослойкой из геосетки                                                                    |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Несущая способность                           | Определяется прочностью ЩПС укрепленной цементом и асфальтобетона.                                                            | Повышается за счёт армирования: снижается риск проломов и колеиности.                                                                                              |
| Долговечность                                 | Срок службы ограничен скоростью накопления повреждений в зоне контакта слоёв.                                                 | Межремонтный период увеличивается на 30-50 % (по данным исследований).                                                                                             |
| Первоначальные затраты                        | Ниже (нет расходов на геосинтетику).                                                                                          | Выше на 10-15 % (стоимость материала + монтаж).                                                                                                                    |
| Совокупные расходы в долгосрочной перспективе | Выше из-за частых ремонтов, вызванных трещинами.                                                                              | Ниже за счёт:<br>а) сокращения частоты ремонтов;<br>б) продления межремонтных интервалов;<br>в) снижения потребности в капитальном ремонте. Окупаемость – 3-5 лет. |
| Область применения                            | Дороги с низкой и средней интенсивностью движения, временные подъездные пути, участки с умеренными климатическими нагрузками. | Магистраль, городские улицы с высокой нагрузкой, зоны с резкими температурными перепадами, участки над местами ремонта старых трещин.                              |
| Преимущества                                  | Простота технологии, низкие начальные затраты.                                                                                | Повышенная трещиностойкость, увеличенная долговечность, сниженные эксплуатационные расходы, улучшенная несущая способность.                                        |
| Ограничения/недостатки                        | Быстрый износ из-за отражённых трещин, высокие долгосрочные затраты на ремонт.                                                | Дополнительные трудозатраты на укладку геосетки, повышенные начальные вложения.                                                                                    |

наторы. При выполнении работ необходимо соблюдать температурный режим: битум должен иметь температуру в диапазоне от 140 до 160°C. Процесс розлива организуется на половине ширины проезжей части. При этом важно обеспечить, чтобы ширина распределяемого вяжущего превышала ширину будущей прослойки на 0,15-0,20 м.

Рулоны геосетки доставляют к месту укладки непосредственно перед началом работ. Затем их размещают вдоль участка производства работ с интервалом, соответствующим длине полотна в каждом рулоне. Укладку выполняют путём ручной раскатки рулонов. Для этого задействуют звено из трёх дорожных рабочих. После раскатки первых метров краевую часть полотна (по ширине) фиксируют с помощью крепёжных элементов длиной 120-130 см и шайб 40×40 см или 45×45 см (в зависимости от ширины полотна). В процессе дальнейшей раскатки полотно разравнивают, обеспечивая небольшое продольное натяжение.

Через каждые 10-12 м выполняют дополнительное крепление. Это необходимо для того чтобы предотвратить смещение полотна под нагрузкой, исключить сдвиг при укладке вышележащего слоя и сохранить предварительное натяжение геосетки. Полотна укладывают с нахлёстом в продольном направлении – не менее 0,15 м и в поперечном направлении – не менее 0,10 м. После завершения фиксации полотен проводят подкатку ручным катком. Эта операция обеспе-

чивает надёжное сцепление геосетки с основанием и устраняет локальные подёмы (волны) полотна.

Асфальтобетонную смесь подвозят к месту производства работ непосредственно по уже уложенной геосетке, не нарушая ее целостности и не загрязняя ее.

Асфальтобетонные смеси должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологическому регламенту, утвержденному предприятием-изготовителем [1]. При этом особое внимание уделяется регулированию режима перемещения автотранспорта, доставляющего асфальтобетонную смесь и качеству смонтированной прослойки – она должна плотно прилегать к основанию без образования волн и складок даже при движении асфальтоукладчика. На участке с уже уложенной геосеткой непосредственно перед асфальтоукладчиком осуществляют дополнительный розлив битума на прослойку. При этом необходимо выдерживать расстояние по потоку в пределах 1,5 м.

Таким образом, использование конструкции дорожной одежды с трещинопрерывающей прослойкой и геосетки имеет ряд преимуществ, полученных в результате сравнения дорожных одежд с использованием геосеток и без них, описанных в таблице 1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфаль-

# ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВАНИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННОЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ

тобетонные и асфальтобетон. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200173320> (дата обращения: 12.02.2026).

2. ОДМ 218.5.001-2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонта автомобильных дорог. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200075828> (дата обращения: 12.02.2026).

3. Меренцова, Г. С. Повышение трещиностойкости и эксплуатационной надежности асфальто-

бетонных покрытий автомобильных дорог: монография / Г. С. Меренцова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018.- 107 с.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Славгородский Данил Вячеславович** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: [daniilka4890@gmail.ru](mailto:daniilka4890@gmail.ru).

УДК 625.7

## ЗАЩИТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОТ ИЗНОСА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Г. С. Меренцова, С. И. Смеляк**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В данной статье приведены сведения о защите асфальтобетонных покрытий в процессе эксплуатации автомобильных дорог. Описаны способы защиты асфальтобетонных покрытий от износа с применением поверхностных обработок и защитных слоев износа. Приведены виды поверхностных обработок для защиты асфальтобетонных покрытий от износа и их назначение. Даны технологические рекомендации по устройству слоев износа с применением поверхностных обработок и защитных слоев износа.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, слой износа, поверхностная обработка, асфальтобетонное покрытие, защита покрытий, виды поверхностных обработок, влага, обработки, устройство, эксплуатация.

Износ асфальтобетонных покрытий является важной проблемой, касающейся как дорожной инфраструктуры, так и безопасности дорожного движения. Этот процесс определяется множеством факторов, включая нагрузки от транспорта, климатические условия, качество материалов и технологий, применяемых на этапе строительства и ремонта. Чтобы глубже понять проблему, следует рассмотреть основные причины износа и его последствия. Основным фактором, способствующим износу, является нагрузка от автомобилей и других транспортных средств. Растущая интенсивность грузоперевозок и пассажирского транспорта, а также увеличение массы современных машин приводят к повышенному давлению на дорожное полотно. В результате, под воздействием динамических и статических нагрузок, возникают деформации и трещины, которые со временем приводят к ухудшению состояния. Влия-

ние температуры, осадков и других климатических факторов также играет значительную роль.

В регионах, где наблюдаются резкие температурные перепады, асфальтобетонные покрытия подвержены расширению и сжатию, что способствует образованию трещин. Дождь и снег могут накапливаться в трещинах и растрескивать материал при замерзании, что усугубляет ситуацию. Кроме того, воздействие ультрафиолетового излучения приводит к старению битумной основы, делая её менее устойчивой к механическим повреждениям. Влага выступает основным фактором разрушения, особенно в сочетании с частыми температурными перепадами, которые значительно снижают прочностные характеристики покрытия. При этом интенсивный городской и транзитный транспорт создает дополнительную механическую нагрузку, которая усугубляет эксплуатационные



дефекты, ускоряя износ дорог и способствуя образованию ям, выбоин и трещин. В связи с этим, возникает необходимость разработки методов, способных эффективно продлить срок службы асфальтобетонных покрытий с минимальными затратами и воздействием на эксплуатационные характеристики дорог.

Одним из перспективных направлений является использование микробитумополимерных пропиток, которые обладают способностью восстанавливать и усиливать битумную матрицу, а также создавать влагозащитный барьер в верхнем слое дорожного полотна. В частности, пропиточный состав «Дорсан» представляет собой инновационный материал, сочетающий в себе модифицированные битумы и полимерные добавки, что улучшает адгезию, эластичность и устойчивость покрытия к агрессивным воздействиям окружающей среды.

Цель работы состоит в том, чтобы систематически исследовать влияние микробитумополимерных составов на состояние асфальтобетонных покрытий при различных климатических условиях, оценить эффективность технологии с учётом температуры и влажности, а также разработать рекомендации по оптимальному применению этих материалов на практике. Для достижения данной цели предусмотрен комплексный анализ существующих методов защиты дорожных покрытий, в том числе традиционных и современных технологий, с выявлением их достоинств и ограничений.

Учитывая сочетание перечисленных выше факторов – разработка рациональных технологических решений, способных снизить скорость износа и увеличить срок службы асфальтобетона, становится необходимым условием для устойчивого развития дорожной инфраструктуры и повышения безопасности движения.

Современная отрасль дорожного строительства стремится к интеграции инновационных технологий, направленных на повышение долговечности и экономической эффективности дорог, с минимальным экологическим воздействием. Одним из ключевых мировых трендов является разработка материалов и конструкций, способных к самовосстановлению, что значительно снижает затраты на текущие ремонты и продлевает срок эксплуатации покрытий. В частности, внедрение нанокапсул, содержащих полимерные компоненты, которые при появлении трещин активируются и запечатывают дефекты в кратчайшие сроки, демонстрирует высокий потенциал для снижения издержек и повы-

шения надежности дорожных полотен. Современные методы защиты асфальтобетонных покрытий представляют собой разнообразный комплекс технологий, направленных на предотвращение износа, проникновения влаги, а также воздействия ультрафиолетового излучения и температурных колебаний. В основе традиционных подходов лежит обработка поверхности битумсодержащими составами – эмульсиями и праймерами.

Микробитумополимерные пропиточные составы представляют собой специальные композиции, базирующиеся на битуме с добавлением полимерных компонентов, что обеспечивает комплексную защиту асфальтобетонных покрытий. Основной функцией таких составов является проникновение в поры и микротрещины асфальтобетона с последующим заполнением пустот и химическим соединением с битумной матрицей. Это улучшает пластичность связующего и повышает гидрофобность поверхности. Для нанесения микробитумополимерных пропиток требуется подготовленная, очищенная и сухая поверхность покрытия с расчищенными трещинами глубиной не менее 1 см.

Преимущества микробитумополимерных пропиточных составов заключаются в комплексной защите асфальтобетона: они улучшают гидроизоляционные свойства покрытия, восстанавливают эластичность битума, оказывают профилактическое действие по предотвращению трещинообразования и замедляют процесс старения материала. Технология нанесения является достаточно простой, не требует сложного оборудования и может применяться на уже эксплуатируемых участках, что позволяет оперативно повысить долговечность дорог. Благодаря химической и механической совместимости с битумной матрицей, эти составы создают долгосрочный эффект, улучшая износостойкость и продлевая межремонтные сроки эксплуатации.

Технология струйно-инъекционной обработки объединяет нанесение мелкофракционного щебня на поверхность асфальтобетона с последующим пропитыванием водно-битумной эмульсией. Такой метод создает прочный защитный слой, который снижает воздействие механических нагрузок и влаги, одновременно не ухудшая сцепление колес с дорогой. Это особенно важно в условиях интенсификации транспортного потока, характерного для городских дорог [1].

Новые направления в защите включают использование полимерных растворов, которые формируют устойчивый барьер против воды и ультрафиолетового излучения. Поли-

## ЗАЩИТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОТ ИЗНОСА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

мерные покрытия увеличивают эластичность верхнего слоя, улучшая сопротивляемость возникновения микротрещин и замедляя процессы старения асфальтобетона. Регулярное нанесение таких составов позволяет частично восстанавливать битумную матрицу покрытия, тем самым продлевая межремонтные сроки эксплуатации дорог [2].

Механические методы обработки, такие как фрезерование и штампование. Эти методы позволяют обновлять верхний слой асфальтового покрытия, устраняя коррозию и ремонтируя небольшие дефекты. Фрезерование используется для удаления верхнего, поврежденного слоя до неповрежденного основания, после чего укладывается новый слой асфальта. Таким образом, восстанавливается структурная целостность покрытия, а её деформационная способность возрастает.

Особое внимание уделяется устройству защитных слоев и слоев износа, которые служат первичным барьером против механических и климатических воздействий. Слои износа изготавливаются методом литья с помощью специализированного оборудования – кохера, обеспечивающего поддержание асфальтобетона в жидком состоянии для равномерного распределения. Такие покрытия выполняются без пор, что предотвращает проникновение воды и снижает повреждения, вызываемые температурными перепадами.

Стоимость устройства слоя износа сопоставима с затратами на дополнительный слой асфальтобетона, однако дальнейший ремонт оказывается более экономичным, за счет уменьшения интенсивности разрушений.

Экономическая сторона вопроса становится значимым фактором в выборе методов защиты. Раннее восстановительное обслуживание асфальтобетонных покрытий, включая регулярное нанесение защитных составов и устройство износостойких слоев, позволяет продлить срок службы покрытия на 20% и более, что влечет за собой существенное сокращение затрат на капитальный ремонт и техническое обслуживание.

Влага снижает прочностные характеристики и приводит к интенсивному разрушению покрытия при циклах замерзания и оттаивания. Современные пропиточные материалы устраняют эту проблему за счет гидрофобизации поверхности – заполнения пор, капилляров и трещин, что препятствует проникновению воды и химических реагентов. Защита поверхностным слоем улучшает морозостой-

кость, теплоизоляцию и снижает адгезию льда, уменьшая риск образования гололеда, что особенно актуально для климата с суровыми зимами.

Несмотря на разнообразие существующих технологий, многие традиционные методы оказываются недостаточно эффективными в условиях регионов, где сочетаются высокие механические нагрузки и экстремальные температурно-влажностные показатели. Это обусловлено ограниченной способностью стандартных битумных составов сопротивляться циклам промерзания и интенсивному водонасыщению, что вызывает ускоренное появление дефектов и требует частых ремонтов.

Отсюда вытекает необходимость выбора и адаптации инновационных и комплексных технологий защиты, учитывающих специфику местного климата и эксплуатационные особенности дорожной сети города.

Итогом является вывод, что для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий требуется применение сочетания современных пропиточных составов, эффективных защитных слоев и регулярного восстановительного обслуживания.

Выбор рациональной технологии защиты должен базироваться на комплексной оценке условий эксплуатации и учитывать экономическую целесообразность внедрения новых материалов и методов в дорожное строительство и ремонт

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков, А. Ф. Технология ремонта дорожных покрытий нежесткого типа струйно-инъекционным методом / А. Ф. Зубков [и др.]. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2018. – 201 с.
2. Меренцова, Г. С. О целесообразности использования пропиточных составов для защиты и восстановления свойств асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Г. С. Меренцова // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1. – С. 72-76.

**Меренцова Галина Степановна** – д.т.н., профессор, доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [adio-06@mail.ru](mailto:adio-06@mail.ru);

**Смеляк Светлана Игоревна** – студент группы 8Сад-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: [sveta2000\\_20@mail.ru](mailto:sveta2000_20@mail.ru).

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ Renga

Д. Д. Павлов, М. Н. Корницкая

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В условиях бурного роста и сложности современных строительных проектов возрастает потребность во внедрении точных и автоматизированных методов проектирования инженерных систем. Светотехнические расчёты и проектирование электроснабжения требуют учёта множества параметров: от нормируемых показателей освещённости до правильного расчета прочности проводников. Использование BIM решений, в частности платформы Renga, позволяет объединить эти расчёты в единую цифровую модель, тем самым снижая риски ошибок и сокращая сроки проектирования. В данной статье основной целью является описание методики выполнения светотехнического расчёта, расчёта проводников и проектирования электроснабжения в программе Renga, а также демонстрация её эффективности для комплексного проектирования зданий. Основными методами исследования в данной работе являются: анализ и применение нормативной документации, моделирование электрической сети, методика выполнения светотехнического расчета, расчет проводников и определение основных этапов моделирования на примере Досуговского центра в селе Анциферово Красноярского края. По результатам проделанной работы возможно определить, является ли программа Renga быстрой и удобной для выполнения работ, связанных с проектированием и расчетом электрических сетей здания.*

**Ключевые слова:** методика, светотехнический расчет, Renga, освещенность, кривая силы света, напряжение, электроснабжение, осветительный прибор, проектирование, распределительные сети.

Проектирование современных энергоэффективных и нормируемых систем освещения требует комплексного подхода, объединяющего корректный светотехнический расчёт, выбор оборудования и моделирование сети. Внедрение BIM-технологий, в частности использование среды Renga, позволяет интегрировать эти задачи в единый цифровой процесс, повышая точность и сокращая время проектирования.

В данной работе рассматривается создание сети электроснабжения для Досуговского центра в селе Анциферово Красноярского края.

### **Подбор светильников и светотехнический расчет.**

В качестве осветительных приборов были выбраны светильники из каталога Renga [1]:

1) светильник LED VARTON 36 Вт (595×595) 4200 Лм / 4000 К встр./накл., изображенный на рисунке 1-а;

2) светильник LED VARTON ЖКХ круг матовый 300×83 25 Вт 2500 Лм / 5000 К, изображенный на рисунке 1-б;

3) светильник LED VARTON 12 Вт 1200 Лм / 5000 К матовый (224×90×52), изображенный на рисунке 1-в;

4) Светильник LED T-LINE VARTON 36 Вт 3700 Лм / 4000 К (1174×70×90) изображенный на рисунке 1-г.

Для проведения светотехнического расчета в Renga есть BIM-шаблон, расположенный на официальном сайте Renga [1]. Светотехнический расчет применяет данные модели Renga, экспортированные в формат CSV. Он даёт возможность рассчитать среднюю освещенность в помещениях модели по методу коэффициента использования светового потока и определить необходимое количество светильников. Расчет проводится в Microsoft Excel.

Перед тем как приступить к расчету средней освещенности методом коэффициента использования светового потока, необходимо подготовить модель и экспортировать файлы модели в формат CSV [2].

Подготовка модели Renga перед экспортом в CSV.

1. Необходимо установить по 1 осветительному прибору в каждом рассчитываемом помещении, на проектной высоте.

2. Добавить для **Стилей осветительных приборов** следующие пользовательские свойства (с соответствующими типами данных):



Рисунок 1 – Выбор светильников

- «Потребляемая мощность» (тип данных – Действительное число);
- «Общий световой поток светильника» (тип данных – Действительное число);
- «Коэффициент мощности» (тип данных – Действительное число).

Данные свойства должны быть настроены для экспорта с CSV, для этого в диалоговом окне **Свойства объектов** включить опцию ☒ **Экспортировать значения свойства в CSV**.

3. Для определения индекса помещения, ввести расчетные характеристики помещений, содержащихся в модели, и значения пользовательских свойств:

- «Искусственная освещенность (общее)» (тип данных – Целое число);
- «Высота рабочей поверхности» (тип данных - Длина).

Требуется установить эти свойства помещениям и настроить для экспорта с CSV (включить опцию «Экспортировать значения свойства в CSV»). Вышеуказанные параметры свойств также должны быть назначены всем помещениям модели, в которых необходимо произвести расчет освещенности. Для этого применяется плагин «Обозреватель модели», в котором на вкладке **«Свойства»** вносим необходимые параметры. Параметр «Искусственная освещенность» задается согласно СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение» [3].

4. Данные модели экспортировать в формат CSV, выполняя действия:

- скачать BIM-шаблон Renga «Светотехнический расчет»,
- копировать таблицу в папку, содержащую CSV-отчеты по исходной модели.

5. Открыть таблицу. На листе «Параметры» должны отобразиться пути к исходным данным в таблице «Путь к исходным данным (автоопределение)». На листе «Параметры», изображенном на рисунке 2, выполнить настройки расчета:

- в таблице «1. Способ освещения» выбрать «Светодиодными лампами»;

- в таблице «2. Среда использования светильников» выбрать «б) с нормальными условиями среды»;

- в таблице «3. Эксплуатационная группа светильников» в соответствии с Табл. Д.1 СП 52.13330.2016 – Эксплуатационные группы светильников выбрать 4 группу;

- в таблице «4. Светильник» выбрать из списка светильник, количество которого необходимо рассчитать в проекте. Список формируется автоматически по данным, содержащимся в файле «Осветительные приборы.csv», при загрузке файла расчета в Excel.

- в таблице «5. Типовая кривая силы света по ГОСТ 17677-82...» выбрать из списка типовую кривую силы света (КСС), наиболее подходящую КСС выбранного осветительного прибора. Для определения КСС светильника используем каталоги производителей светильников или для определения типовой КСС можно щелкнуть на изображении (Черт. 2 ГОСТ 17677-82), чтобы перейти на лист «Типовые КСС».

- в таблице «6. Коэффициенты отражения поверхностей помещения...» выбрать из предложенного списка значения коэффициентов, подходящие отделке проектируемых помещений, в нашем случае в модели отсутствует отделка, поэтому возьмем значения 70-50-30.

Для актуализации данных необходимо перейти в меню «Данные» и нажать кнопку «Обновить всё».

После обновления на листе «Расчет» будет сформирован отчет, представленный на рисунке 3.

По результатам расчета будет получено необходимое количество осветительного оборудования на каждое помещение. Далее в модели устанавливаются светильники в соответствии с расчетами и обновляется таблица, после этого рассчитывается потребляемая всеми светильниками мощность.



Расчет средней освещенности методом коэффициента использования светового потока

Путь к исходным данным (автоопределение):

4 D:\Renga\выгрузка ренга\Уровни.csv

5 D:\Renga\выгрузка ренга\Помещения.csv

6 D:\Renga\выгрузка ренга\Осветительные приборы.csv

1. Способ освещения:

светодиодными лампами

2. Среда использования светильников:

б) с нормальными условиями среды

3. Эксплуатационная группа светильников:

4

4. Светильник:

светильник LED VARTON 36Вт (595\*595) 4200Лм/4000К

5. Типовая кривая силы света по ГОСТ 17677-82 (иллюстрация - ссылка)

D2

Черт.2 ГОСТ 17677-82.  
Типы кривых силы света  
(в канделах,  
для светового потока  
светильника Ф(св)=1000 лм)

6. Коэффициенты отражения поверхностей помещения (потолок-стены-пол/ПП):

70-50-30

Коеф. отраж., %

Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами 70  
Побеленные стены при незащищенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях;  
чистый бетонный и светлый деревянный потолок 50  
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами;  
стены, оштукатуренные светлыми обоями 30  
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор;  
красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями 10

Таблица Д.1 СП 52.13330.2016 – Эксплуатационные группы светильников

Рисунок 2 – Лист «Параметры» для задания параметров светотехнического расчета

Расчет светильников\_v2.1 - Microsoft Excel (Свой активации продукта)

Файл

Главная

Вставка

Разметка страницы

Формулы

Данные

Рецензирование

Вид

Font PDF

Power Query

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Ито

Рисунок 3 – Результаты светотехнического расчета

Согласно СП 256.1325800.2016 «СП31-110-2003. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», суммарные потери напряжения от вводно-распределительного устройства здания до наиболее удаленных светильников не должно превышать 3%, а до прочих потребителей – не более 4%. При длине электропроводки от ВРУ здания до нагрузки более 100 м, эти потери напряжения допускается увеличивать на 0,005% на каждый последующий (более 100) метр электропроводки, но не более чем на 0,5% [4].

Для расчетов можно применить плагин для Renga от САПР-Альфа «Альфа СЭ», но САПР-Альфа не предоставляет учебные ли-

цензии, поэтому требуемые расчеты были произведен в средствах электронных таблиц, поддерживающих формат CSV.

Потери напряжения вычисляются через момент нагрузки по формуле (1)

$$\Delta U\% = \frac{M}{C \cdot F}, \quad (1)$$

где М – момент нагрузки, кВт·м; С – коэффициент, зависящий от материала проводника и напряжения сети (в нашем случае материал проводника медь, напряжение сети 220 В, С=13); F – площадь сечения проводника, мм<sup>2</sup>.

Момент нагрузки вычисляется по формуле (2)

$$M = P \cdot L, \quad (2)$$

где  $P$  – мощность, кВт;  $L$  – длина участка, м.

На рисунке 4 приведена таблица для расчета потери напряжения. По результатам расчетов для освещения подобран кабель сечением  $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$  для сетей внутреннего электроснабжения и  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$  для распределительных сетей. Марка кабеля ВВГнг(А)-LS-660. Изображение кабеля и расшифровка маркировки приведены на рисунке 5.

#### Проектирование электроснабжения

Начинается с определения места установки основных элементов, таких как: осветительные приборы, выключатели, розетки и распределительные коробки. Размещать их можно только на стенах, перекрытиях, колоннах и балках, как показано на рисунке 6, но такая привязка не всегда удобна (например: при удалении стены также происходит удаление размещенных на этом элементе электрических сетей). Предпочтительно перед проектированием электрических сетей в модели сначала расставить мебель, если речь идет о жилых помещениях, или оборудование в промышленных зданиях.

Размещение осветительных приборов на стенах, не вызывает никаких сложностей, в 3D-виде данную процедуру можно выполнять быстро и просто, интерфейс интуитивно понятен. Но размещение осветительных приборов на потолке, доставляет некоторые неудобства.

Чтобы разместить осветительный прибор на потолке, необходимо смотреть на модель снизу, как изображено на рисунке 7, для этого требуется скрывать ненужные элементы или изолировать нужные, что в свою очередь заметно замедляет процесс проектирования.

Также после скрытия элементов не отмечено место, где они находились, что мешает точной расстановке светильников. Изменение же визуального стиля на «каркас» усложняет работу проектировщика.

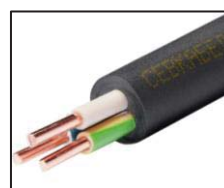
После размещения осветительных приборов выбирается место установки распределительного электрического щита и распределительных коробок. Сначала задаются необходимые стили электрической линии. После этого расставляются связи между объектами с использованием редактора стилей электрической линии.

При автоматическом построении трассы возможны ошибки, которые необходимо исправлять вручную.

Аналогичным образом выбираются места установки розеток и строятся трассы до них, как показано на рисунке 8.

| Исходные данные:                            |                     |
|---------------------------------------------|---------------------|
| Коэффициент $S$ для Al, 400В                | 46,00               |
| Коэффициент $S$ для Cu, 400В                | 77,00               |
| Коэффициент $S$ для Cu, 230В                | 13,00               |
| Длина линии, L-м                            | 70,00               |
| Сечение кабеля, F-мм <sup>2</sup>           | 1,50                |
| Мощность, Pp-кВт                            | 0,10                |
| Момент нагрузки, M-кВт-м                    | 7                   |
| Расчет потери напряжения:                   |                     |
| $\Delta U\% = M/(c \cdot F) \cdot Al, 400В$ | 0,1                 |
| $\Delta U\% = M/(c \cdot F) \cdot Cu, 400В$ | 0,1                 |
| $\Delta U\% = M/(c \cdot F) \cdot Cu, 230В$ | 0,4                 |
|                                             | Вписывается вручную |
|                                             | Готовые результаты  |

Рисунок 41 – Таблица расчета потерь напряжения



Расшифровка маркировки кабеля: В – изоляция из ПВХ пластика; В – оболочка из поливинилхлоридного пластика; Г – без защитного покрова; нг(А) – не распространяет горение при групповой прокладке по категории А; LS – с пониженным дымо- и газовыделением;

Рисунок 5 – Кабель ВВГнг(А)-LS-660

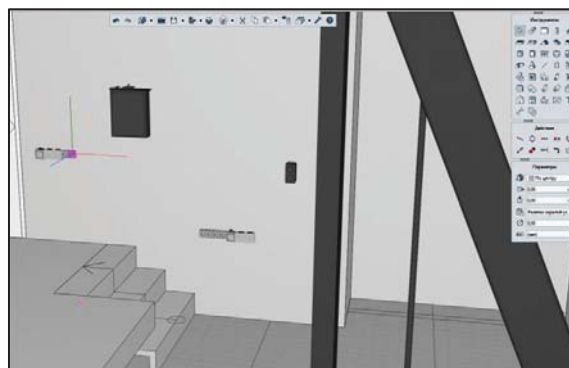


Рисунок 6 – Размещение розетки

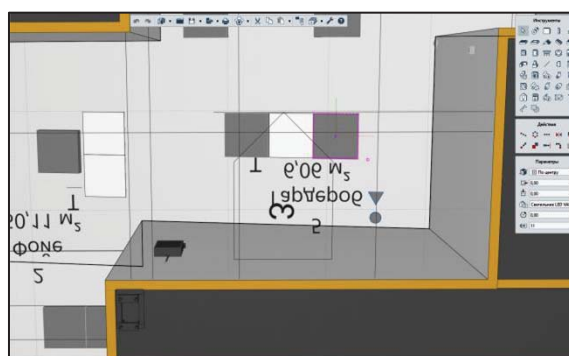


Рисунок 7 – Размещение осветительных приборов на потолке путем поворота модели

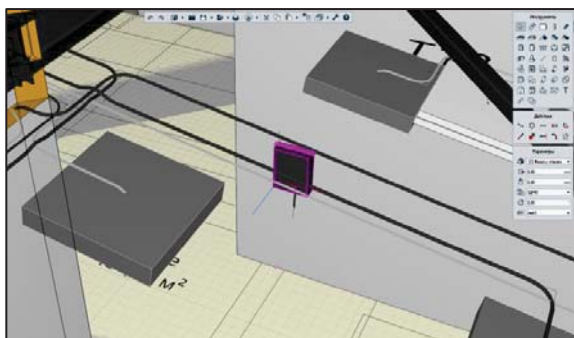


Рисунок 8 – Установка распределительного электрического щита

### Заключение

Несмотря на недостатки в части удобства расстановки оборудования на потолке и отсутствия электрических расчётов внутри системы Renga, применение BIM-среды в совокупности со специализированными шаблонами и табличными редакторами позволяет выполнить полный цикл проектирования систем освещения и электроснабжения: от выбора светильников и нормируемого светотехнического расчёта до определения сечений проводников и непосредственного построения сети в трёхмерной модели.

Предложенная методика демонстрирует возможность интеграции различных этапов проектирования, что способствует снижению ошибок и обеспечивает согласованность данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Renga: BIM-система для инженера по электрическим сетям [Электронный ресурс] // [rengabim.com](https://rengabim.com). – URL: <https://rengabim.com/mer-electrika/?ysclid=mlhvr9gasx856182023> (дата обращения: 14.12.2025).
2. Практическое руководство пользователя Renga: [Электронный ресурс]. – URL: <https://manual.rengabim.com/index.html> (дата обращения: 18.12.2025).
3. СП 52.13330.2016. СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение»: введ. 2017-05-08; послед. ред. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 13.12.2025). – Режим доступа: свободный.
4. СП 256.1325800.2016. СПЗ1-110-2003 – Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа: введ. 2017-03-02; послед. ред. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения 13.12.2025). – Режим доступа: свободный.

**Павлов Данил Дмитриевич** – студент группы 8Соим-41 ФБГОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [pavka2031@gmail.com](mailto:pavka2031@gmail.com);

**Корницкая Маргарита Николаевна** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФБГОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [kornic\\_stud@mail.ru](mailto:kornic_stud@mail.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК НА ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ РЕГИОНА

К. С. Панюков, И. В. Носков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен комплексный анализ применения армированных грунтовых подушек (АГП) в качестве эффективного метода подготовки оснований на лессовых просадочных грунтах. Рассмотрены принципы работы, конструктивные решения, методика расчета и производства работ. На основе натурных наблюдений и данных полевых испытаний дана оценка эффективности технологии в сравнении с традиционными методами борьбы с просадочностью. Особое внимание уделено влиянию типа геосинтетического материала, толщины подушки и плотности отсыпки на деформационные и прочностные характеристики искусственного основания.*

**Ключевые слова:** армированная грунтовая подушка, лессовые грунты, просадочность, осадка, геосинтетика, уплотнение, несущая способность, модуль деформации, локальное просадочное давление.

Строительство на лессовых просадочных грунтах, широко распространенных во многих регионах, сопряжено с высокими рисками развития неравномерных и чрезмерных осадок при замачивании [1].

Традиционные методы борьбы с просадочностью, такие как глубинное уплотнение, замачивание, силикатизация или устройство свайных фундаментов, зачастую требуют значительных материальных и временных затрат.

В этой связи поиск экономически эффективных и технологичных решений для нового строительства, особенно объектов I и II уровня ответственности, остается актуальной задачей.

Армированная грунтовая подушка (АГП) представляет собой многослойную конструкцию из уплотненного грунта, усиленную прослойками геосинтетических материалов (геотекстиль, геосетка, георешетка) [2].

Данная технология позволяет решить две ключевые проблемы: перераспределить напряжения от фундамента на большую площадь основания и предотвратить или минимизировать проявление просадочных свойств нижележащего лессового массива за счет собственной высокой несущей способности и жесткости.

**1. Принцип действия и конструктивные особенности армированной грунтовой подушки на просадочных грунтах**

АГП работает как гибкая, но прочная распределительная плита. Её эффективность основана на следующих принципах:

1. Перераспределение напряжений:

грунт в подушке, работая совместно с геосинтетическими прослойками, обладает повышенным углом внутреннего трения и сопротивлением растяжению. Это позволяет «расплывать» вертикальные напряжения от подошвы фундамента, снижая их величину на контакте с просадочным лессом до значения ниже локального просадочного давления ( $P_{sl}$ ). В результате вероятность развития просадки от нагрузки сооружения исключается.

2. Армирующий эффект: геосинтетические прослойки воспринимают растягивающие усилия, возникающие в зоне максимального изгибающего момента в подушке, что предотвращает её хрупкое разрушение и увеличивает общую жесткость конструкции.

3. Дренирующая и разделительная функция: геотекстиль предотвращает взаимопроникание материала подушки и лессового основания, а также способствует отводу почвенной влаги.

Конструктивно АГП для просадочных оснований включает:

- Подготовленное основание: поверхность лессового грунта планируется и уплотняется.

- Нижняя разделительно-армирующая прослойка из геотекстиля.

- Тело подушки из послойно уплотненного непучинистого и непросадочного материала (крупный или средний песок, щебенистый грунт, гравий). Толщина подушки ( $h$ ) является ключевым расчетным параметром и обычно составляет 1-2 м.

- Одна или несколько внутренних армирующих прослоек из геосетки высокой проч-



ности, укладываемых с определенным шагом по высоте подушки.

- Верхняя армирующая прослойка под подошвой фундамента или под распределительной монолитной плитой.

## 2. Методика расчета и проектирования

Расчет АГП на просадочных грунтах проводится в два этапа:

1. Проверка условий исключения просадки от внешней нагрузки: определяется расчетное давление на контакте подушки с лессовым основанием ( $\sigma$ ).

Требуется соблюдение условия:  $\sigma \leq P_{sl}$ , где  $P_{sl}$  – локальное просадочное давление лессового грунта, определяемое по данным испытаний. Толщина подушки ( $h$ ) подбирается так, чтобы это условие выполнялось.

2. Расчет несущей способности и деформаций самой армированной грунтовой подушки: производится с учетом совместной работы грунтового заполнителя и геосинтетических арматур.

Используются методы, основанные на предельном равновесии (анализ устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям с учетом момента от арматуры) и моделях упругого работающего слоя конечной толщины (модуль деформации ЕАГП).

Проверяются прочность арматуры на разрыв и её заделку в устойчивые зоны.

Рассчитывается осадка подушки под нагрузкой, которая, как правило, составляет лишь доли от возможной просадки природного основания.

## 3. Анализ эффективности на основе практического опыта региона

На основе данных, полученных при строительстве административных зданий и складских комплексов в регионе с типичной толщиной лессовой толщи 8-12 м (I тип просадочности), проведен сравнительный анализ.

Объект 1: Использована традиционная технология – глубинное уплотнение грунтовыми сваями. Снижение потенциальной просадочности достигнуто, однако общая осадка после полной загрузки составила 12-15 сантиметров, а сроки работ увеличились на 40% из-за необходимости техногенного замачивания.

Объект 2: Применена армированная грунтовая подушка толщиной 1,5 метров из уплотненного песка средней крупности с двумя прослойками полиэфирной геосетки. Расчетное давление на лессовое основание снижено с 250 кПа до 120 кПа ( $P_{sl} = 150$  кПа). Мониторинг осадок в течение 2 лет показал

стабилизацию на отметке 4-6 сантиметров без признаков неравномерности.

Ключевые преимущества технологии армированной грунтовой подушки в региональных условиях:

1. Высокая технологичность и скорость: работы не зависят от сезона, не требуют сложного оборудования и длительных подготовительных процессов (замачивание).

2. Экономическая эффективность: снижение расхода бетона и металла на фундаменты, возможность использования местных грунтов в качестве заполнителя.

3. Предсказуемость и контролируемость: параметры уплотнения каждого слоя (плотность, коэффициент) строго контролируются, что гарантирует проектные характеристики.

4. Минимальное воздействие на окружающую застройку: отсутствие динамических и вибрационных воздействий, характерных для свайных работ или глубинного уплотнения.

Ограничения:

-применима преимущественно при I типе просадочности лессовой толщи – относительно невысоком;

-требует наличия пространства для отсыпки и уплотнения;

- эффективность критически зависит от качества производства работ (уплотнения).

## 4. Сравнительная оценка с традиционными методами

Выбор метода подготовки оснований на лессовых просадочных грунтах является определяющим для обеспечения долговечности, надежности и экономической целесообразности строительства.

Ниже представлена детальная сравнительная оценка трех ключевых технологий: традиционного замачивания с глубинным уплотнением, свайных фундаментов и армированных грунтовых подушек.

1. Сравнение по принципу действия и цели.

Традиционное замачивание с уплотнением (метод предварительной просадки): это метод устранения просадочных свойств грунта в пределах всей активной зоны. Цель – вызвать и завершить просадку массива под собственным весом грунта и дополнительной пригрузкой до начала строительства. Технология воздействует на причину проблемы, кардинально меняя свойства грунтового массива.

Свайные фундаменты: это метод обхода слабого просадочного слоя. Цель – передать нагрузку от сооружения через просадочную толщу на нижележащие устойчивые, не про-

## ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК НА ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ РЕГИОНА

садочные грунты (скальные, плотные глины). Сваи работают как опоры, «прошивая» проблемную зону.

Армированная грунтовая подушка: это метод локального усиления и перераспределения. Цель – не устранять просадочность всего массива и не обходить его, а создать над ним жесткую распределительную платформу. Эта платформа уменьшает давление на контакт с лессом до безопасных значений и сама воспринимает нагрузку за счет работы армированных слоев.

2. Сравнение по технологичности и срокам производства работ.

Замачивание с уплотнением: один из наиболее длительных процессов. Требуется организации системы инфильтрационных скважин или котлованов, этапа насыщения грунта водой (недели или месяцы в зависимости от мощности толщи), последующего этапа глубинного уплотнения (грунтовыми сваями, тяжёлыми трамбовками) и обязательного периода стабилизации и контроля. Сильно зависит от сезона и климатических условий.

Свайные фундаменты: технология отработанная, но со средней скоростью. Сроки определяются типом свай (забивные, буронабивные, винтовые) и объемом работ. Забивка свай может быть быстрой, но создает динамические воздействия. Устройство буронабивных свай требует времени на бурение, установку каркаса и бетонирование. Скорость выше, чем у замачивания.

Армированная грунтовая подушка: наиболее технологичный и быстрый метод из рассматриваемых. Работы включают послойную отсыпку инертного материала (песок, щебень) с его немедленным уплотнением и укладку геосинтетических прослоек. Процесс механизирован, легко контролируем и практически не зависит от времени года. Сроки сокращаются в 1,5-2 раза по сравнению с традиционными методами.

3. Сравнение по влиянию на окружающую среду и существующую застройку.

Замачивание с уплотнением: обладает наибольшим негативным потенциалом. Масштабное замачивание может привести к изменению уровня грунтовых вод на прилегающей территории, подтоплению соседних объектов. Глубинное уплотнение создает значительные сейсмические и динамические воздействия, опасные для исторической и ветхой застройки.

Свайные фундаменты (особенно забивные): создают сильные вибрации и шум при погружении, что является критическим недостатком в условиях плотной городской за-

стройки или вблизи объектов с чувствительным оборудованием. Буронабивные сваи менее воздействуют, но требуют отвода большого объема грунта.

Армированная грунтовая подушка: является малоинвазивной и экологически безопасной технологией. Отсутствуют динамические и вибрационные воздействия, не меняется гидрогеологический режим участка. Идеально подходит для работ в стесненных условиях, вблизи существующих зданий и коммуникаций.

Каждый метод занимает свою четкую нишу. При этом армированная грунтовая подушка не является универсальной заменой сваям или глубинному уплотнению, но она становится методом выбора в условиях, где критичны скорость, экономия, отсутствие вредных воздействий и где геологические условия (I тип просадочности) позволяют ее эффективно применять.

### Выводы:

1. Армированные грунтовые подушки доказали свою высокую эффективность как экономичное и технологичное решение для подготовки оснований на лессовых просадочных грунтах при I типе просадочности.

Их применение позволяет обеспечить требуемые деформационные характеристики, исключить риск развития просадки от нагрузки сооружения и значительно сократить сроки строительства.

2. Перспективы дальнейших исследований связаны с:

- разработкой уточненных региональных методик расчета с учетом реального реологического поведения лессовых грунтов.

- изучением долговременной работы геосинтетики в агрессивных грунтовых условиях.

- внедрением цифрового моделирования (МКЭ-анализ) для оптимизации формы подушки, количества и расположения армирующих прослоек под конкретную нагрузку и конфигурацию фундамента.

- использованием новых композитных геоматериалов с улучшенными адгезионными свойствами.

3. Внедрение технологии армированных грунтовых подушек в практику регионального строительства позволит повысить надежность и снизить стоимость возведения объектов на сложных просадочных грунтах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пухаренко, Ю. В. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадоч-

ных грунтах / Ю. В. Пухаренко, Ю. Н. Заруцкий, М. В. Шершун. – М. : Изд-во АСВ, 2015. – 416 с.

2. Коробов, В. В. Геосинтетические материалы в дорожном и гражданском строительстве / В. В. Коробов, В. А. Светинский. – М. : Инфра-Инженерия, 2018. – 336 с.

**Панюков Константин Сергеевич** – аспирант кафедры «Основания, фундамен-

ты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: panyukov@gmail.com;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

УДК 624.15:624.042

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ РАСТВОРОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Н. И. Пеньков, И. В. Носков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается эффективность применения саморасширяющихся цементных растворов для усиления оснований фундаментов зданий и сооружений. Проанализированы физико-механические свойства саморасширяющихся смесей, механизмы их взаимодействия с грунтовым массивом, а также технологические особенности инъекционного закрепления оснований. Показано, что применение саморасширяющихся растворов позволяет повысить несущую способность основания, снизить неравномерные осадки и увеличить долговечность строительных конструкций. Особое внимание уделено области применения данных материалов в условиях реконструкции и усиления существующих зданий в стеснённой городской застройке. Отмечены основные преимущества и ограничения метода, а также перспективы дальнейших исследований в области оптимизации составов и технологий инъекции.*

**Ключевые слова:** саморасширяющиеся растворы, усиление фундаментов, инъекционное закрепление, основания зданий, грунты, несущая способность, деформации.

Надёжность и долговечность зданий и сооружений в значительной степени определяются состоянием их оснований и фундаментов. В условиях современной застройки, характеризующейся уплотнением городских территорий, увеличением этажности зданий и активным освоением участков со сложными инженерно-геологическими условиями, проблема усиления оснований приобретает особую актуальность. Существенная часть существующего фонда зданий эксплуатируется в условиях изменившихся нагрузок, повышения уровня грунтовых вод, а также деградации грунтовых характеристик вследствие техногенного воздействия.

Традиционные методы усиления оснований, такие как устройство дополнительных свай, расширение подошвы фундаментов или замена слабых грунтов, зачастую связаны со значительными трудозатратами, высокой стоимостью и необходимостью частичного или полного прекращения эксплуатации сооружений. В условиях плотной застройки их

применение может быть технологически затруднено или вовсе невозможно.

В этой связи особый интерес представляют инъекционные методы укрепления грунтов, основанные на введении в массив специальных растворов. Среди них саморасширяющиеся цементные растворы занимают особое место благодаря способности увеличивать объём в процессе отвердения, обеспечивая плотный контакт с грунтом и компенсируя усадочные деформации. Использование таких материалов позволяет повысить несущую способность основания, снизить неравномерные осадки (рисунок 1) и увеличить эксплуатационную надёжность фундаментов без существенного вмешательства в конструкцию здания.

### **Теоретические основы применения саморасширяющихся растворов**

Саморасширяющиеся растворы относятся к классу специальных цементных материалов, модифицированных расширяющими добавками, вызывающими контролируемое



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ РАСТВОРОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ



Рисунок 1 – Проблема слабых грунтов вблизи зданий



Рисунок 2 – Механизм расширения саморасширяющегося раствора

увеличение объема в процессе гидратации. В отличие от обычных цементных растворов, которые характеризуются усадкой при твердении, данные составы способны компенсировать усадочные деформации и создавать внутренние напряжения сжатия [1].

Механизм расширения основан на химических реакциях, протекающих при взаимодействии цементного вяжущего с водой. Наиболее распространенным является образование гидросульфата алюмината кальция (этtringита), кристаллы которого обладают значительным объемом. Их рост в замкнутом пространстве приводит к расширению цементного камня. При правильно подобранном составе расширение происходит в ранние сроки твердения и стабилизируется после набора прочности. С теоретической точки зрения эффективность применения саморасширяющихся растворов в грунтовых массивах определяется несколькими факторами: степенью ограниченности расширения, пористостью грунта, его фильтрационными свойствами и сопротивлением деформации.

В условиях ограниченного объема расширяющийся раствор создаёт активное давление на окружающий грунт, способствуя его уплотнению и перераспределению напряжений в основании фундамента (рисунок 2) [2].

### **Физико-механические свойства саморасширяющихся растворов и их влияние на грунты**

К числу основных физико-механических характеристик саморасширяющихся растворов относятся прочность на сжатие, модуль деформации, величина и скорость объемного расширения, водонепроницаемость и адгезия к грунтам и конструкционным материалам.

Эти параметры определяют возможность их применения в различных инженерно-геологических условиях. Объемное расширение раствора позволяет эффективно заполнять поры, трещины и каверны в грунтовом массиве, что приводит к снижению его пористости и повышению плотности [3]. В результате уменьшается сжимаемость грунта и повышается его несущая способность. Кроме того, расширение способствует формирова-



нию плотного контакта между цементным камнем и частицами грунта, что улучшает совместную работу укрепленной зоны.

Особое значение имеет повышение водонепроницаемости основания. Саморасширяющиеся растворы, заполняя фильтрационные каналы, снижают водопроницаемость грунтов, что особенно важно при наличии грунтовых вод. Это позволяет уменьшить размыв основания и стабилизировать гидрогеологические условия в зоне фундамента.

#### **Технология инъекционного усиления оснований саморасширяющимися растворами**

Инъекционное усиление оснований осуществляется путём нагнетания раствора в грунт через предварительно пробуренные скважины или установленные пакеры. Давление и расход раствора подбираются таким образом, чтобы обеспечить равномерное распространение материала в заданной зоне без разрушения структуры грунта.

Применение саморасширяющихся растворов позволяет отказаться от высоких инъекционных давлений, характерных для традиционной цементации, поскольку последующее расширение компенсирует недостатки первоначального заполнения [2]. Это снижает риск подъёма фундаментов и повреждения остальных конструкций.

Технология особенно эффективна при усилении оснований существующих зданий, так как может выполняться поэтапно, локально и без остановки эксплуатации сооружения [1]. Контроль процесса осуществляется по объёму введённого раствора, давлению инъекции и данным геодезического мониторинга осадок и деформаций.

#### **Оценка эффективности применения саморасширяющихся растворов**

Эффективность усиления оснований оценивается по изменению несущей способности, величине осадок и их неравномерности, а также по долговечности полученного результата [3].

Результаты экспериментальных и натурных исследований показывают, что применение саморасширяющихся растворов позволяет увеличить расчётное сопротивление основания на 20-50% в зависимости от типа грунта и технологии инъекции.

Снижение неравномерных осадок является одним из ключевых эффектов метода. За счёт локального уплотнения слабых зон происходит выравнивание деформаций основания, что особенно важно для протяжённых и жёстких конструкций. Кроме того, укрепленная зона сохраняет свои свойства в течение

длительного времени, что подтверждается наблюдениями за эксплуатируемыми объектами.

#### **Проектирование мероприятий по усилению оснований**

Проектирование усиления оснований с использованием саморасширяющихся растворов требует комплексного инженерного подхода. На первом этапе выполняется инженерно-геологическое обследование, включающее определение физико-механических свойств грунтов и характера их залегания.

При выборе состава раствора учитываются требуемая величина расширения, прочность после твердения и совместимость с грунтовой средой. Расчёт параметров инъекции должен обеспечивать достижение проектного эффекта без негативного воздействия на конструкцию фундамента.

Важным элементом проектирования является мониторинг, позволяющий корректировать технологические параметры в процессе работ.

#### **Ограничения метода и перспективы дальнейших исследований**

Несмотря на высокую эффективность, применение саморасширяющихся растворов имеет определённые ограничения. К ним относятся сложность точного прогнозирования зоны распространения раствора и необходимость строгого контроля объёма расширения. При неправильном проектировании возможно возникновение избыточных напряжений в конструкциях фундамента. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой новых составов растворов с регулируемой кинетикой расширения, а также с созданием численных моделей, позволяющих более точно прогнозировать взаимодействие раствора с грунтовым массивом. Это позволит повысить надёжность и расширить область применения метода.

#### **Сравнительный анализ саморасширяющихся растворов и традиционных методов усиления оснований**

В практике геотехнического строительства для усиления оснований фундаментов применяются различные методы, включая устройство свайных элементов, цементацию грунтов, силикатизацию, струйную цементацию и инъекционное закрепление с использованием обычных цементных растворов. Каждый из указанных методов обладает определёнными преимуществами и ограничениями, обусловленными инженерно-геологическими условиями, конструктивными особенностями зданий и требованиями к срокам выполнения работ.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ РАСТВОРОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Традиционная цементация грунтов основана на нагнетании цементных растворов с целью заполнения порового пространства и повышения прочностных характеристик основания. Однако при твердении обычных цементных растворов происходит усадка, что может приводить к образованию вторичных пустот и снижению эффективности закрепления, особенно в грунтах с высокой пористостью и неоднородной структурой. Для компенсации данного эффекта требуется увеличение объёма инъекций или применение повышенного давления, что повышает риск нарушения устойчивости основания и повреждения конструкций фундамента.

Свайные методы усиления характеризуются высокой несущей способностью, однако их применение в условиях реконструкции существующих зданий часто ограничено из-за необходимости значительных земляных работ, вибрационных воздействий и высокой стоимости. Кроме того, устройство свай в плотной городской застройке может сопровождаться негативным влиянием на соседние здания и инженерные коммуникации [3, 4].

В отличие от перечисленных методов, применение саморасширяющихся растворов позволяет обеспечить активное взаимодействие с грунтовым массивом за счёт объёмного расширения материала в процессе твердения. Это способствует уплотнению грунта, устранению усадочных деформаций и формированию прочного контакта между укрепленной зоной и основанием фундамента. Технология характеризуется меньшими инъекционными давлениями, высокой точностью воздействия и возможностью поэтапного выполнения работ без остановки эксплуатации сооружения [7].

Сравнительный анализ показывает, что саморасширяющиеся растворы являются наиболее эффективным решением при усилении оснований зданий в условиях ограниченного пространства, наличия слабых и водонасыщенных грунтов, а также при необходимости минимального вмешательства в существующие конструкции.

При этом выбор метода усиления должен основываться на результатах инженерно-

геологических изысканий и технико-экономического обоснования, учитывающего специфику конкретного объекта.

### Выводы:

1. Саморасширяющиеся цементные растворы представляют собой эффективный и технологически гибкий инструмент для усиления оснований фундаментов зданий и сооружений.

2. Применение саморасширяющихся цементных растворов позволяет повысить несущую способность грунтов, снизить неравномерные осадки и обеспечить долговечность строительных конструкций.

3. При грамотном проектировании и контроле технологии данный метод применения саморасширяющихся цементных растворов является перспективным направлением развития современной геотехнической практики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швец, В. Г. Инъекционные методы усиления оснований и фундаментов зданий / В. Г. Швец, А. А. Котов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2018. – № 4. – С. 9-15.
2. Караулов, А. М. Применение саморасширяющихся цемента при инъекционном укреплении грунтов / А. М. Караулов, С. В. Пименов // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 6. – С. 32-38.
3. Малинин, А. Г. Инъекционное закрепление грунтов в строительстве / А. Г. Малинин. – М. : Изд-во АСВ, 2009. – 284 с.
4. Романов, А. В. Усиление оснований фундаментов при реконструкции зданий / А. В. Романов, В. И. Лазарев. – М. : Стройиздат, 2011. – 256 с.

**Пеньков Никита Игоревич** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. И.Ползунова, E-mail: [pensov\\_nikita@mail.ru](mailto:pensov_nikita@mail.ru);

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [noskov.56@mail.ru](mailto:noskov.56@mail.ru).

## УЧЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В МОНОЛИТНОЙ ПЛИТЕ ПОКРЫТИЯ

**М. А. Плешакова, Г. М. Бусыгина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье описано возникновение и учет физической нелинейности работы бетона, рассмотрено моделирование нелинейной работы материала плиты покрытия монолитного каркасного здания. Приведены результаты расчета по двум типам нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями*

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, ЛИРА СОФТ, физическая нелинейность, трехлинейная зависимость, экспоненциальная зависимость, напряженно-деформированное состояние, трещины.

Железобетон остается главным материалом современного строительства благодаря доступности компонентов, технологичности и возможности возводить здания любой конфигурации. Железобетон – это композитный строительный материал, представляющий собой сочетание бетона и стальной арматуры. Идея его создания основана на работе этих двух материалов: бетон сопротивляется сжатию, а сталь – растяжению.

Железобетонная конструкция может рассматриваться как однородная и изначально анизотропная из-за наличия в ней арматурных слоев. В процессе нагружения бетон проявляет анизотропные свойства, связанные с развитием нелинейных деформаций при сохранении целостности материала, а также анизотропные свойства, связанные с образованием трещин и их развитием.

Перед разрушением (в предельном состоянии) бетон в сечениях конструкции демонстрирует ярко выраженную анизотропию. В микрообъеме материала эта анизотропия возникает из-за неодинаковой жесткости материала в разных направлениях, что является следствием нелинейного деформирования при действии неравномерных напряжений по осям. В макрообъеме анизотропия обусловлена процессом трещинообразования: жесткость бетона в направлении, перпендикулярном трещинам, становится незначительной или нулевой, тогда как вдоль трещин сохраняется высокой.

Используемые в монолитном строительстве бетонные и железобетонные конструкции необходимо рассчитывать «по предельным состояниям первой и второй групп по напряжениям, усилиям, деформациям и перемещениям с учетом физической нелинейности (неупругих деформаций бетона и арматуры)» [1, п. 5.1.2]. При расчете моно-

литных перекрытий физическую нелинейность можно учитывать введением условных понижающих коэффициентов модуля начальной упругости бетона на первой стадии расчета. Согласно СП 52-103-2007 для плит перекрытий (покрытий) при наличии трещин применяется коэффициент 0,2, а для плит перекрытий (покрытий) при отсутствии трещин 0,3, т.к. в изгибаемых плитных элементах из-за возможного образования трещин возможно существенное снижение жесткостей.

Использование одного коэффициента для всех участков рассчитываемой плиты приводит к завышенному армированию опорных зон и недостаточному армированию пролетных, т.к. жесткости участков отличаются в реальности от тех, что получаются в результате линейного расчета. При недостаточном армировании в железобетоне могут возникнуть трещины, раскрытие которых превышает нормативное. В пластинчатых элементах будут возникать значительные мембранные и изгибные усилия.

В задачах, описывающих физически нелинейное поведение материалов, связь между напряжениями и деформациями не является линейной. Работа материала конструкции характеризуется нелинейной диаграммой деформирования, которая может быть асимметричной, то есть иметь разные характеристики прочности при растяжении и сжатии.

Уточненный расчет с учетом физической нелинейности бетонных конструкций выполняется методом конечных элементов, используя, например, расчетный комплекс ЛИРА СОФТ [2], в котором используются конечные элементы пластин с учетом физической нелинейности материала (рисунок 1). Алгоритм решения реализуется с помощью шагового нелинейного процессора, который моделирует постепенное приложение нагрузки.

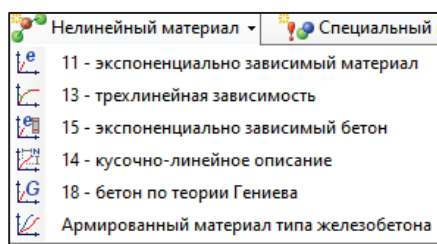


Рисунок 1 – Типы нелинейных материалов в ЛИРА СОФТ

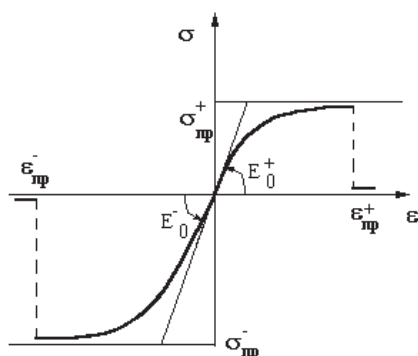


Рисунок 2 – Экспоненциальная диаграмма деформирования железобетона

На каждом этапе (шаге нагружения) процессор формирует приращение вектора узловых нагрузок и решает линеаризованную систему уравнений для этого конкретного шага с расчетом новых значений модуля Юнга и приведенного коэффициента Пуассона [3].

Задача решается в два этапа: на 1-ом этапе – в линейной постановке с подбором арматуры в плите. На 2-ом этапе новое сечение железобетонное сечение с арматурой будет рассматриваться как нелинейный материал, и задача решается нелинейным постпроцессором

Физически нелинейные элементы применяются через редактор материалов, в котором можно указывать два материала – бе-

тон и арматуру – и выбирать зависимость между напряжениями и деформациями (рисунки 2, 3)

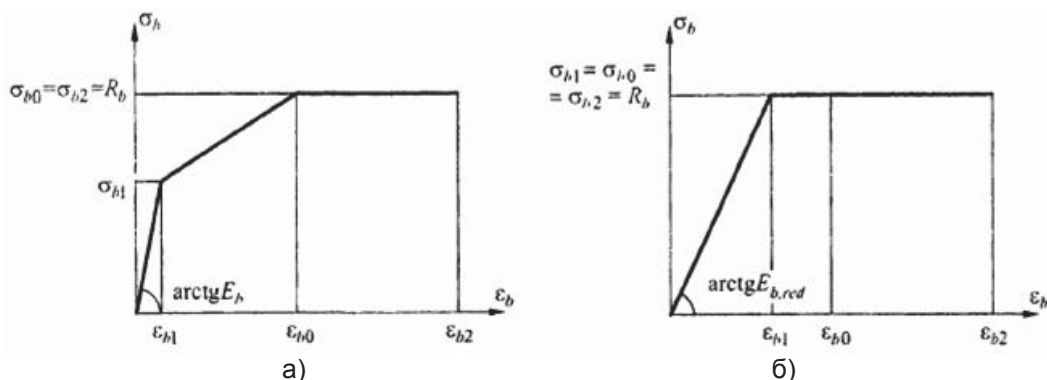
Физическая нелинейность бетона рассмотрена на примере плиты покрытия входящей в проект строительства многофункционального жилого комплекса, в рамках которого предусматривается конструктивное решение многоквартирного 25-этажного жилого дома. Здание прямоугольной формы в плане с размерами в осях  $23 \times 32$  м. Конструктивная система здания – каркасно-стенная. Общая устойчивость сооружения обеспечивается совместной работой колонн и стен, объединенных монолитными дисками перекрытия и покрытия.

Плита покрытия, приведенная в расчете (рисунок 4), задана толщиной 250 мм из бетона класса по прочности В30. Конструкция задана пластинчатыми элементами. Тип элементов – (242, 244) Физически нелинейный шаговый КЭ тонкой оболочки. Приложены 4 статических нагружения: собственный вес конструкции, снеговая нагрузка, вес кровли, вес потолка.

Предложены два варианта фрагмента плиты покрытия, отличающихся друг от друга типом материала.

В первом случае рассмотрен материал плиты покрытия, деформирующийся по трехлинейному закону деформирования по СП 63.13330.2018 [1], во втором – экспоненциальная зависимость.

Плита перекрытия моделируется конечными элементами с шестью степенями свободы в узле. При определении напряженно-деформированного состояния конструкций железобетонная оболочка рассматривается как система с изотропным физически нелинейным материалом бетона [3].



а – трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона; б – двухлинейная диаграмма состояния сжатого бетона

Рисунок 3 – Диаграммы состояния сжатого бетона



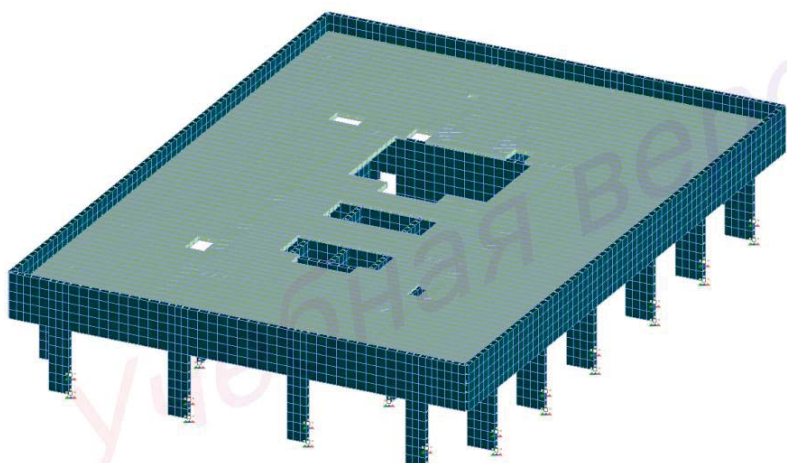


Рисунок 4 – Фрагмент расчетной схема плиты покрытия



Рисунок 5 – Перемещения



Рисунок 6 – Усилие  $M_x$

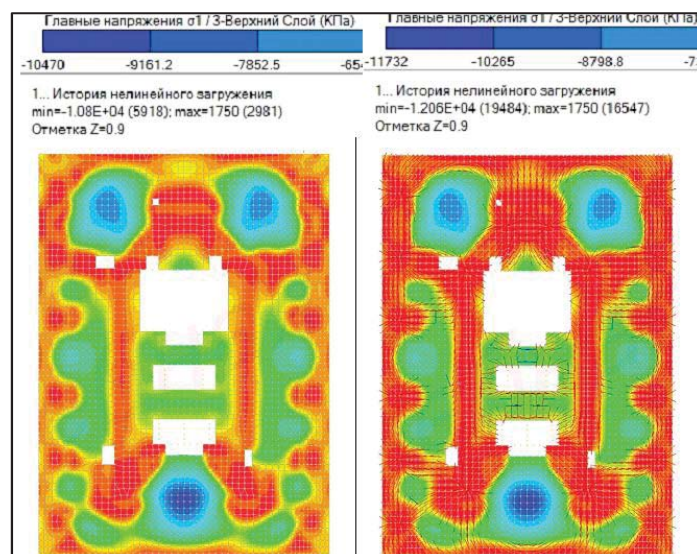


Рисунок 7 – Главные напряжения

| #     | Элем. | СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ МАТЕРИАЛА                           |
|-------|-------|----------------------------------------------------------|
|       |       | Загружение 2, Локальное загружение 5, шаг 5, KF=0.167.□  |
| 16552 | 33.   | ТРЕЩИНА НИЖНЯЯ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA1=-55.0 □  |
| 16553 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=-54.0 □ |
| 16559 | 33.   | ТРЕЩИНА НИЖНЯЯ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA1=-55.0 □  |
| 16565 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=-56.0 □ |
| 16565 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=-52.0 □ |
| 16565 | 33.   | ТРЕЩИНА НИЖНЯЯ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA1=-55.0 □  |
| #     | Элем. | СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ МАТЕРИАЛА                           |
|       |       | Загружение 2, Локальное загружение 8, шаг 30, KF=1.000.□ |
| 16552 | 33.   | ТРЕЩИНА НИЖНЯЯ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA1=-55.0 □  |
| 16570 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=-66.0 □ |
| 16622 | 33.   | ТРЕЩИНА НИЖНЯЯ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA1=0.0 □    |
| 16784 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=3.0 □   |
| 16857 | 36.   | ТРЕЩИНА ВЕРХНЯЯ ПО ВТОРОЙ ГЛАВНОЙ ПЛОЩАДКЕ ALFA2=-39.0 □ |

Рисунок 8 – Сведения из файла 13.SOLVER о наличии трещин при нагружении

Результатом расчета является напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия. Максимальное полное линейное перемещение (рисунок 5) для трехлинейной зависимости – 27,51 мм, для экспоненциальной – 30,19 мм, усилие  $M_x$  (рисунок 6) соответственно – 88,95 ((кН\*м)/м) и 89,93 ((кН\*м)/м).

Ползучесть для трехлинейной зависимости на 28 день – 26,05 мм, для экспоненциальной – 28,64 мм, на 365 день – соответственно 31,32 мм и 35,1 мм. На эпюре (рисунок 7) главных напряжений  $\sigma_1/3$  – верхний слой при экспоненциальной зависимости на схеме отображаются трещины в бетоне.

В протоколе расчета (рисунок 8) отображаются сведения о состоянии материала в процессе расчета. При появлении трещин и дальнейшего разрушения основного материала (бетона) включается арматура, конструкция не разрушается. Однако при больших нагрузках могут появляться сообщения и отображения полного разрушения и возникновения пластического шарнира.

Анализ результатов показал, что все полученные значения при нелинейном расчете

с экспоненциальной зависимостью материала больше, чем с трехлинейной зависимостью

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М. : МинСтрой России, 2018. – 143 с.
2. Руководство пользователя ЛИРА 10.12 [Электронный ресурс] – URL: [https://lira-soft.com/upload/iblock/7b9/an6bai2i3shhypwx4gdz9f0lly5daoqv/Rukovodstvo\\_pol\\_zovatelya\\_LIRA\\_10.12.pdf](https://lira-soft.com/upload/iblock/7b9/an6bai2i3shhypwx4gdz9f0lly5daoqv/Rukovodstvo_pol_zovatelya_LIRA_10.12.pdf) (дата обращения: 17.02.2026).
3. Кравченко, Г. М. Моделирование нелинейной работы бетона монолитной плиты перекрытия методом конечных элементов / Г. М. Кравченко [и др.] // Строительство и архитектура – 2019. – Т. 7. – № 3. – С. 62-66

**Плешакова Мария Алексеевна** – студент ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [m\\_pleshakova9@mail.ru](mailto:m_pleshakova9@mail.ru);

**Бусыгина Галина Михайловна** – к.э.н., доцент кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [galinab14@yandex.ru](mailto:galinab14@yandex.ru).

## ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ

**М. А. Подъяпольская, Е. В. Вербицкая, И. О. Вербицкий**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены современные подходы к повышению сейсмостойкости существующих зданий при реконструкции. Особое внимание уделено этапам обследования и поверочных расчётов, выбору рациональных конструктивных решений усиления, а также применению расчётных моделей, основанных на методе конечных элементов, с учётом физической и геометрической нелинейности. Проанализированы основные методы усиления зданий различного конструктивного типа, включая железобетонные, металлические и каменные системы. Показана роль численного моделирования при оценке эффективности проектных решений и прогнозировании поведения конструкций при сейсмических воздействиях.*

**Ключевые слова:** сейсмостойкость, реконструкция зданий, усиление конструкций, поверочный расчёт, метод конечных элементов, нелинейный анализ, обследование зданий.

Значительная часть существующего фонда зданий и сооружений была возведена в период действия устаревших нормативных документов, не учитывающих современные требования по сейсмостойкости. Особенно остро данная проблема проявляется в районах с повышенной сейсмической активностью, где эксплуатируются здания, запроектированные без учёта расчётных сейсмических воздействий либо по заниженным значениям интенсивности землетрясений.

Реконструкция и капитальный ремонт таких объектов требуют комплексного подхода, включающего обследование технического состояния, оценку фактической несущей способности конструкций и разработку мероприятий по повышению сейсмостойкости. В отличие от нового строительства, при реконструкции необходимо учитывать реальные дефекты, накопленные повреждения и особенности фактической работы конструктивной системы.

Целью настоящей работы является анализ современных конструктивных решений и расчётных моделей, применяемых для повышения сейсмостойкости существующих зданий при реконструкции, с акцентом на этапы обследования и поверочного расчёта.

Повышение сейсмостойкости невозможно без предварительного детального обследования здания, выполняемого в соответствии с требованиями ГОСТ 31937-2024 [1-4]. Обследование включает визуальный и инструментальный этапы и направлено на получение достоверной информации о фактическом состоянии конструкций и грунтов основания.

Особое значение при обследовании в сейсмических районах имеют:

- выявление трещин и деформаций, влияющих на пространственную жёсткость здания;
- оценка состояния узлов сопряжения элементов;
- определение фактических прочностных характеристик материалов;
- анализ схемы пространственной работы здания.

Результаты обследования служат исходными данными для построения расчётной модели и выполнения поверочных расчётов, по итогам которых определяется категория технического состояния здания и необходимость усиления отдельных конструктивных элементов.

Поверочный расчёт при реконструкции отличается от расчёта новых зданий тем, что расчётная схема должна максимально отражать фактическое состояние объекта. В расчёт вводятся:

- уточнённые геометрические параметры элементов;
- реальные прочностные характеристики материалов;
- выявленные дефекты и повреждения;
- фактические нагрузки и воздействия.

При сейсмическом анализе важно учитывать совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также динамический характер воздействия. В ряде случаев линейно-упругие модели оказываются недостаточными, что обуславливает необходи-



## ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ

мость применения нелинейного расчёта (рисунок 1).

Для оценки сейсмостойкости существующих зданий применяются различные типы расчётных моделей, выбор которых зависит от уровня ответственности сооружения и требуемой точности анализа. Наиболее распространёнными являются:

- расчёт по спектрам отклика (рисунок 2);
- расчёт с использованием эквивалентных статических нагрузок;
- прямой динамический расчёт по акселерограммам (рисунок 3).

Прямой динамический расчёт позволяет наиболее полно отразить реальную работу конструкции при землетрясении, однако требует значительных вычислительных ресурсов и корректного задания параметров демпфирования, масс и жёсткостей элементов.

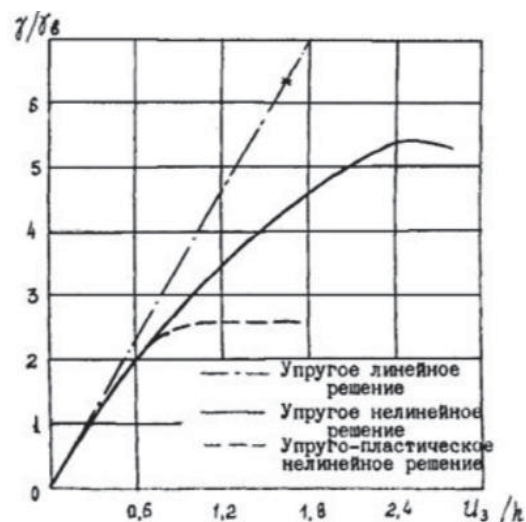


Рисунок 1 – Диаграмма напряжений

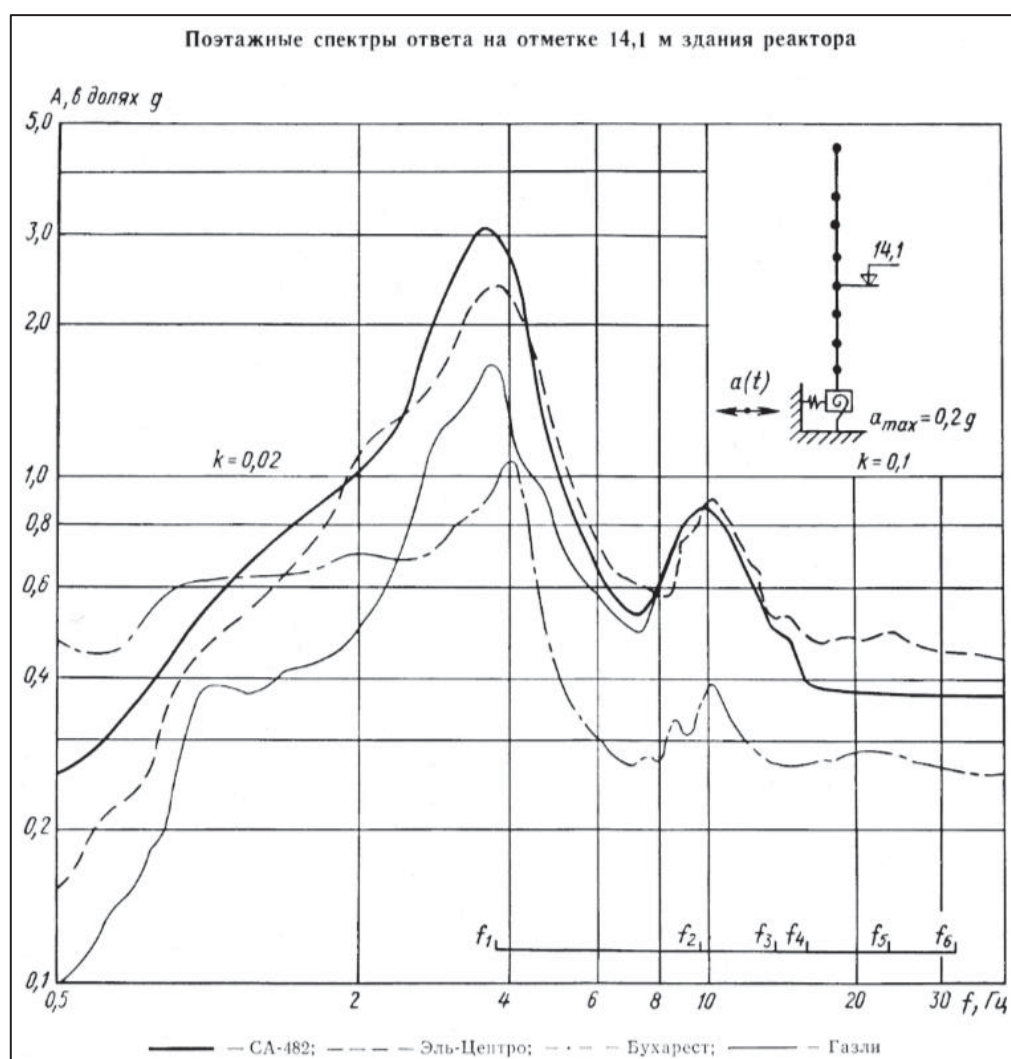


Рисунок 2 – К расчету по спектру отклика



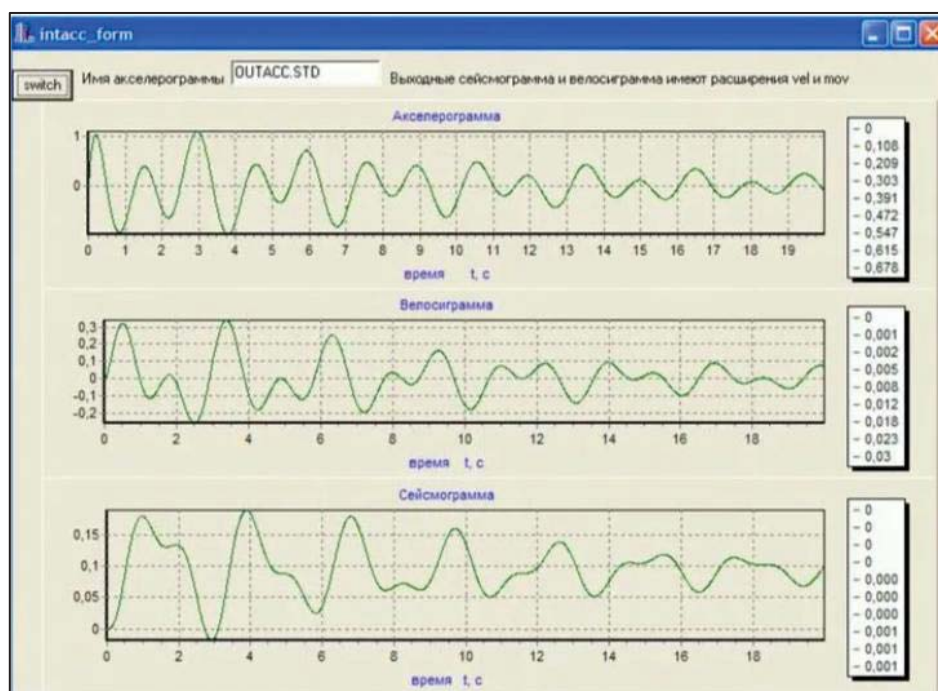


Рисунок 3 – К расчету по акселерограммам

Применение программных комплексов, реализующих метод конечных элементов, даёт возможность учитывать физическую и геометрическую нелинейность, перераспределение усилий и образование пластических зон в элементах конструкций.

Современные методы повышения сейсмостойкости существующих зданий можно условно разделить на несколько групп.

#### 1. Усиление несущих элементов

К данной группе относятся мероприятия по увеличению несущей способности отдельных элементов:

- обетонирование и устройство железобетонных рубашек;
- усиление композитными материалами;
- наращивание сечений металлических элементов;
- устройство дополнительных связей и ригелей.

Эффективность данных решений определяется не только увеличением прочности, но и изменением жёсткости конструктивной системы.

#### 2. Повышение пространственной жёсткости здания

Недостаточная пространственная жёсткость является одной из основных причин повреждений зданий при землетрясениях. Для её повышения применяются:

- устройство диафрагм жёсткости;
- усиление и замена перекрытий;

- замыкание пространственных контуров здания.

Данные мероприятия позволяют обеспечить совместную работу элементов и перераспределение усилий при сейсмическом воздействии.

Современным направлением повышения сейсмостойкости является применение систем сейсмоизоляции и демпфирования. При реконструкции такие решения применяются ограниченно, однако в ряде случаев они оказываются технически и экономически оправданными. Сейсмоизоляция позволяет снизить передаваемые на здание ускорения, изменяя динамические характеристики системы. Демпфирующие устройства, в свою очередь, способствуют рассеянию энергии колебаний и снижению деформаций элементов (рисунки 4, 5).

Для существующих зданий, особенно с выявленными дефектами и повреждениями, линейный расчёт может давать завышенную оценку несущей способности. Нелинейный анализ позволяет учитывать:

- развитие пластических деформаций;
- перераспределение усилий;
- деградацию жёсткости элементов;
- локальные разрушения.

Применение нелинейных моделей позволяет более точно оценить предельное состояние здания и эффективность предлагаемых мероприятий по усилению.

## ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ

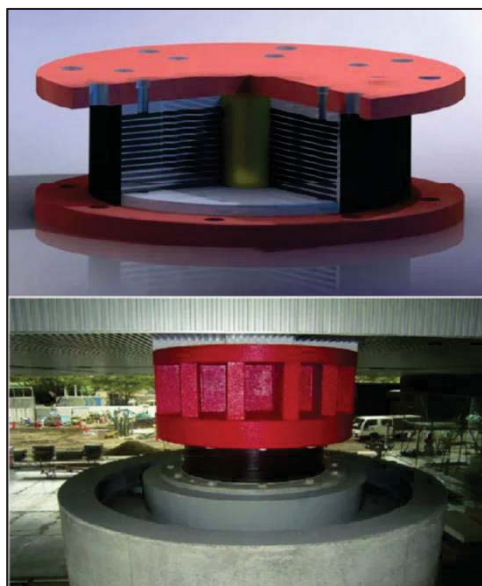


Рисунок 4 – Резинометаллические опоры

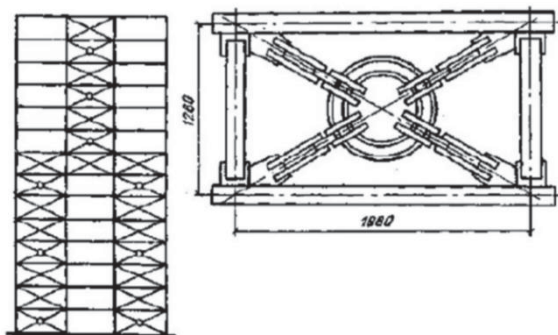


Рисунок 5 – Энергопоглотитель кольцевого типа

При расчётной оценке реконструируемых зданий, аналогично приведённым в статье-примере исследованиям, формируется пространственная конечно-элементная модель, включающая основные несущие элементы и узлы. Сейсмическое воздействие может задаваться в виде акселерограмм по нескольким направлениям с одновременным учётом вертикальной составляющей.

Анализ напряжённо-деформированного состояния позволяет выявить наиболее нагруженные зоны, определить характер разрушений и скорректировать проектные решения по усилению.

При выборе мероприятий по повышению сейсмостойкости необходимо учитывать не только расчётную эффективность, но и:

- стоимость реализации;
- трудоёмкость работ;

- влияние на эксплуатацию здания;
- сроки реконструкции.

Оптимальными являются решения, обеспечивающие требуемый уровень сейсмостойкости при минимальном вмешательстве в существующую конструктивную схему.

Повышение сейсмостойкости существующих зданий при реконструкции является сложной инженерной задачей, требующей комплексного подхода. Ключевую роль в данном процессе играют детальное обследование, корректный поверочный расчёт и применение современных расчётных моделей.

Использование программных комплексов, реализующих метод конечных элементов и нелинейный анализ, позволяет адекватно оценивать поведение конструкций при сейсмических воздействиях и принимать обоснованные проектные решения. Современные конструктивные решения усиления и сейсмоизоляции обеспечивают возможность продления срока службы зданий и повышения уровня их безопасности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах: актуализир. ред. СНиП II-7-81: дата введения 2018-05-24. – М. : Минстрой России, 2018. – 165 с.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции: актуализир. ред. СНиП 52-01-2003: дата введения 2018-12-19. – М. : Минстрой России, 2018. – 124 с.
3. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: дата введения 2024-04-10. – Москва, 2024. – 104 с.
4. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований: дата введения 2014-12-11. – Москва, 2014. – 24 с.

**Подъяпольская Мария Александровна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: mariapodyapolskaya@mail.ru;

**Вербицкая Елена Васильевна** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: alenapantushina@mail.ru;

**Вербицкий Иван Олегович** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: vanek\_007-89@list.ru.

## ОПТИМИЗАЦИЯ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРОЛЁТОВ БОЛЕЕ 60 МЕТРОВ: АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

**М. А. Подъяпольская, Е. В. Вербицкая, И. О. Вербицкий, Л. Н. Пантюшина**  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются вопросы оптимизации клеёных деревянных конструкций (КДК), применяемых в большепролётных сооружениях с пролётами свыше 60 м. Основное внимание уделено анализу несущей способности, конструктивным схемам, особенностям работы материала древесины в условиях сложного напряжённо-деформированного состояния, а также выбору рациональных конструктивных решений с учётом нормативных требований. Рассмотрены подходы к расчётному моделированию КДК с использованием современных программных комплексов инженерного анализа, основанных на методе конечных элементов, и приведены рекомендации по оптимизации сечений, узловых соединений и пространственной работы конструкций.*

**Ключевые слова:** клеёные деревянные конструкции, большепролётные сооружения, несущая способность, оптимизация конструкций, метод конечных элементов, деревянные покрытия.

Современное развитие строительных технологий сопровождается устойчивым ростом интереса к применению клеёных деревянных конструкций в зданиях и сооружениях с большими пролётами. Использование древесины, как возобновляемого и экологически эффективного материала, в сочетании с возможностями индустриального производства клеёных элементов, позволяет создавать конструкции с пролётами более 60-100 м, ранее характерные преимущественно для металлических и железобетонных систем.

Клеёные деревянные конструкции успешно применяются в покрытиях спортивных арен, выставочных павильонов, транспортных терминалов, производственных зданий и общественных пространств. При этом рост пролётов приводит к усложнению расчётных схем, повышенной чувствительности конструкций к деформациям, неравномерному распределению усилий, а также к возрастанию роли узловых соединений и пространственной жёсткости системы в целом.

В этих условиях задача оптимизации клеёных деревянных конструкций становится ключевой как с точки зрения обеспечения требуемой несущей способности и эксплуатационной надёжности, так и с позиции материалоёмкости, стоимости и технологичности изготовления.

Оптимизация предполагает комплексный подход, включающий выбор рациональной конструктивной схемы, оптимальных геометрических параметров сечений, корректный учёт реальных свойств древесины и клеевых

соединений, а также адекватное расчётное моделирование.

Целью настоящей работы является анализ современных подходов к оптимизации клеёных деревянных конструкций для пролётов более 60 м, с акцентом на оценку их несущей способности и выбор конструктивных решений, обеспечивающих эффективную работу системы в целом.

Проектирование и расчёт клеёных деревянных конструкций в Российской Федерации осуществляется в соответствии с действующей нормативной базой, основными документами которой являются:

- СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» - устанавливает общие требования к проектированию деревянных конструкций, включая проверку по предельным состояниям и учёт длительных воздействий,
- ГОСТ 20850-2014 «Конструкции клеёные деревянные. Общие технические условия» - определяет технические условия для клеёных элементов, включая требования к качеству древесины и клеевых соединений,
- ГОСТ 27751-2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований» - регулирует надёжность строительных конструкций и классификацию по уровням ответственности.

Для большепролётных сооружений особое значение приобретают требования по первой и второй группам предельных состояний, включая ограничения по прогибам, вибрациям и трещиностойкости. В отличие от



## ОПТИМИЗАЦИЯ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРОЛЁТОВ БОЛЕЕ 60 МЕТРОВ: АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

конструкций малых и средних пролётов, при увеличении длины пролёта более 60 м определяющим фактором часто становится не прочность элементов, а их жёсткость и устойчивость формы.

Нормативные документы допускают использование расчётных методов, основанных на методе конечных элементов, при условии корректного задания физико-механических характеристик древесины, коэффициентов условий работы и расчётных сочетаний нагрузок. Для уникальных и большепролётных объектов допускается применение уточнённых расчётных моделей, включая пространственные схемы и нелинейный анализ [1-3].

Для пролётов более 60 м на практике применяются различные конструктивные схемы клеёных деревянных конструкций, каждая из которых обладает своими преимуществами и ограничениями.

Наиболее распространёнными являются:

- Арочные клеёные конструкции (рисунок 1) – характеризуются эффективной работой на сжатие и позволяют снизить изгибающие моменты в элементах. Однако они предъявляют повышенные требования к опорным узлам и фундаментам из-за возникновения значительных горизонтальных распорных усилий.

- Клеёные фермы (рисунок 2) – обеспечивают рациональное распределение материала и позволяют перекрывать значительные пролёты при относительно небольшой высоте конструкции. При этом возрастает роль узловых соединений и точности их расчёта.

Пространственные рамные системы (рисунок 3) – пространственные рамные и оболочковые системы обеспечивают высокую жёсткость и устойчивость, однако отличаются повышенной сложностью расчёта и изготовления.

- комбинированные схемы с применением металлических элементов (рисунок 4).

Клеёная древесина, в отличие от цельной, обладает более однородными характеристиками и повышенной прочностью за счёт устранения дефектов и оптимальной ориентации слоёв. Тем не менее, при больших пролётах проявляются специфические особенности работы материала. К числу ключевых факторов относятся:

- анизотропия древесины;
- ползучесть при длительном действии нагрузок;
- влияние влажности и температуры;

- нелинейность деформационных характеристик;
- работа клеевых швов в условиях сложного напряжённого состояния.



Рисунок 1 – Винодельня Bodegas Protos



Рисунок 2 – Линзообразные деревянные фермы



Рисунок 3 – Строительство деревянного ангара

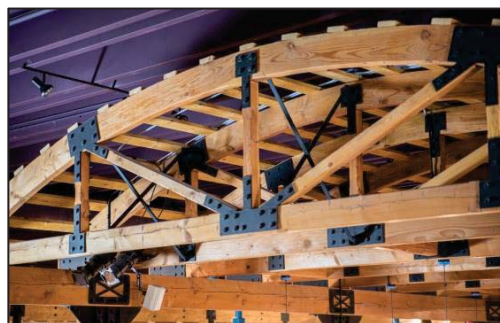


Рисунок 4 – Металлодеревянные фермы



При пролётах свыше 60 м ползучесть древесины может приводить к существенно увеличению прогибов со временем, что должно учитываться при расчётах по второй группе предельных состояний. Кроме того, неравномерное распределение напряжений по сечению может вызывать локальные зоны перенапряжения, особенно в криволинейных элементах.

Современная практика проектирования большепролётных клеёных деревянных конструкций базируется на использовании программных комплексов расчётного анализа, реализующих метод конечных элементов. Такие комплексы позволяют формировать пространственные расчётные модели, учитывать реальную геометрию конструкций, нелинейные свойства древесины, длительное воздействие постоянных нагрузок, пространственную работу конструкции.

При построении расчётной модели особое внимание уделяется:

- адекватному заданию жёсткостных характеристик элементов;
- корректному моделированию узловых соединений;
- учёту реальных опорных условий;
- заданию расчётных сочетаний нагрузок.

Для оптимизации конструкций расчётная модель должна максимально соответствовать реальной работе системы под нагрузкой. Избыточные упрощения могут привести к недооценке усилий или, наоборот, к неоправданному завышению сечений.

Одним из ключевых направлений оптимизации является подбор рациональных сечений клеёных элементов. Для большепролётных конструкций характерно использование переменных по высоте сечений, что позволяет более эффективно распределять материал в соответствии с эпюрами усилий.

Оптимизация сечений включает:

- анализ распределения изгибающих моментов и продольных сил;
- подбор высоты и ширины сечения с учётом устойчивости;
- проверку по предельным прогибам;
- учёт технологических ограничений производства.

Использование переменных сечений позволяет снизить массу конструкции без потери несущей способности, что особенно важно при больших пролётах, где собственный вес является одной из определяющих нагрузок. Узловые соединения в клеёных деревянных конструкциях играют критическую роль в

обеспечении несущей способности и надёжности всей системы. При больших пролётах узлы воспринимают значительные усилия, включая комбинации растяжения, сжатия, сдвига и изгиба.

На практике применяются:

1. металлические накладки и фасонки;
2. стержневые вклеиваемые элементы;
3. комбинированные узлы с болтовыми и клеевыми соединениями.

Оптимизация узлов заключается в снижении концентраций напряжений, обеспечении равномерной передачи усилий и повышении долговечности соединений.

Для большепролётных клеёных деревянных конструкций принципиально важным является обеспечение пространственной жёсткости и устойчивости. Недостаточная пространственная работа может привести к потере устойчивости отдельных элементов или всей системы в целом. Применение связевых систем, пространственных диафрагм жёсткости и совместной работы позволяет существенно повысить надёжность сооружения.

Оптимизация клеёных деревянных конструкций неразрывно связана с экономическими и технологическими факторами. Рациональное конструктивное решение должно учитывать:

- стоимость материала;
- сложность изготовления;
- транспортные ограничения;
- монтажные условия.

Снижение массы конструкции за счёт оптимизации приводит не только к экономии материала, но и к уменьшению нагрузок на фундаменты и опорные элементы.

Клеёные деревянные конструкции являются эффективным и перспективным решением для большепролётных сооружений с пролётами более 60 м. Их успешное применение требует комплексного подхода к проектированию и оптимизации, основанного на глубоком анализе несущей способности, особенностей работы материала и конструктивных схем.

Использование современных расчётных методов и программных комплексов позволяет адекватно оценивать напряжённо-деформированное состояние конструкций и принимать обоснованные инженерные решения. Оптимизация сечений, узловых соединений и пространственной работы конструкции обеспечивает повышение надёжности, снижение материалоемкости и экономическую эффективность проектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции: актуализир. ред. СНиП II-25-80: дата введения 2017-02-27. – М. : Минстрой России, 2017. – 103 с.
2. ГОСТ 20850-2014. Конструкции деревянные клеёные несущие. Общие технические условия: дата введения 2014-11-26. – Москва, 2014. – 18 с.
3. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований: дата введения 2014-12-11. – Москва, 2014. – 24 с.

**Подъяпольская Мария Александровна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: mariapodyapolskaya@mail.ru;

**Вербицкая Елена Васильевна** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: alenapantushina@mail.ru;

**Вербицкий Иван Олегович** – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: vaneek\_007-89@list.ru;

**Пантюшина Лариса Николаевна** – доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: pantushinaln@altgtu.ru.

УДК 624.07:69.059.22

## РАСЧЁТ СПОРТИВНОЙ АРЕНЫ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ

**М. А. Подъяпольская, А. А. Кикоть**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены вопросы расчета многофункциональной спортивной арены на прогрессирующее обрушение в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Исследование выполнено на примере большепролётного здания с металлическим покрытием пролётом 66,3 м и монолитным железобетонным каркасом. Расчёт проведён в линейной статической постановке с формированием первичной и вторичной расчётных схем. Проанализированы различные сценарии локального отказа несущих элементов покрытия, а также рассмотрен наиболее опасный случай — внезапное удаление центральной монолитной железобетонной колонны, воспринимающей нагрузку от стропильной фермы. Выполнена оценка перераспределения усилий, напряжённо-деформированного состояния и металлоёмкости конструкции при различных конструктивных решениях.*

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, спортивная арена, большепролётное покрытие, локальный отказ, перераспределение усилий, конечно-элементный метод, пространственный каркас.

Теоретические вопросы расчёта зданий и сооружений на прогрессирующее обрушение являются важной и актуальной темой в строительной отрасли, особенно в контексте растущих требований к безопасности и устойчивости зданий в современных условиях эксплуатации. Прогрессирующее обрушение представляет собой процесс, при котором локальное повреждение конструкции может вызвать цепную реакцию, приводящую к обрушению всего сооружения или значительной его части. Этот процесс может привести к катастрофическим последствиям, включая гибель людей и крупные материальные потери,

что делает изучение механизмов протекания лавинообразного обрушения особенно актуальным. Для объектов с массовым пребыванием людей, к которым относятся спортивные арены, проверка устойчивости к прогрессирующему обрушению является обязательной согласно требованиям действующих нормативных документов.

Проверка зданий на устойчивость к прогрессирующему обрушению выполняется в соответствии с действующей системой нормативного регулирования в области обеспечения надёжности строительных конструкций. Ключевым документом, определяющим по-

рядок расчёта при аварийных воздействиях, является СП 385.1325800.2018 [1], в котором изложены принципы формирования расчётных схем при локальном отказе несущих элементов. Данный свод правил на начало 2026 года имеет 4 изменения. В рамках данного свода правил [1] под прогрессирующим обрушением понимается развитие последовательного разрушения конструктивной системы вследствие локального повреждения одного из её элементов. Такой сценарий предполагает изменение статической схемы работы сооружения и может привести к существенной утрате несущей способности при отсутствии резервов перераспределения усилий.

Назначение особых сочетаний нагрузок и учёт аварийных воздействий регламентируются положениями СП 296.13330.2016 [2]. Документ устанавливает требования к расчёту зданий нормального и повышенного уровня ответственности по предельным состояниям первой группы с учётом возможных внештатных ситуаций. При этом обоснование расчётных моделей должно соответствовать требованиям ГОСТ 27751 [3], определяющего общие положения по обеспечению надёжности строительных конструкций и оснований.

Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения осуществляется при аварийной расчетной ситуации вследствие предполагаемого начального локального разрушения, приводящего к изменению конструктивной схемы. Для этого необходимо выполнить расчет вторичной расчетной схемы по особому предельному состоянию с учетом ряда критериев, обеспечив несущую способность, деформативность и устойчивость формы деформации как конструктивной системы здания и сооружения в целом, так и отдельных элементов и узлов сопряжений, за исключением удаляемого при локальном разрушении.

В настоящей работе приводится расчёт модели многофункциональной спортивной арены на прогрессирующее обрушение, в котором рассматривается сценарий локального отказа одного из основных несущих элементов. Все расчеты выполнялись с использованием программного комплекса Ли́ра-САПР 2024 [4].

На настоящий момент, по последнему изменению свода правил, основным методом расчета на прогрессирующее обрушение выступает расчет в статической постановке, согласно которому лавинообразное обрушение моделируется путем удаления из системы наиболее нагруженного элемента и проведе-

нием повторного расчета.

Условием предотвращения лавинообразного разрушения является выполнение критериев [1]:

– недопущение превышения расчётных усилий над предельной несущей способностью элементов и узлов

$$F \leq S, \quad (1)$$

где  $F$  – усилия в конструктивных элементах или их соединениях, определяемые расчётом;  $S$  – несущая способность конструктивных элементов и их соединений.

– соблюдение требований по допустимым деформациям

$$f \leq f_{ult}, \quad (2)$$

где  $f$  – деформации элемента от внешней нагрузки;  $f_{ult}$  – значение предельно допустимых деформаций элемента.

Таким образом, система считается устойчивой к развитию прогрессирующего обрушения, если после исключения элемента сохраняется её расчётная работоспособность без перехода к неограниченному разрушению.

Локальное разрушение может назначаться в любом месте здания или сооружения и не должно приводить к прогрессирующему обрушению. Сценарии локального разрушения допускается устанавливать на основе научно-технического сопровождения проектирования в соответствии с [3].

Особое внимание в большепролётных сооружениях следует уделять:

- отказу вертикальных несущих элементов каркаса;
- повреждению элементов, обеспечивающих пространственную жёсткость;
- исключению ключевых конструкций, воспринимающих значительную долю нагрузки покрытия.

Целью расчёта является:

- оценка поведения пространственного покрытия при различных сценариях локального отказа;
- оценка влияния расчёта на металлоёмкость конструкции.
- выявление наиболее опасного случая повреждения каркаса объекта;
- анализ перераспределения усилий.

На первом этапе для двух шагов стропильных ферм – 8,96 м и 12 м соответственно были проведены расчеты по первичным и вторичным расчетным схемам с последующим выбором наименее металлоёмкого варианта. В ходе решения задачи рассматри-

вались три характерных сценария локального отказа элементов покрытия, и оценивалась способность конструкции противостоять прогрессирующему обрушению.

Здание имеет эллиптическую форму в плане, при этом максимальный пролет стропильной фермы составляет 66,3 м. Конструкция покрытия представляет собой систему параллельных ферм с решеткой из сварных двутавров (рисунок 1). Фермы опираются шарнирно по контуру и объединены между собой связями по верхнему поясу – решётчатыми прогонами и балками, тем самым образуя пространственный каркас покрытия. Нагрузки на покрытие приняты в следующем составе: собственный вес покрытия (прилагается автоматически), вес слоев кровли, вес потолка, технологических мостиков и медиакуба, а также кратковременные нагрузки от снега и ветра согласно принятому климатическому району.

После выполнения статического расчета по первичной расчетной схеме были подобраны сечения, дающие минимальные коэффициенты использования элементов покрытия. При данном расчете общая металлоемкость составила 754,22 т и 727,72 т с учетом массы листовой стали, учитываемой в строительном коэффициенте к собственному весу 1,15. Во вторичных расчетных схемах при расчете на прогрессирующее обрушение анализировались три характерных сценария локального отказа несущих элементов покрытия, отражающие различные возможные аварийные ситуации в конструкции:

1. Отказ элемента нижнего пояса фермы. Удаление одного стержня нижнего пояса в середине пролёта фермы привело к перераспределению усилий внутри повреждённой фермы: нагрузка, ранее воспринимавшаяся удалённым растянутым стержнем, перераспределилась на прогоны и верхний пояс. В результатах статического расчета наблюдается концентрация усилий в смежных прогонах.

2. Отказ одной стропильной фермы. Удаление целой фермы – наиболее тяжёлый случай локального отказа, так как нагрузка от участка покрытия должна перераспределиться на соседние фермы и прогоны на удвоенном шаге. Статический расчет (плавное исчезновение фермы) показал, что нагрузка от области покрытия, лишённой фермы, перераспределилась на две соседние фермы через систему прогонов.

3. Отказ решетчатого прогона. Удаление одного прогона между двумя фермами оказало локальное воздействие на систему.

По результатам статического расчёта, ближайшие к поврежденному месту соседние прогоны взяли на себя нагрузку от пролёта с выпавшим прогоном. Данный сценарий показал высокую локализованность отказа: он не провоцирует развития прогрессирующего обрушения, и требования [1] в части предотвращения цепной реакции в этом случае выполнены.

Проведенные расчеты показывают, что покрытие, состоящее из четырех стропильных ферм, расположенных с шагом 12 м оказывается более экономичным в плане расхода металла на 3,64%, по сравнению с покрытием из шести ферм с шагом 8,96 м (таблица 1).

Для дальнейшего расчета каркаса спортивной арены на прогрессирующее обрушение был выбран вариант с шагом колонн, обеспечивающим наименьшую металлоемкость покрытия (рисунки 2, 3).

Конструктивная система здания является комбинированной каркасно-стеновой из монолитного железобетона, состоящей из колонн, стен, плит перекрытий и фундаментов. Проектом предусмотрено шесть лестнично-лифтовых узлов, расположенных по периметру здания. Колонны запроектированы квадратного, прямоугольного и круглого поперечного сечения. Несущие стены – монолитные железобетонные, толщиной 250, 300, 400 мм. Перекрытия монолитные железобетонные толщиной 300 мм. Лестницы монолитные железобетонные. Все железобетонные конструкции выполнены из бетона класса по прочности на сжатие В25.

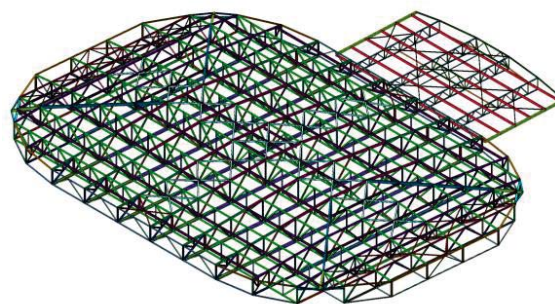


Рисунок 1 – Покрытие арены

Таблица 1 – Сравнение металлоемкости покрытий

| Шаг,<br>м | Масса конструкции, т         |                                                                         |
|-----------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|           | Расчет по<br>первичной схеме | Расчет по вторичным<br>схемам с учетом<br>прогрессирующего<br>обрушения |
| 8,96      | 754,22                       | 771,90                                                                  |
| 12        | 727,72                       | 754,66                                                                  |



На конструкции здания были приложены следующие нагрузки: собственный вес железобетонных и металлических конструкций, вес полов, кровли, перегородок, потолка, фасада, оборудования, технологических мостиков, а также полезная и климатические нагрузки (снег, ветер). Расчетная схема сооружения представляет собой пространственную конечно-элементную модель с применением стержневых и пластинчатых конечных элементов. При составлении схемы учтены граничные условия. Опираемость ферм на колонны – шарнирное, сопряжение балок и перекрытий с колоннами – жесткое. Колонны жестко заделаны в фундамент. Так как расчет покрытия на прогрессирующее обрушение производился отдельно и был описан ранее, здесь рассмотрим сценарий локального отказа наиболее нагруженной железобетонной колонны.

Как и в случае покрытия, расчет арены выполнен в два этапа:

#### 1. Первичная расчетная схема (нормальная эксплуатация)

Выполнен линейный статический расчет всей пространственной системы, подобраны сечения стальных ферм и армирование железобетонных элементов. Полученные коэффициенты использования элементов находятся в диапазоне от 0,75 до 0,92. Прогобы покрытия не превышают предельных значений (рисунки 4-7). Для элементов расчетной схемы, смоделированных в виде пространственных стержней, вычисляются определяющие усилия  $N$  и  $M_x$  (рисунки 8-10).

#### 1. Вторичная расчетная схема (отказ колонны)

Рассматривается сценарий внезапного удаления одной крайней железобетонной колонны, расположенной под узлом опирания стропильной фермы.

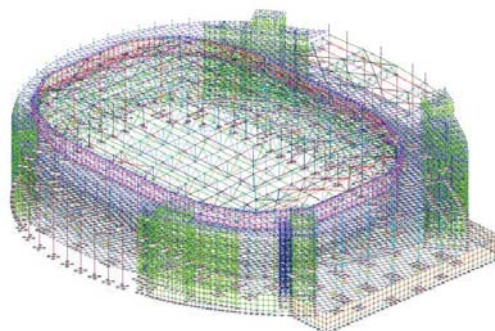


Рисунок 2 – Конечноэлементная расчетная схема

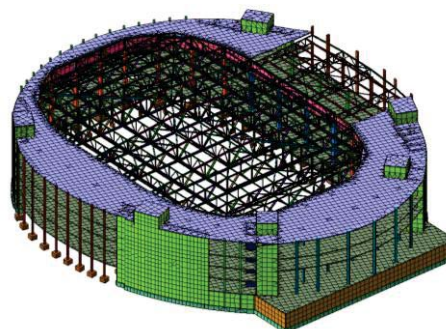


Рисунок 3 – Пространственный вид расчетной схемы

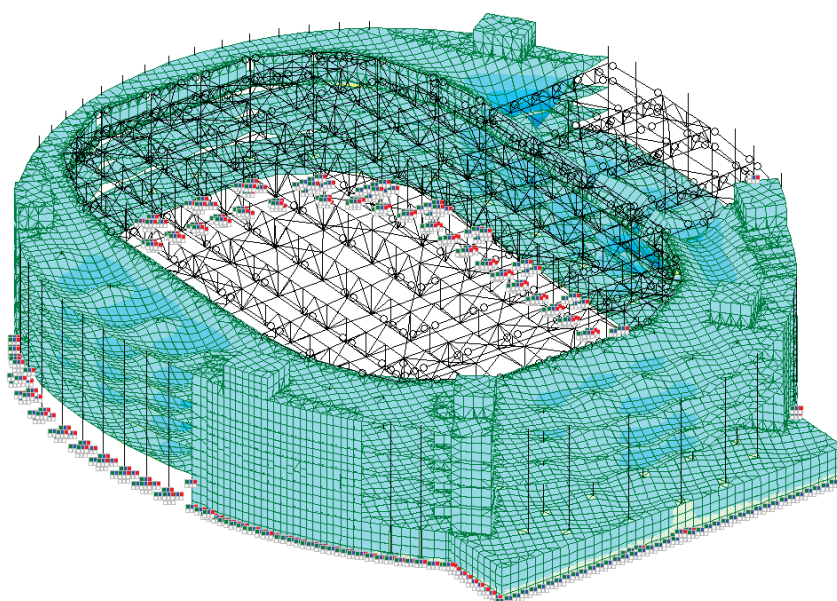


Рисунок 4 – Изополюса перемещений элементов модели по Z

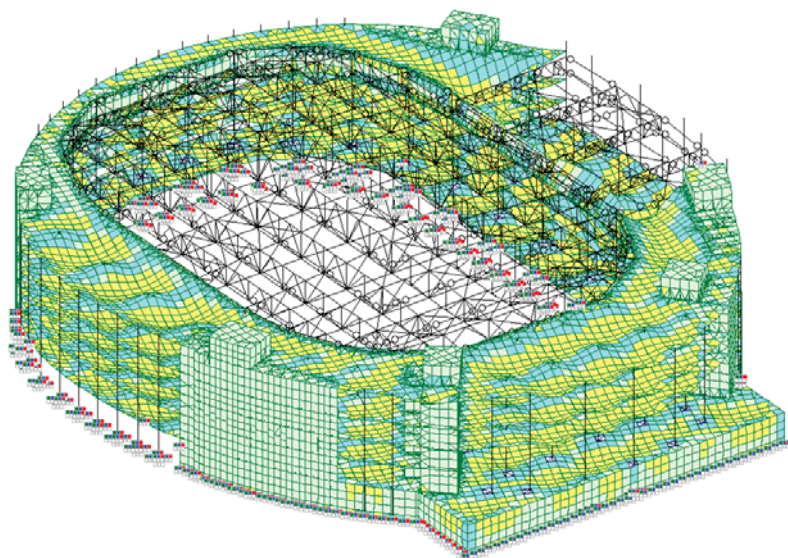


Рисунок 5 – Напряжения  $M_x$  в пластинчатых элементах плит перекрытия

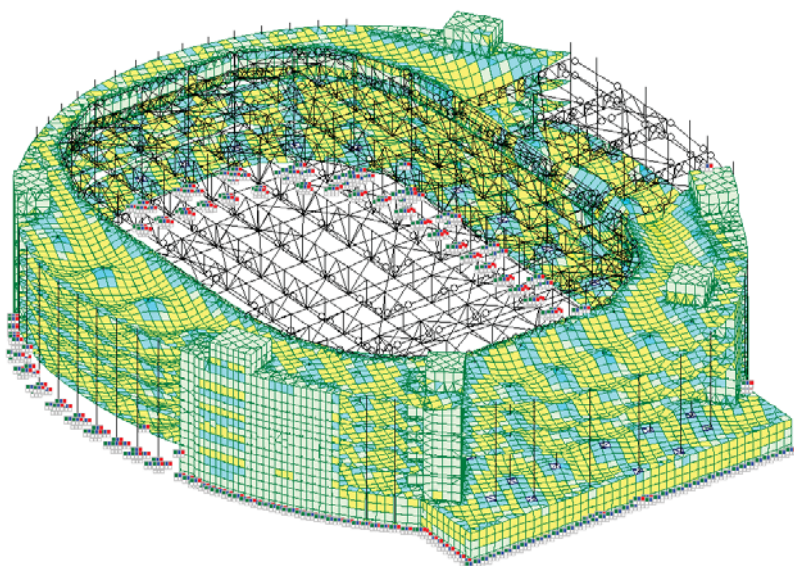


Рисунок 6 – Напряжения  $M_y$  в пластинчатых элементах плит перекрытия

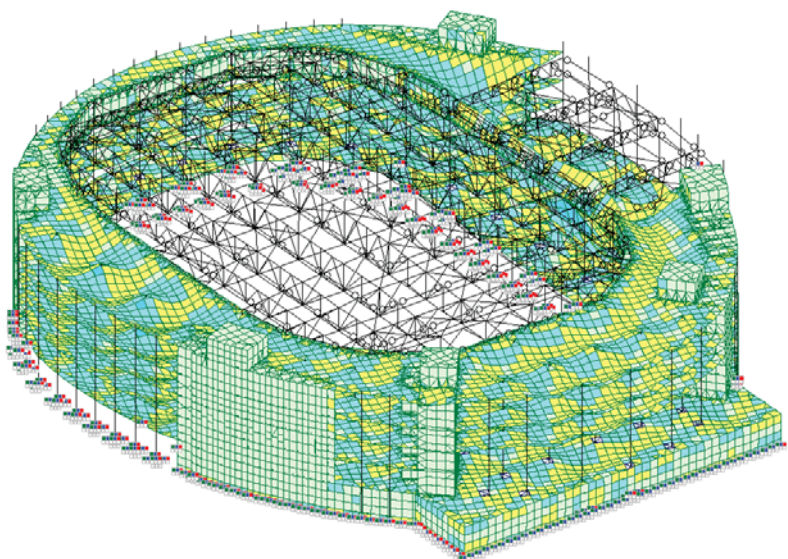


Рисунок 7 – Напряжения  $M_{xy}$  в пластинчатых элементах плит перекрытия



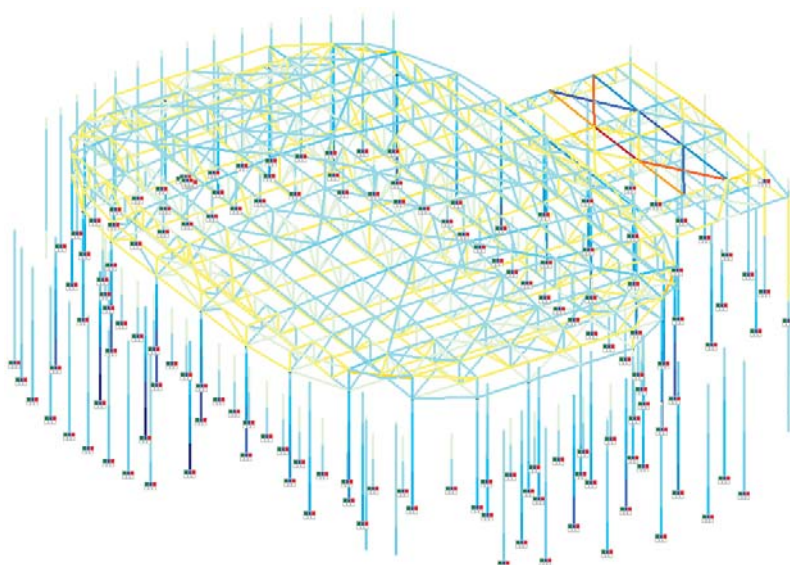


Рисунок 8 – Усилия N в стержневых элементах

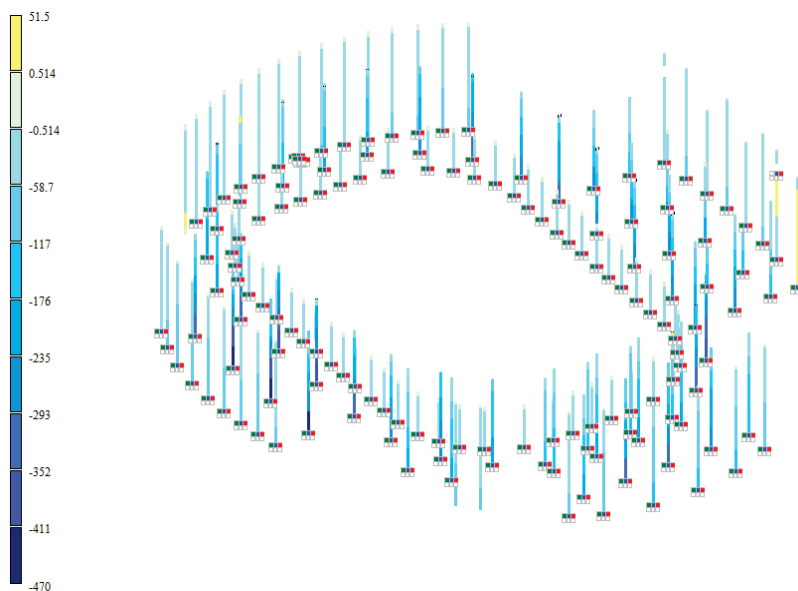


Рисунок 9 – Мозаика усилий N в железобетонных колоннах

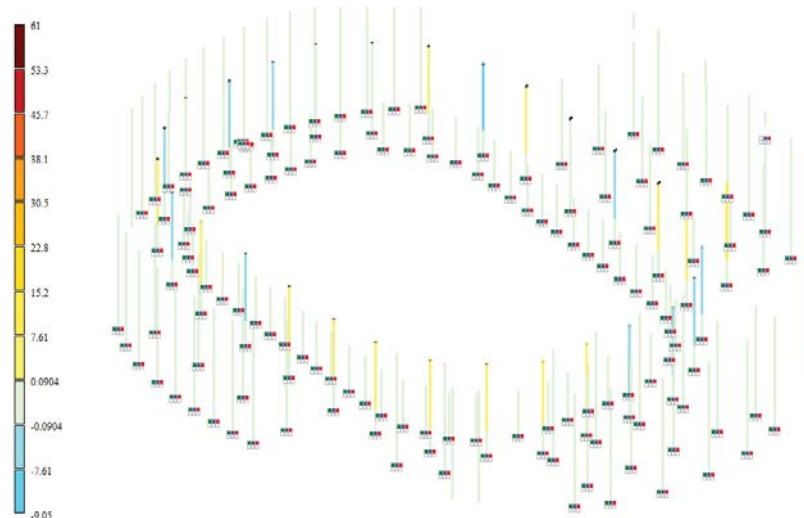


Рисунок 10 – Мозаика усилий  $M_x$  в железобетонных колоннах

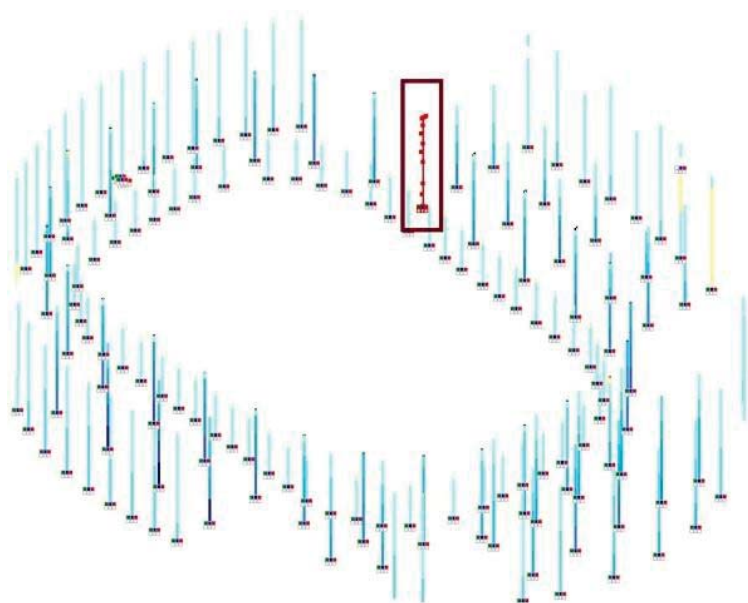


Рисунок 11 – Удаляемая из расчета колонна

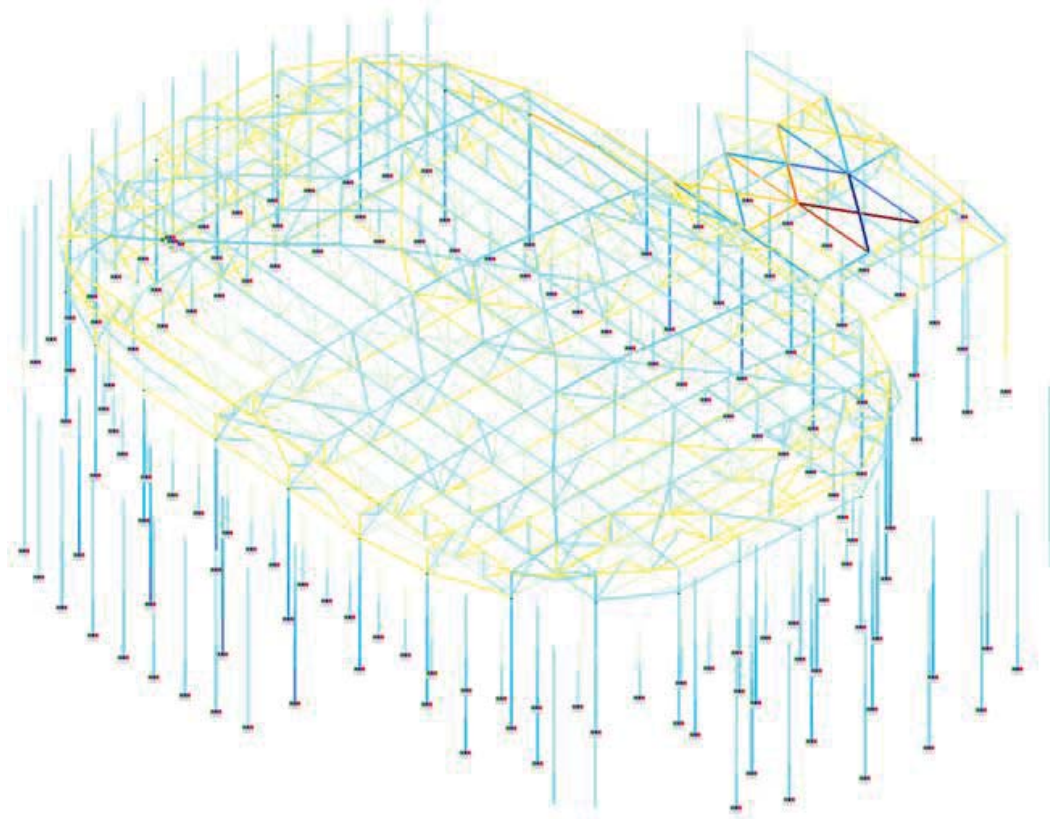


Рисунок 12 – Усилия N в стержневых элементах после удаления колонны

Моделирование отказа выполнено согласно требованиям [1] путём исключения колонны из расчетной схемы.

Наиболее опасное напряженно-деформированное состояние возникает в центральных колоннах, на которые опираются фермы покрытия. Стропильные конструкции опираются на колонны с эксцентриситетом, что провоцирует возникновение сжатия с

изгибом. Более того, рассматривая сценарии развития прогрессирующего обрушения, необходимо просчитывать варианты отказа элементов, чей выход из работы может повлечь за собой разрушения значительной части элементов, а также спровоцировать цепную реакцию. В связи с этим в качестве выключаемого из работы элемента принимаем одну центральную колонну, на которую



опирается стропильная ферма, имеющая наибольший пролет. Разрушение данной колонны также влечет за собой разрушение значительной части покрытия, в связи с чем является элементом, отказ которого представляет собой наибольшую угрозу (рисунок 11).

Удаление из расчета несущей колонны практически не отразилось на НДС пластинчатых элементов перекрытия. Жесткий диск остался устойчив даже после удаления одной из граничных опор. Картина распределения усилий в стержневых элементах, соответственно, изменилась. Кратно увеличились сжимающие усилия в элементах покрытия, находящегося вблизи удаленной колонны, напряжения перераспределились по металлическому каркасу.

В соответствии с требованиями [1], защита здания от прогрессирующего обрушения может обеспечиваться за счёт:

- создания альтернативных путей передачи нагрузок;
- повышения пластичности и несущей способности узлов;
- обеспечения пространственной жёсткости;
- локального усиления ключевых несущих элементов.

Для рассматриваемого каркаса ключевыми мероприятиями являться усиление связей в покрытии и формирование альтернативных путей передачи нагрузки (рисунок 12).

Таким образом, особую опасность представляет отказ вертикального несущего элемента – железобетонной колонны, воспринимающей нагрузки от стропильной фермы покрытия. Утрата опоры вызывает перераспределение значительных усилий в пространственном каркасе и может привести к развитию цепного разрушения. При этом пластинчатые элементы перекрытия сохраняют устойчивость, что свидетельствует о достаточной жёсткости диска перекрытия. Однако в элементах металлического каркаса фиксируется увеличение сжимающих усилий и изгибающих моментов, что подтверждает необходимость учёта данного сценария как наиболее опасного.

Вертикальные несущие элементы играют ключевую роль в обеспечении устойчивости пространственной системы здания.

Наиболее критичным сценарием является отказ монолитной железобетонной колон-

ны, воспринимающей нагрузки от стропильной фермы максимального пролёта.

При наличии развитой системы связей и достаточной пространственной жёсткости конструкция покрытия способна перераспределять усилия без перехода к прогрессирующему разрушению.

Оптимальный шаг ферм (12 м) позволяет снизить металлоёмкость конструкции без ухудшения показателей безопасности при аварийном воздействии.

Выполненный расчёт подтверждает, что при корректном конструктивном решении даже большепролётные сооружения могут сохранять устойчивость к прогрессирующему обрушению при локальном отказе одного из ключевых элементов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 385.1325800.2018. Свод правил. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва, 2018. – 29 с.
2. СП 296.13330.2016. Здания и сооружения. Особые воздействия (Приказ Минстроя России от 3 августа 2017 г. № 1105/пр) / URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15431/> – Режим доступа: Официальный сайт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: [minstroyrf.gov.ru](http://minstroyrf.gov.ru). – Текст: электронный.
3. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. № 1974/пр) / URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58469/> – Режим доступа: Сайт «Интернет и Право»: [internet-law.ru](http://internet-law.ru). – Текст: электронный.
4. Ромашкина, М. А. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры / М. А. Ромашкина, В. П. Титок; под ред. акад. РААСН А. С. Городецкого. – Электронное издание, 2018. – 254 с.

**Подъяпольская Мария Александровна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [mariapodyapolskaya@mail.ru](mailto:mariapodyapolskaya@mail.ru);

**Кикоть Андрей Александрович** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [deltaing@mail.ru](mailto:deltaing@mail.ru).

## СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

**Д. Д. Ращепкин, И. А. Бахтина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены особенности и этапы создания информационной модели систем водоснабжения и канализации (ВК) в рамках современных программных решений для проектирования. Описан процесс построения трехмерной модели с акцентом на организацию работы, использование библиотечных элементов и проверку пересечений.*

**Ключевые слова:** водоснабжение, канализация, моделирование, информационная модель, семейства, коллизии.

Технология информационного моделирования зданий и сооружений (ИМ) представляет собой современный подход к проектированию, строительству и эксплуатации объектов [1]. В отличие от классического двумерного проектирования, ИМ предполагает создание единой цифровой модели, содержащей всю информацию об объекте на всех этапах его жизненного цикла. Особую важность в рамках комплексной модели здания представляют инженерные системы, в частности системы водоснабжения и канализации (ВК), от корректности проектирования которых зависит надежность и комфорт эксплуатации объекта [2].

При классическом проектировании работают с планами, чертежами, технической документацией, что представляет собой двухмерную модель объекта строительства. Особенностью технологий информационного моделирования является создание виртуальной трехмерной модели, которая обладает реальными физическими свойствами. Такой способ позволяет присоединить к модели добавочные измерения, такие как временные параметры и стоимостные характеристики, позволяющие рассчитать и определить параметры процессов строительства ещё до начала строительных работ на объекте.

Таким образом, для полноты создания комплексной модели объекта, база данных программного комплекса должна содержать информацию о различных этапах жизненного цикла рассматриваемого объекта – от разработки концепции проектирования до демонстра (ликвидации).

Основные требования к проектированию и расчёту систем водоснабжения и канализации (ВК) приведены в СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий», а также в других нормативных документах.

Современные программные комплексы для проектирования инженерных систем предоставляют специализированный инструментарий для работы в среде информационного моделирования.

Для систем ВК такие программы предлагают обширный функционал:

- работа с библиотечными элементами (семействами) сантехнических приборов, трубопроводной арматуры, фитингов и оборудования;
- создание и редактирование трубопроводных систем с заданием типов труб (материал, диаметр), уклонов (для канализации) и смещений;
- использование соединительных элементов для автоматического или ручного соединения компонентов;
- автоматическое формирование аксонометрических схем и спецификаций на основе смоделированных элементов (рисунок 1).

Процесс построения модели можно разделить на несколько ключевых этапов [3]:

- подготовка и настройка проекта. На этом этапе выполняется настройка шаблона проекта, создание и назначение необходимых типов труб (для холодного, горячего водоснабжения, канализации), определение уровней и осей. Важным аспектом является интеграция с архитектурной моделью для корректной привязки элементов систем ВК;
- загрузка и настройка библиотечных элементов. В стандартных шаблонах часто отсутствуют необходимые специфические элементы оборудования. Поэтому требуется загрузить или создать библиотеки сантехнических приборов (унитазы, раковины, ванны), запорной арматуры, насосных групп и т.д. Важно использовать параметрические элементы, адаптирующиеся к типоразмерам труб;

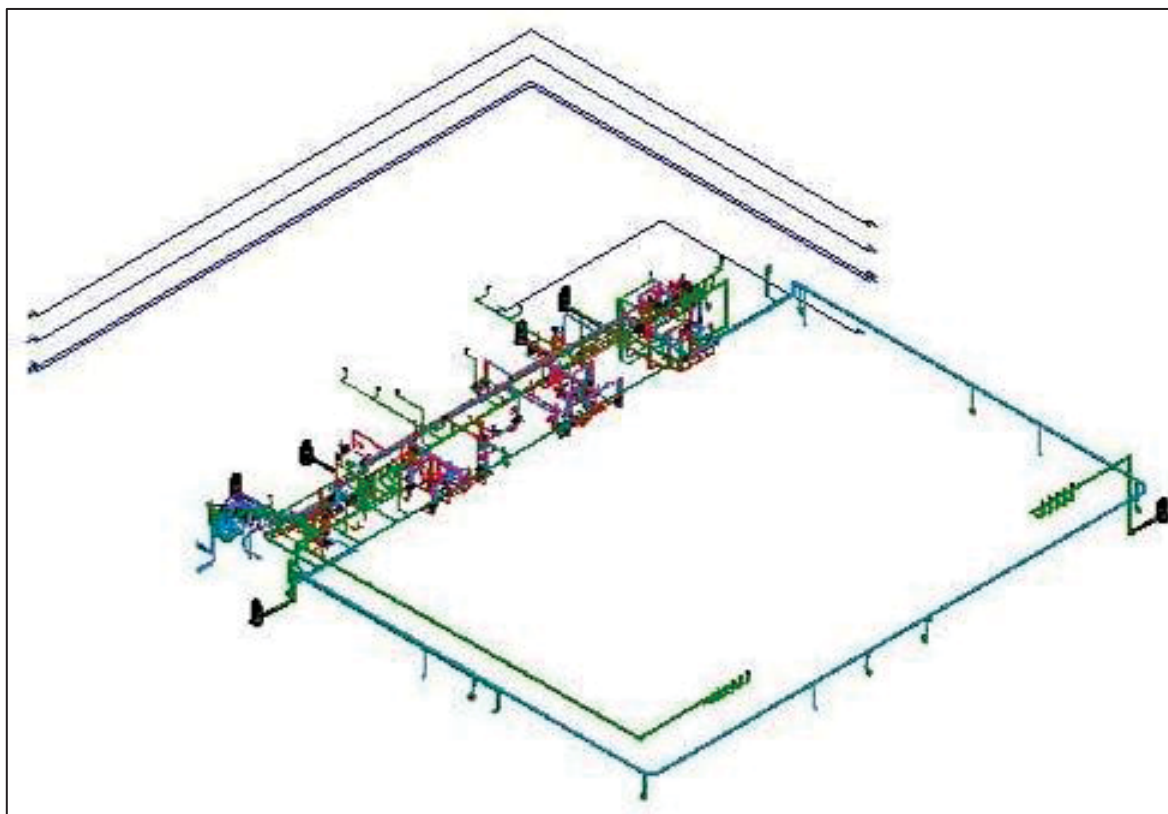


Рисунок 1 – Модель водоснабжения и водоотведения футбольного манежа

- расстановка оборудования и моделирование трубопроводных сетей. Производится расстановка сантехнических приборов и оборудования согласно проекту. Затем выполняется построение трасс трубопроводов (холодная/горячая вода, канализация). Современные программы позволяют автоматически расставлять отводы, тройники и другие фитинги при изменении направления или присоединении ответвлений. Для канализационных сетей обязательно задается требуемый уклон;

- согласование и проверка на пересечения.

Одно из главных преимуществ ИМ – возможность координации различных разделов проекта. С помощью встроенного инструмента «Проверка пересечений» настраиваются проверяемые категории (например, трубы ВК и строительные конструкции, трубы и воздуховоды). Программа формирует отчет о всех обнаруженных конфликтах (пересечениях), которые необходимо устранить на этапе проектирования, что предотвращает дорогостоящие ошибки на стройплощадке [4].

Формирование документации. После завершения моделирования и устранения пересечений современные программные комплексы позволяют автоматически генериро-

вать согласованные планы, разрезы, узлы и спецификации оборудования. Все изменения в модели мгновенно отражаются на всех связанных видах и документах.

После создания информационной модели и согласования принятых проектных решений осуществляется определение использованных в проекте изделий, оборудования и материалов. В современных программных комплексах для информационного моделирования это возможно достаточно точно выполнить с помощью инструмента «Спецификация». Данный инструмент позволяет автоматизировать не только сбор необходимой информации с объектов модели, но и систематизировать данные в таблицы требуемой формы. Для осуществления данной операции инструмент «Спецификация» напрямую связан с трёхмерной моделью объекта, поэтому при внесении изменений в модель автоматически актуализируются данные в спецификации. Это позволяет не только экономить время на составление проектной документации, но и минимизировать возможные ошибки. Все объекты создаваемой модели инженерной системы содержат информацию как о геометрических параметрах, так и технические сведения о расходе, материале, производителе и характеристиках для дальнейшего

## СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

расчёта и анализа. Эти данные используются программным комплексом при формировании выходной документации (рисунок 2).

Однако внутренние инструменты современных программных комплексов для информационного моделирования имеют ряд ограничений, таких как:

- отсутствие возможности формирования детализированных отчётов по элементам инженерных систем с учётом специфики российских требований;
- ограниченный учёт особенностей моделирования строительных конструкций при интеграции с системами водоснабжения и канализации;
- необходимость дополнительной адаптации для соответствия требованиям нормативных документов РФ при прохождении экспертизы, поскольку базовые настройки часто ориентированы на международные стандарты.

Указанные ограничения возможно компенсировать за счёт использования специализированных дополнений (плагинов), доступных для интеграции в среду моделирования, которые позволяют выполнять необходимые проверки и расчёты без перехода в другие программные среды.

Многие библиотечные элементы в современных системах проектирования на-

строены таким образом, что позволяют автоматически подбирать компоненты на основе параметров системы [5]. К ним относятся, например, элементы регуливающей арматуры, балансировочные клапаны, группы подготовки воды, а также возможность настройки параметров учётного оборудования на основе расчётных расходов (рисунки 3, 4). Использование таких интеллектуальных элементов способствует повышению точности проектных решений и сокращению временных затрат на проектирование.

| ADSC_Клиника | E              |                        | F                   |         | G       |         | ADSC_Тестирование | СБ |
|--------------|----------------|------------------------|---------------------|---------|---------|---------|-------------------|----|
|              | ADSC_Состояние | ADSC_Состояние_Эксперт | ADSC_Состояние_Тест | Эксперт | Эксперт | Эксперт |                   |    |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 170                 | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1644                | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 12                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1030                | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1030                | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1700                | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 17                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 80                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 4                   | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 453                 | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1012                | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 20                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 110                 | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 21                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 16                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 2       | 05      | 2                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 10                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 102                 | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 1700                | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 27                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 4                   | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 24                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 0                   | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 44                  | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |
| 1878-04      | 01             | Безопасность НБС       | 160                 | 05      | 3       | 05      | 3                 | 05 |

Рисунок 2 – Фрагмент спецификации труб

Типоразмеры в семействе

Имя типа: 33SV1G030T

Параметры поиска

| Параметр                   | Значение                            | Формула    | Блокировать              |
|----------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------------|
| <b>Строительство</b>       |                                     |            |                          |
| ADSK_Наименование          | Установка повышения да              | =          |                          |
| ADSK_Марка                 | 66SV5G300T                          | =          |                          |
| ADSK_Код изделия           |                                     | =          |                          |
| ADSK_Завод-изготовитель    | Xylem                               | =          |                          |
| <b>Графика</b>             |                                     |            |                          |
| видимость фланца           | <input checked="" type="checkbox"/> | = FLAN = 1 |                          |
| <b>Текст</b>               |                                     |            |                          |
| FLAN                       | 1.000000                            | =          |                          |
| KOL                        | 20.000000                           | =          |                          |
| NOMER                      | 5.000000                            | =          |                          |
| OK                         | 1                                   | =          | <input type="checkbox"/> |
| Type                       | 66.000000                           | =          |                          |
| <b>Материалы и отделка</b> |                                     |            |                          |
| Материал                   | Оцинковка                           | =          |                          |
| <b>Электросети</b>         |                                     |            |                          |
| Напряжение                 | 380.00 В                            | =          |                          |

↑E

↓E

↕

↕

Управление таблицами выбора

Как управлять типоразмерами в семействе?

OK

Отмена

Применить

Рисунок 3 – Параметры установки повышения давления



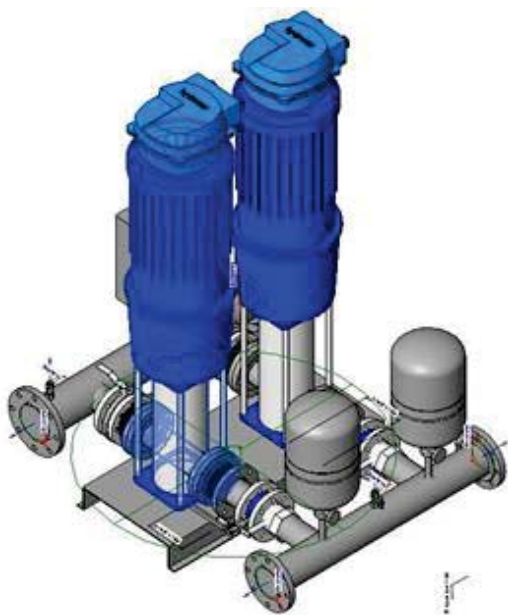


Рисунок 4 – Модель установки повышения давления

Следует подчеркнуть, что для качественного подбора и расчёта всех элементов системы водоснабжения и канализации необходимо обеспечить высокую точность и корректность ввода параметров системы. Один некорректно настроенный компонент может привести к нарушению функциональности автоматизированных расчётов и повлиять на достоверность результатов моделирования.

Применение технологий информационного моделирования при проектировании систем ВК позволяет детально проработать все аспекты цифровой модели, начиная с визуального представления архитектурно-строительных решений и инженерных сетей, точного позиционирования оборудования и приборов, заканчивая формированием комплексных параметрических данных. Это даёт

возможность как проектировщику, так и заказчику объективно оценить корректность построения системы, сбалансированность её работы и обоснованность выбора применяемого оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. – М. : Стандартинформ, 2017. – 32 с.
2. Ращепкин, Д. Д. Основные виды труб в системах водоснабжения / Д. Д. Ращепкин [и др.] // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : сборник. – Рубцовск, 2025. – С. 375-381.
3. Козлов, И. М. Применение информационного моделирования в исследовании вопросов инженерного оборудования зданий / И. М. Козлов, В. В. Талапов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Новосибирск, 2011. – Вып. 13. – С. 114-119.
4. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М. : Минстрой России, 2020. – 64 с.
5. Ращепкин, Д. Д. Системы отвода дождевых и талых вод с кровель зданий / Д. Д. Ращепкин, И. А. Бахтина // Ползуновский альманах. – 2025. – № 1. – С. 179-182.

**Ращепкин Денис Денисович** – студент группы 8Соим-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: rashepkindd@mail.ru;

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: bia-altai@mail.ru.

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д. Е. Родиков, И. В. Носков

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен комплексный анализ манжетной (пакерной) технологии цементации как метода закрепления слабых грунтов и усиления оснований в сложных инженерно-геологических условиях. Рассмотрены принцип действия, область применения и методика производства работ. На основе анализа практического опыта дана оценка эффективности, ключевых преимуществ и ограничений технологии в сравнении с традиционными способами. Особое внимание уделено критериям выбора метода и его роли в обеспечении безопасной и долговечной эксплуатации сооружений.*

**Ключевые слова:** манжетная цементация, закрепление грунтов, усиление оснований, слабые водонасыщенные грунты, инъектирование, геотехнический мониторинг, несущая способность.

Обеспечение устойчивости и требуемых деформационных характеристик оснований зданий и сооружений, возводимых на слабых, неоднородных или обводненных грунтах, является одной из центральных задач современной геотехники. Сложные инженерно-геологические условия, такие как наличие просадочных, биогенных, илистых грунтов, линз разуплотнения и высокий уровень подземных вод, требуют применения специальных методов их улучшения [1, 2].

Одним из таких перспективных специальных методов улучшения прочностных свойств грунтов основания является метод манжетной цементации. Это современный метод инъекционного укрепления грунтов, основанный на поэтапном нагнетании цементного раствора через специальные манжетные инъекторы, установленные в пробуренные скважины. Манжетная технология позволяет точно контролировать давление и объем подаваемого раствора, формируя вокруг инъекторов прочный геомассив – цементно-грунтовое тело с повышенной несущей способностью и низкой водопроницаемостью.

Манжетная технология представляет собой адресный и контролируемый метод инъекционного закрепления, позволяющий локально повысить несущую способность и снизить сжимаемость грунтового массива именно в проблемной зоне, что отличает её от методов сплошного объемного улучшения.

Манжетная (пакерная) цементация – это метод инъекционного закрепления грунтов, при котором тампонажный раствор нагнета-

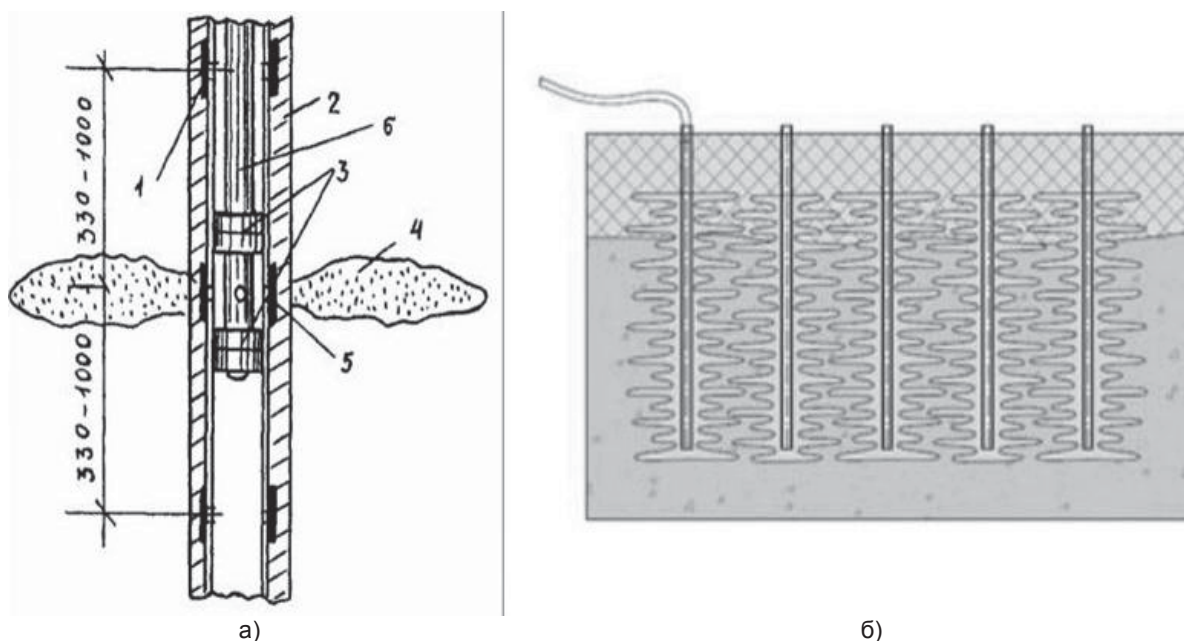
ется не по всей длине скважины, а в строго заданный интервал (инъекционный пакет), изолированный с помощью набухающих или механических манжет-пакеров.

**Технологический процесс включает следующие ключевые этапы:**

1. Бурение инъекционной скважины малого диаметра до проектной глубины.
2. Спуск в скважину инъектора с парой пакеров, которые раздвигаются и создают герметичную камеру между собой.
3. Нагнетание под давлением цементного, силикатного или полимерного раствора через перфорированный канал инъектора в изолированный интервал.
4. Последовательная обработка различных горизонтов путем перестановки инъектора по глубине скважины (рисунок 1).

**Основные области эффективного применения технологии:**

- Усиление оснований существующих зданий, испытывающих чрезмерные или неравномерные осадки.
- Локализованное закрепление слабых прослоев и линз под подошвой фундаментов на стадии нового строительства.
- Уплотнение разуплотненных зон грунта вокруг подземных выработок или коммуникаций.
- Создание противофильтрационных завес и закладка трещин в грунтовых массивах.
- Эффективность манжетной цементации наиболее ярко проявляется при решении задач в следующих типовых сложных условиях:



1 – резиновая манжета; 2 – пластиковая обойма; 3 – двойной тампон; 4 – заинъектированная зона; 5 – отверстие для инъекции; 6 – инъекционная труба

Рисунок 1 – Схема усиления основания по манжетной технологии: а – инъекция в режиме гидроразрыва через инъекционную трубку с манжетами; б – схема площадного закрепления грунтового основания

#### **Слабые водонасыщенные грунты (плывуны, илы, торфы).**

В таких грунтах классические методы затруднены. Манжетная технология позволяет создать локальные упрочнённые зоны (корневые структуры или сваи-столбы) путем контролируемого разрыва и последующего заполнения раствором. Это приводит к уплотнению окружающего массива и формированию несущих элементов с высокой боковой поверхностью.

#### **Неоднородное основание с линзовидными включениями.**

При наличии в толще грунта локальных слабых прослоев (например, песков пылеватых или супесей в суглинках) сплошная цементация неэкономична. Манжетная технология позволяет точно укрепить именно эти линзы, обеспечив равномерную работу основания, что подтверждается выравниванием осадок по данным геомониторинга.

#### **Реконструкция и надстройка зданий.**

При увеличении нагрузки на существующий фундамент требуется локальное усиление грунта под его подошвой. Метод позволяет проводить работы с минимальными динамическими воздействиями и без вскрытия фундамента, нагнетая раствор через пробуренные с поверхности или из подвала наклонные скважины.

Критериями эффективности служат данные геотехнического мониторинга до и после

выполнения работ: стабилизация абсолютных и относительных осадок, достижение проектной несущей способности (по результатам статического или динамического зондирования), отсутствие негативного влияния на близлежащие сооружения. Выбор метода закрепления грунтов в сложных инженерно-геологических условиях является ключевым инженерным решением.

Манжетная (пакерная) цементация занимает особую нишу, обладая как уникальными преимуществами, так и определенными ограничениями по сравнению с другими распространенными технологиями.

Ниже представлена сравнительная оценка, где манжетный метод сопоставляется с двумя классическими подходами: традиционной цементацией через открытый ствол и струйной цементацией (Jet Grouting).

#### **Сравнение по степени контроля и точности воздействия**

Традиционная цементация через открытый ствол отличается наименьшим уровнем контроля. Раствор нагнетается в скважину без изоляции, что приводит к его неконтролируемому распространению по пути наименьшего сопротивления – трещинам, порам или более проницаемым прослойкам. В результате трудно предсказать конечную форму и объем укрепленного массива, а целевой слабый слой может остаться необработанным.

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Струйная цементация обеспечивает высокий и предсказуемый контроль, формируя колонны или панели из цементогрунта строго заданного диаметра и конфигурации. Однако воздействие является объемным и разрушающим исходную структуру грунта на всем протяжении ствола.

Манжетная технология предлагает высокоточное точечное воздействие. Изоляция интервала пакерами позволяет целенаправленно нагнетать раствор именно в заданный проблемный горизонт (слабую линзу, зону разуплотнения), не затрагивая выше- и нижележащие устойчивые слои. Это обеспечивает максимальную адресность и минимальное вмешательство в грунтовый массив.

### **Сравнение по экономичности и расходу материалов**

Традиционная цементация часто характеризуется низкой экономичностью материала. Невозможность контролировать растекание раствора приводит к его значительному перерасходу для достижения желаемого эффекта, что увеличивает стоимость работ.

Струйная цементация является наиболее материалоемким и энергозатратным методом. Для разрушения и замещения грунта требуются большие объемы раствора и значительные энергозатраты на работу высоконапорных насосов, что делает технологию дорогостоящей.

Манжетная технология, благодаря локализации, демонстрирует высокую экономию инъекционного раствора. Расход материала оптимизирован под конкретный объем обрабатываемой зоны, что минимизирует стоимость и делает метод рентабельным для решения локальных задач.

### **Сравнение по технологичности и применимости в стесненных условиях**

Традиционная цементация технологически проста, но ее эффективность сильно зависит от фильтрационных свойств грунта. Может применяться в условиях ограниченного пространства, но с рисками неэффективного расхода раствора.

Струйная цементация требует крупногабаритного мощного оборудования (буровые установки, высоконапорные насосные станции), что крайне затрудняет или делает невозможным ее применение в стесненных условиях городской застройки, внутри действующих зданий или вблизи исторических фундаментов. Метод также создает сильные вибрации.

Манжетная технология обладает максимальной адаптивностью. Оборудование (малогабаритные буровые станки, компактные

насосы) позволяет вести работы в подвалах, в непосредственной близости от существующих конструкций и коммуникаций. Отсутствие динамических воздействий делает ее идеальной для усиления оснований без риска нанесения дополнительного ущерба сооружению.

### **Сравнение по основному целевому назначению**

Традиционная цементация подходит для общего, но плохо управляемого объемного улучшения свойств грунта на большой площади, например, для создания противофильтрационных завес, где абсолютная точность формы не критична.

Струйная цементация незаменима для создания новых несущих или ограждающих элементов в грунте: свай, сплошных стен, днищ котлованов там, где есть пространство для работы тяжелой техники.

Манжетная технология – это прецизионный инструмент для «ремонта» основания. Ее основное назначение – локальное усиление, ликвидация дефектов (пустот, разуплотненных зон) и точечное повышение несущей способности под конкретной частью фундамента без масштабных земляных работ.

Манжетная цементация не является универсальным методом, заменяющим все другие. Она является высокоспециализированным решением, которое превосходит аналоги в своей нише: точечное, контролируемое, экономичное и малоинвазивное усиление грунтов. Ее выбор обоснован в ситуациях, требующих ювелирной точности, минимального воздействия на окружающую среду и существующие конструкции, а также оптимизации затрат при решении конкретных, локальных геотехнических проблем.

Для задач сплошного укрепления больших массивов или возведения новых подземных конструкций более эффективными остаются объемные методы, такие как струйная цементация.

### **Выводы:**

1. Манжетная технология цементации доказала свою высокую эффективность как адресный и управляемый метод решения локальных геотехнических проблем в сложных грунтовых условиях.

Её ключевые преимущества – точная локализация, минимальный объем буровых и инъекционных работ, отсутствие вредных динамических воздействий – делают её оптимальным выбором для усиления оснований при реконструкции, ликвидации неравномерных осадков и закрепления слабых прослоев.



2. Перспективы развития метода связаны с интеграцией в процесс цифровых технологий: использование систем автоматического мониторинга давления и расхода раствора в реальном времени, применение георадарного контроля для точного позиционирования инъектора относительно слабых зон, а также создание цифровых двойников процесса закрепления для прогнозирования его результата.

Это позволит перейти от эмпирического подхода к полностью управляемому и прогнозируемому процессу улучшения свойств грунтового основания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Мартirosян, А. З. Инъекционные технологии закрепления оснований грунтов при строительстве и реконструкции подземных конст-

рукций / А. З. Тер-Мартirosян [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2025. – № 9. – С. 45-55

2. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов по специальности «Промышленное и гражданское строительство» / С. Б. Ухов [и др.]; под ред. С. Б. Ухова. – М. : Изд-во АСВ, 1994. – 523 с

**Родиков Данил Евгеньевич** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: danrodikov@mail.ru;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

УДК 624.152.634

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

**Д. Е. Родиков, И. В. Носков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен анализ современных технологий, оборудования и материалов, применяемых для устройства шпунтовых ограждений котлованов в условиях плотной городской застройки. Рассмотрены вопросы минимизации динамических воздействий на окружающие здания и подземные коммуникации, обеспечения точности погружения и контроля деформаций. Проведено сравнение традиционных и инновационных методов, проанализированы возможности информационного моделирования (BIM) и геотехнического мониторинга для повышения безопасности и эффективности работ.*

**Ключевые слова:** шпунтовое ограждение, городская застройка, малозаглубленные котлованы, вибропогружение, геотехнический мониторинг, информационное моделирование (BIM), шпунт из полимерных материалов.

Устройство глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки является одной из наиболее сложных задач современного строительства. Ключевым элементом обеспечения безопасности и минимизации рисков для существующих зданий, сооружений и инфраструктуры служат надежные шпунтовые ограждения [1]. Возрастающие требования к экологической и технической безопасности, ужесточение нормативов по вибрациям и шуму диктуют необходимость применения современных технологий, высо-

коточного оборудования и новых материалов.

#### **1. Анализ современных методов погружения шпунта**

Традиционные ударные методы (с применением дизель-молотов) в городских условиях часто неприемлемы из-за высоких динамических и акустических воздействий.

На первый план выходят вибрационные и статические методы:

- Вибропогружение с системой активного гашения колебаний. Современные высокочастотные вибропогружатели, оснащенные

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

системой синхронизации и эксцентриков, позволяют минимизировать горизонтальные колебания. На рисунке 1 представлена принципиальная схема работы такого комплекса, где противофаза колебаний верхней и нижней части установки гасит распространяющиеся волны.

- Статическое вдавливание (Press-in метод). Наиболее щадящая технология, исключая динамические воздействия. Применяется гидравлическое оборудование, которое, используя реакцию грунта или вес базовой

машины, вдавливает шпунт. Она особенно эффективна при работе в непосредственной близости от исторической застройки или ветхих фундаментов.

На рисунке 2 показана установка для статического вдавливания, работающая в стесненных условиях.

- Комбинированные технологии (виброудар, гидровибрация). Позволяют повысить эффективность погружения в сложных грунтах (например, включения валунов) при относительно низком уровне воздействий.

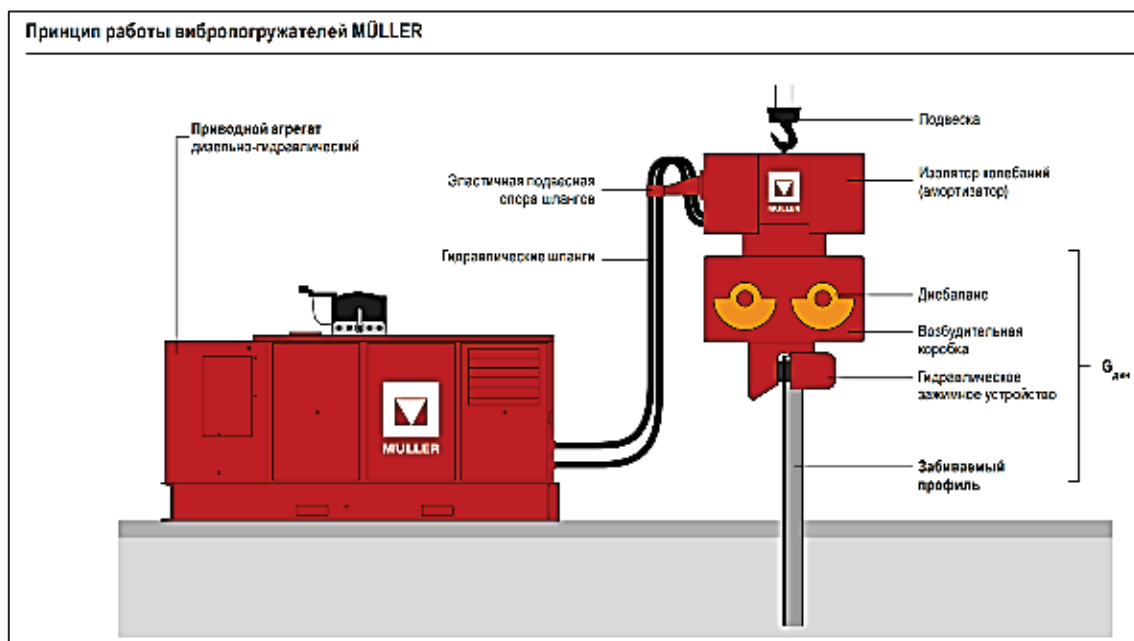


Рисунок 1 – Схема вибропогружателя с системой активного гашения колебаний



Рисунок 2 – Установка для статического вдавливания шпунта в условиях ограниченного пространства

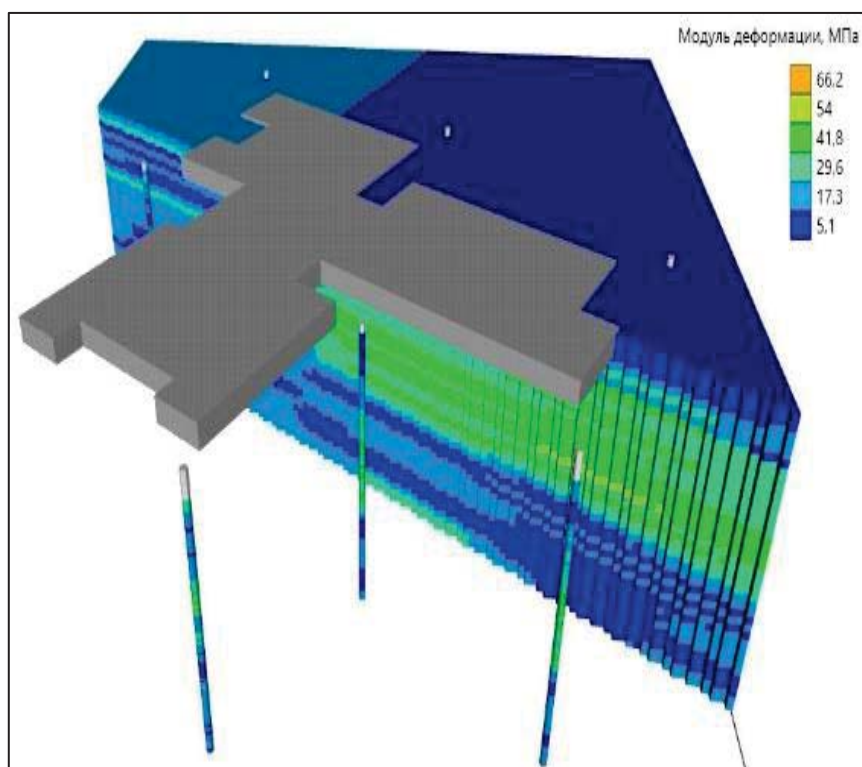


Рисунок 3 – Фрагмент BIM-модели строительства с интегрированными данными геотехнического мониторинга шпунтового ограждения

## 2. Современные материалы для шпунтовых ограждений

Помимо традиционных стальных шпунтовых профилей (Larssen, типа «Z»), все более широкое применение находят:

- Шпунт из стеклопластика (GFRP) и полимерных композитов. Обладает высокой коррозионной стойкостью, малым весом и низкой теплопроводностью. Ключевое преимущество в городских условиях – возможность погружения с крайне низким уровнем шума и вибраций. Применяется для ограждений неглубоких котлованов, противофильтрационных завес.

- Комбинированные системы (стальбетон). Шпунтовая стенка, усиленная монолитным железобетоном по месту, что позволяет совмещать функции ограждения и постоянной конструкции (стена в грунте).

- Трубчатые элементы большого диаметра. Используются в качестве элементов углового или рядного шпунтового ограждения, обеспечивая высокую жесткость и возможность устройства внутри них буронабивных свай.

## 3. Роль геотехнического мониторинга и BIM-технологий

Обеспечение безопасности невозможно без системы непрерывного геотехнического

мониторинга [2, 3]. Современные решения включают:

- Встроенные датчики в шпунт. Датчики наклона (инклинометры), тензометрические датчики для контроля напряжений по мере погружения и разработки котлована.

- Автоматизированные тахеометрические и сканирующие системы. Контроль крена и горизонтальных смещений верха шпунтовой стенки и прилегающих зданий в реальном времени.

- Интеграция с BIM-моделью: данные мониторинга в режиме, близком к реальному времени, передаются в цифровую модель площадки (рисунок 3). Это позволяет наглядно оценивать соответствие фактических деформаций проектным допустимым значениям и оперативно принимать корректирующие решения (усиление распорной системы, подпорка).

## 4. Анализ отечественного рынка оборудования и софта

В условиях импортозамещения отечественные производители и разработчики предлагают ряд решений:

- Оборудование. Российские аналоги виборопогружателей и установок статического вдавливания демонстрируют конкурентоспособные характеристики, хотя могут уступать в

# ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

уровне автоматизации и энергоэффективности.

- Программное обеспечение. Развиваются отечественные BIM-платформы (Renga, nanoCAD, ПИОНЕР), адаптированные под российские стандарты. Для геотехнического мониторинга и анализа данных создаются специализированные модули и облачные сервисы, позволяющие консолидировать информацию с различных датчиков. Однако наблюдается дефицит комплексных отраслевых решений «под ключ», аналогичных зарубежным Geosistema, Plaxis или GGU-Software.

## 5. Технологии и оборудование для точного и малоинвазивного погружения в сложных городских грунтах

Современные методы погружения шпунта в условиях плотной застройки ориентированы не только на снижение воздействий, но и на обеспечение высочайшей точности и управляемости процесса в разнородных, часто непредсказуемых городских грунтах. Особую актуальность приобретают технологии, мини-мизирующие риски повреждения подземных коммуникаций и «засорения» грунта посторонними предметами:

- Бескопровая (бескаркасная) технология вибропогружения. Используются гидравлические манипуляторы с дистанционно управ-

ляемыми наголовниками, которые точно позиционируют и удерживают шпунт в процессе погружения без применения направляющих каркасов (копров). Это позволяет работать в крайне стесненных пространствах (например, внутри двора-колодца) и сокращает время мобилизации. На рисунке 4 показана схема работы манипуляторной установки, где а – установка сваи; б – монтаж наголовника с погружателем; в – погружение сваи.

- Оборудование с системой контроля и обратной связи. Продвинутые вибропогружатели и установки статического вдавливания оснащены бортовыми компьютерами, которые в реальном времени регистрируют ключевые параметры: скорость погружения, развиваемое усилие, крутящий момент, амплитуду и частоту вибраций. Данные сопоставляются с инженерно-геологическим разрезом (IGR) в цифровом виде. Это позволяет оперативно выявлять аномалии (встречу с препятствием, изменение типа грунта) и корректировать режим работы, предотвращая повреждение шпунта или отклонение от проектного положения. Таблица 1 демонстрирует пример лога данных, фиксирующего момент встречи с плотным прослоем.

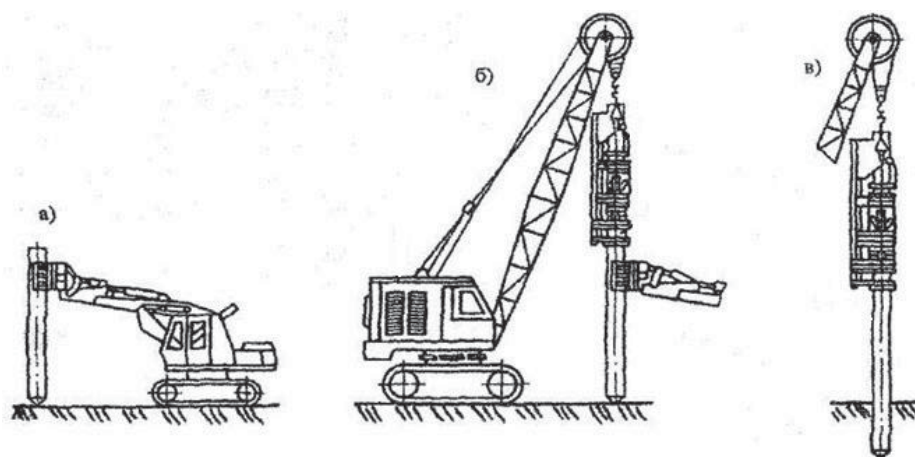


Рисунок 4 – Схема бескопровой погружения шпунта манипуляторной установкой в зоне с подземными коммуникациями

Таблица 1 – Фрагмент данных регистрации параметров погружения (скорость vs. сопротивление)

| Время, мин:с | Глубина, м | Скорость погружения, см/мин | Усилие, кН | Примечание                                        |
|--------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------------------------------|
| 10:15        | 5,2        | 45                          | 120        | Нормальный режим                                  |
| 10:20        | 5,8        | 40                          | 135        | Погружение в суглинок                             |
| 10:22        | 6,1        | 5                           | 320        | Резкое падение скорости, рост усилия              |
| 10:25        | 6,2        | 42                          | 140        | Режим восстановлен после корректировки параметров |



-Технология гидравлического размыва (Jet Grouting) для лидерного погружения. В сложных грунтах (например, техногенные насыпи с жесткими включениями) применяется предварительное устройство лидерных скважин с помощью струйной цементации. Мониторинг этого этапа также интегрируется в общую систему.

Таким образом, современное оборудование трансформируется из простого исполнительного механизма в интеллектуальную измерительную и управляющую систему, что является критически важным для безопасного и качественного устройства шпунтовых ограждений в ответственных городских условиях.

#### **Выводы:**

1. Устройство шпунтовых ограждений в плотной городской застройке требует комплексного подхода, базирующегося на трех столпах: применение малозумных и мало вибрационных технологий погружения (статическое вдавливание, современное вибропогружение), использование новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, а также обязательное внедрение системы автоматизированного геотехнического мониторинга, интегрированной в BIM-модель строительства.

2. Основной тенденцией является переход от простого «забивания» шпунта к управляемому процессу его «установки» с минимизацией воздействий и непрерывным контролем.

3. Несмотря на успехи в импортозаме-

щении, для отечественной отрасли актуальной задачей остается развитие собственных комплексных программно-аппаратных решений для интеллектуального геотехнического сопровождения нулевого цикла, что критически важно для обеспечения безопасности и устойчивости строительства в сложных урбанизированных условиях.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Волков, П. Р. Современные технологии устройства шпунтовых ограждений котлованов в стесненных условиях городской застройки / П. Р. Волков, А. И. Смирнов // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – № 8. – С. 1021-1034.

2. Смирнов, А. И. Оценка влияния вибропогружения шпунта на историческую застройку с применением геотехнического мониторинга / А. И. Смирнов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2022. – № 5. – С. 17-22.

3. Технологии Press-in. Принципы, оборудование, применение / Под ред. К. Танака. – М. : Стройиздат, 2021. – 256 с.

**Родиков Денис Евгеньевич** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: denrodikov@mail.ru;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОТРАСС ПОСРЕДСТВОМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Т. И. Саблина, А. И. Познахарев, О. В. Буйко

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Статья посвящена проблемам теплопотерь в трубопроводах и роли современной теплоизоляции в повышении энергоэффективности тепловых сетей. Рассматриваются экономические и эксплуатационные последствия утечки тепла, подчеркивая важность качественного состояния изоляции трубопроводов. Обсуждаются современные теплоизоляционные материалы, такие как пенополиуретан, базальтовая вата, пенополистирол, и их особенности, влияющие на снижение теплопотерь. Заключение статьи фокусируется на важности комплексного подхода к выбору теплоизоляционного материала, учитывая температурные режимы, агрессивность среды, бюджеты проекта и экологические стандарты. Подчеркивается значимость дальнейших научных исследований и разработок в сфере теплоизолирующих материалов для повышения надежности и устойчивости систем теплоснабжения.*

**Ключевые слова:** теплопотери, теплоизоляция, пенополиуретан, минеральная вата, инновационные материалы, энергоэффективность, надежность, экология.

Теплопотери в трубопроводах представляют собой существенную проблему, затрагивающую широкий спектр отраслей – от энергетики и до коммунального хозяйства. Экономические последствия этих потерь колоссальны. Утечка тепла напрямую сказывается на снижении КПД всей системы, приводя к увеличению расходов на топливо и энергоресурсы. Это особенно актуально в условиях постоянно растущих цен на энергоносители. Помимо финансовых потерь, неконтролируемые теплопотери создают риски для безопасности эксплуатации трубопроводов. Например, резкие перепады температур могут вызывать термические напряжения в металле труб, что со временем приводит к образованию трещин и, в конечном счете, к перебоям в теплоснабжении. Важным фактором является состояние изоляции трубопровода. Эффективная теплоизоляция – это ключевой элемент минимизации теплопотерь. Современные теплоизоляционные материалы, такие как пенополиуретан, базальтовая вата, пенополистирол, обладают низкой теплопроводностью и обеспечивают высокую эффективность изоляции [1]. Однако качество изоляции со временем может ухудшаться из-за механических повреждений, воздействия влаги или старения материала, что приводит к увеличению теплопотерь.

В современных условиях проектирования широко применяются методы теплового моделирования и компьютерного анализа, которые позволяют оптимизировать конст-

рукцию трубопроводов и выбрать оптимальные материалы и изоляцию, что способствует сокращению теплопотерь и повышению энергоэффективности [2].

Теплоизоляция играет ключевую роль в обеспечении эффективной работы тепловых сетей, что особенно актуально для России, где климатические условия требуют надежных решений для сохранения тепла. Рассмотрим подробнее наиболее распространенные теплоизоляционные материалы, используемые для тепловых сетей в нашей стране, и их особенности. Основные теплоизоляционные материалы:

- Пенополиуретан (ППУ) представляет собой одну из самых популярных разновидностей теплоизоляционных материалов. Это газонаполненный пластик, который характеризуется однородной ячеистой структурой, содержащей множество мелких пузырьков газа. Такой состав обеспечивает ППУ низкие показатели теплопроводности, что делает его идеальным для использования в тепловых сетях [3]. ППУ обладает высокой прочностью и долговечностью, а также устойчив к воздействию влаги и химических веществ. Пенополиуретан активно используется для изоляции трубопроводов, т.к. он легко монтируется и может принимать любую форму. Кроме того, ППУ имеет низкий вес, что упрощает транспортировку и установку. Однако, несмотря на все его преимущества, ППУ может быть подвержен воздействию ультрафиолетового излучения, что требует дополнитель-

ной защиты в открытых системах.

- Пенополимерминеральная изоляция (ППМ) – вспененного пенополиуретана с минеральными наполнителями, такими как песок, зола и другие подобные материалы. Введение мелкодисперсного наполнителя в состав ППУ значительно улучшает его физические характеристики, такие как прочность и устойчивость к механическим повреждениям. ППМ также способствует снижению расхода компонентов при производстве, что делает его более экономичным вариантом по сравнению с чистым пенополиуретаном [4]. Этот материал подходит для использования в условиях повышенной влажности и может применяться как для изоляции трубопроводов, так и для утепления зданий. Но стоит отметить, что ППМ может иметь несколько более высокие показатели теплопроводности по сравнению с чистым ППУ, что следует учитывать при выборе материала.

- Минеральная вата – это еще один широко используемый теплоизоляционный материал, который изготавливается из волокон, получаемых путем расплава минерального сырья. Эти волокна формируются в плиты, маты или рулоны, что делает их универсальными для различных применений. Одним из главных преимуществ минеральной ваты является ее низкая стоимость, что делает ее доступным вариантом для многих проектов. Однако минеральная вата впитывает влагу, в связи с чем требуются дополнительные защитные покрытия.

Эти материалы играют важную роль в сохранении тепла в трубопроводах, обеспечивая надежную работу тепловых сетей.

Приведем примеры использования теплоизоляционных материалов. В Алтайском крае, например, услуги централизованного теплоснабжения охватывают 263 населенных пункта, а протяженность тепловых сетей составляет около 3000 км. Многие из этих сетей были проложены еще в советское время с использованием минеральной ваты в качестве теплоизоляции. В среднем, ежегодно в крае заменяется 3-4% тепловых сетей, при этом 58% из них нуждаются в замене. Это подчеркивает важность выбора качественных теплоизоляционных материалов, чтобы снизить количество аварийных ситуаций, которые в регионе составляют около 190 единиц в год. Удельный вес потерь тепловой энергии достигает 21,3%, что также указывает на необходимость обновления систем теплоизоляции.

Интересно отметить, что история теплоизоляционных материалов насчитывает бо-

лее ста лет. Минеральная вата была изобретена в 1840-х годах американским изобретателем, однако патент на разработку был получен немецким инженером. Это открытие стало настоящим прорывом в области теплоизоляции и открыло новые горизонты для строительства и теплоэнергетики. Пенополиуретан был изобретен в 1937 г. в Германии, и уже в 1944 г. началось его промышленное производство. С тех пор этот материал стал одним из наиболее востребованных в различных отраслях, включая строительство, автомобилестроение и, конечно же, теплоизоляцию. В 1972-1973 гг. изобрели пенополимерминеральную изоляцию в России в Центральной лаборатории тепловых сетей. Опытные образцы были заложены в 1978 г. в Ленинграде.

Эффективная теплоизоляция трубопроводов – критически важная задача, особенно в условиях растущих цен на энергоресурсы и усиления требований к экологической безопасности. Традиционные методы изоляции, хотя и выполняют свою функцию, часто не справляются с современными вызовами, требующими максимальной эффективности и минимального воздействия на окружающую среду. Поэтому активно развиваются инновационные технологии, направленные на создание новых, более совершенных теплоизоляционных материалов. Рассмотрим подробнее некоторые из них:

1. Использование наноматериалов: нанотехнологии открывают огромные возможности для улучшения теплоизоляционных свойств материалов. Введение наночастиц различных веществ (например, оксида кремния, углеродных нанотрубок, графена) в матрицу традиционных изоляционных материалов, таких как пенополиуретан или минеральная вата, позволяет существенно снизить их теплопроводность. Механизм действия основан на рассеивании фононов – квантов колебательной энергии кристаллической решетки – на границах наночастиц. Это приводит к уменьшению скорости передачи тепла внутри материала. Более того, наночастицы могут улучшать механическую прочность и долговечность изоляции, делая ее более устойчивой к внешним воздействиям – вибрации, ультрафиолетовому излучению и агрессивным средам. Но широкое внедрение наноматериалов сдерживается пока высокой стоимостью производства и необходимостью решения вопросов биосовместимости и токсичности некоторых наночастиц.

2. Развитие аэрогельных технологий: Аэрогели – это уникальные материалы с по-

ристой структурой, состоящие на 90-99% из воздуха. Их чрезвычайно низкая теплопроводность обусловлена минимизированной теплопередачей как через конвекцию, так и через теплопроводность самого материала. В качестве основы для аэрогелей могут использоваться различные вещества, например, кремнезём, оксид алюминия, углерод. Кремнезёмные аэрогели обладают наилучшими теплоизоляционными характеристиками, но являются хрупкими и требуют аккуратного обращения. Разрабатываются новые композитные аэрогели с улучшенными механическими свойствами, например, армированные углеродными волокнами. Основная проблема широкого применения аэрогелей – их высокая стоимость и сложность в производстве. Кроме того, необходимо учитывать гигроскопичность некоторых типов аэрогелей, которая может снижать их эффективность при воздействии влаги.

3. Разработка экологичных материалов: Стремление к экологичности стимулирует разработку изоляционных материалов на основе возобновляемых ресурсов, без использования фреонов и других вредных веществ. Перспективными направлениями являются использование растительных волокон (лен, конопля), переработанных материалов и биополимеров. Эти материалы, как правило, обладают меньшей эффективностью теплоизоляции по сравнению с традиционными, но их применение способствует снижению углеродного следа и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

4. Экструдированный пенополистирол (XPS): отличается высокой плотностью и водостойкостью, что обеспечивает хорошую механическую прочность и долговечность. Однако высокая стоимость ограничивает его применение в некоторых проектах.

5. Полиизоциануратные пенопласты (PIR): обладают отличными теплоизоляционными свойствами и высокой огнестойкостью. Однако, для их нанесения требуется специальное оборудование, что увеличивает затраты на монтаж.

6. Силиконовая изоляция: отличается высокой термостойкостью и химической инертностью, что делает ее пригодной для изоляции трубопроводов с агрессивными средами. Недостаток – меньшая пластичность по сравнению с другими материалами.

В заключении, можно сказать, что выбор оптимального материала для теплоизоляции

трубопроводов зависит от множества факторов, включая температуру рабочей среды, агрессивность окружающей среды, бюджет проекта и экологические требования. Современные инновации направлены на создание материалов, обладающих высокой эффективностью, долговечностью, экологической безопасностью и доступной стоимостью. Дальнейшие исследования и разработки в области теплоизоляционных материалов будут способствовать созданию еще более эффективных и экологичных решений для промышленности и ЖКХ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкарев, В. Технологии и инновации в области теплоизоляции трубопроводов [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thermalzone.ru/articles/view/tekhnologii-i-innovatsii-v-oblasti-teploizolyatsii-truboprovodov> (дата обращения: 07.02.2025).
2. Сорокин, А. И. Современная теплоизоляция тепловых сетей / А. И. Сорокин, М. В. Корягин // Матер. XI Междунар. студенч. науч. конф. «Студенческий научный форум» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018011226> (дата обращения: 07.02.2025).
3. Павлова, Д. В. Анализ и проблемы исследований труб централизованного теплоснабжения с предварительной изоляцией из ППУ и ППМ / Д. В. Павлова // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (дата обращения: 07.02.2026).
4. Сравнительный анализ материалов для теплоизоляции трубопроводов. / сайт Ленинградского завода металлоизделий. – Режим доступа: [https://oporamet.ru/articles/sravnitelnyj\\_analiz\\_materialov\\_dlya\\_teploizolyatsii\\_truboprovodov](https://oporamet.ru/articles/sravnitelnyj_analiz_materialov_dlya_teploizolyatsii_truboprovodov) (дата обращения: 07.02.2026).

**Саблина Татьяна Ивановна** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [sati0712@yandex.ru](mailto:sati0712@yandex.ru);

**Познахарева Андрей Ильич** – студент группы С-23 ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [Ligr7900@mail.ru](mailto:Ligr7900@mail.ru);

**Буйко Ольга Валентиновна** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [buyko2023@inbox.ru](mailto:buyko2023@inbox.ru).



## КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В ПОСЕЛКЕ ОТРАДНОЕ

Н. О. Саурин, Т. И. Саурина, И. В. Харламов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается объемно-планировочное и конструктивное решение жилого одноэтажного дома для реализации совместного международного научно-исследовательского проекта IsolMAX для изучения целесообразности использования каркасной технологии для строительства в условиях резко континентального климата юга Западной Сибири. Несущий каркас дома выполнен из легких стальных профилей. На строительную площадку каркас доставлялся в виде отправочных марок. Отправочные марки соединялись болтами, что ускоряло строительство. Конструктивные элементы имели небольшой вес, поэтому монтаж произведен без использования грузоподъемной техники. Для анализа теплофизических характеристик наружных стен было предусмотрено несколько вариантов теплоизоляции ограждающих конструкций. С целью повышения класса энергоэффективности здания толщины теплоизоляционных слоев в наружных ограждающих конструкций приняты почти в два раза больше, чем предусматривают российские нормы теплозащиты. Оценку теплофизических параметров среды в толще ограждающих конструкций и в помещениях дома, выполняли системой измерительных датчиков. Внешние климатических условий отслеживались с помощью придомовой метеостанции.*

**Ключевые слова:** легкий стальной каркас, оцинкованные профили, минераловатные изделия, пенополистирол, аквапанель, гипсокартон, теплопроводность, измерительные датчики.

По данным Росстата, ввод жилья в России в 2023 году составил 110,44 млн. м<sup>2</sup>. При этом на долю малоэтажных домов пришлось 58,68 млн. кв. м. Тенденция увеличения малоэтажного строительства в последние годы носит устойчивый характер, это подтверждено итогами строительства в 2025 году. По данным ассоциации «Малоэтажная страна» увеличивается спрос на дома, построенные по каркасной или каркасно-панельной технологиям. В 2018-2019 годах на их долю приходилось 21,96%, а в 2023 году домов по этой технологии построено уже 43,5%.

В качестве материала для изготовления каркасов в основном используется древесина, реже легкие стальные конструкции [1-3]. Основным теплоизоляционным материалом в таких домах, являются изделия из минеральной ваты.

Интересно, что в скандинавских странах, являющихся сторонниками малоэтажного строительства, в последнее время чаще всего используется каркасная технология. Вместе с тем у россиян проявляется осторожность к использованию каркасных технологий. Легкие конструкции со стальным каркасом имеют ряд кажущихся недостатков. Они обусловлены высокой теплопроводностью, склонностью к коррозии и низким пределом

огнестойкости, низкой тепловой инерцией материалов, применяемых в качестве заполнения каркасной стены. В совокупности это может способствовать повышению энергопотребления здания и снижению уровня комфортности проживания в нем, особенно в летний период. Это представляет собой серьезную проблему, поскольку с повышением среднегодовой температуры и непрерывным ростом спроса на электроэнергию, особенно в жилом секторе, летнее кондиционирование воздуха оказывает значительное влияние на общее энергопотребление зданий, не говоря об уровне энергопотребления зданий в зимний период в условиях суровых сибирских зим.

В 2018 году был сформирован совместный международный научно-исследовательский проект IsolMAX для изучения целесообразности использования каркасной технологии для строительства в условиях резко континентального климата юга Западной Сибири. Данный проект реализован при участии университета г. Тренто (Италия), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», компании Cogi srl. (Италия), исследовательского фонда Бруно Кесслера (Италия).

Авторским коллективом был разработан

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 1 2026

## КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В ПОСЕЛКЕ ОТРАДНОЕ

проект жилого многоквартирного одноэтажного жилого дома площадью около 90 м<sup>2</sup>. В качестве несущих конструктивных элементов были приняты легкие стальные конструкции. Основным утеплителем выбраны минераловатные маты. Несущие конструкции произведены фирмой Cogi srl, Италия в Милане. Строительство дома началось в апреле и было завершено в октябре 2019 года.

Дом расположен в Первомайском районе Алтайского края. В его строительных конструкциях и внутренних помещениях установлены датчики, позволяющие отслеживать такие параметры как: температура, влажность, уровень углекислого газа, энергопотребление, параметры окружающей среды (температура, влажность, скорость и направление ветра, солнечная радиация), структурные изменения в несущем каркасе. Все параметры непрерывно отслеживались в течение двух лет с возможностью онлайн доступа участников проекта.

Особенностью научно-исследовательского проекта IsoMAX, а, следовательно, и данной работы заключается в том, что изучение поведения конструкций производилось в специально построенном для данных целей, объекте в режиме реального времени. Следовательно, имеется возможность оценить характеристики стен из ЛСТК не в смоделированных условиях, а в условиях реально существующего здания, причем существующего в экстремальных климатических условиях. Это дает уникальную возможность углубить понимание того как необходимо оптимально проектировать здания из ЛСТК с точки зрения энергоэффективности.

В данной статье дается описание конструктивного решения основных элементов здания.

Экспериментальное здание – одноэтажный жилой дом. Здание прямоугольное в плане, имеет размеры в осях 10,315 × 7,810 м. Несущий каркас здания представляет собой жесткую пространственную конструкцию, выполненную из холодногнутого оцинкованных С-образных профилей, имеющих сечения, соответствующие нагрузкам (рисунок 1).

Каркас состоит из стеновых панелей и балочного чердачного перекрытия, соединенных между собой при помощи самонарезающих винтов. Устойчивость каркаса обеспечивается продольными и поперечными несущими стенами и горизонтальным чердачным перекрытием, связывающим стены.

Все несущие элементы конструктивной системы steelMAX выполнены из стальных

тонкостенных оцинкованных холоднокатаных профилей производства фирмы Cogi srl, Италия в соответствии с европейским стандартом EN 10162.

Каркас изготовлен в соответствии с европейским стандартом EN 1090-2. Профили имеют С-образную форму, стенка профиля усилена продольным гофром, увеличивающим его жесткость. Все профили изготовлены из стали марки S280GD + Z275.

Для быстроты монтажа и обеспечения его высокой точности элементы каркаса собраны в панели в заводских условиях и доставлены на место строительства в готовом виде наземным транспортом (рисунок 2).

Две наружные стены, обращенные на юго-запад и юго-восток выполнены по варианту А (рисунок 3) и состоят из следующих слоев:

- цементная плита для наружных работ (КНАУФ АКВАПАНЕЛЬ®) – 12,5 мм, оштукатуренная по сетке из стекловолокна;
- ветрозащитная паропроницаемая мембрана Изоспан А;
- каркас SteelMAX® с заполнением минеральной ватой – 100 мм;
- гипсокартон влагостойкий – 12,5 мм;
- минеральная вата – 80 мм;
- внутренний каркас из оцинкованной стали, для крепления гипсокартона с заполнением минеральной ватой – 70 мм;
- пароизоляция Изоспан В;
- два слоя гипсокартона общей толщиной 25 мм.

Общая толщина стены составила 304 мм, при этом на долю утеплителя приходится 250 мм.

Две другие стены, обращенные на северо-запад и северо-восток, выполнены по варианту В (рисунок 4) и имеют следующие слои (состав стены по варианту В (снаружи – внутрь)):

- фасадный пенополистирол толщиной 50 мм, оштукатуренный по сетке из стекловолокна, толщина штукатурного слоя – 3-4 мм, покраска;

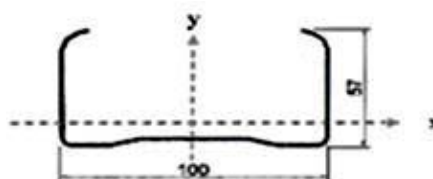


Рисунок 1 – Холодногнутый оцинкованный профиль steelMAX

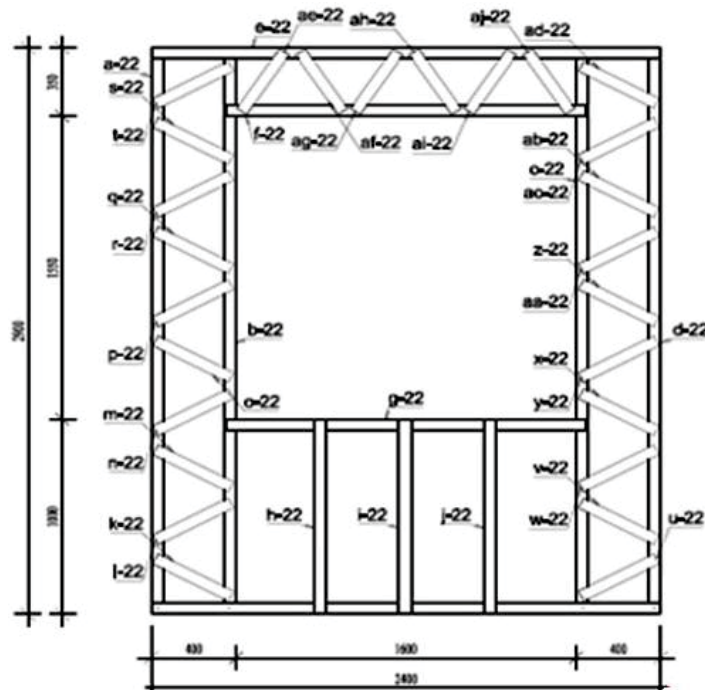


Рисунок 2 – Каркас стеновой панели с оконным проемом

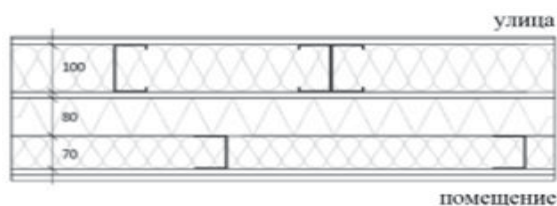


Рисунок 3 – Конструкция стены по варианту А

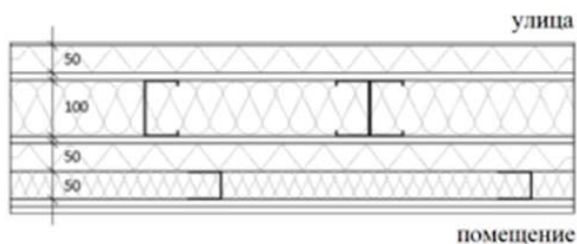


Рисунок 4 – Конструкция стены по варианту В

- цементная плита наружная (КНАУФ АКВАПАНЕЛЬ®) толщиной 12,5 мм;
- ветрозащитная паропроницаемая мембрана Изоспан А;
- каркас SteelMAX® с заполнением минеральной ватой – 100 мм;
- гипсокартон влагостойкий толщиной 12,5 мм;
- слой минеральной ваты толщиной 50 мм;
- гипсокартон влагостойкий толщиной 12,5 мм;

- каркас для крепления гипсокартонных листов с заполнением минеральной ватой толщиной 50 мм;
- пароизоляция Изоспан В;
- два слоя гипсокартона общей толщиной 25 мм.

Общая толщина стены составила 304 мм, при этом на долю утеплителя приходится 250 мм.

Исследуемый жилой дом оборудован датчиками измерения параметров окружающей среды для круглосуточного контроля. Датчики смонтированы в процессе возведения конструкций здания. Система мониторинга включает:

- датчики окружающей среды для измерения температуры в помещении, относительной влажности и уровня CO<sub>2</sub>;
- датчики температуры для измерения температуры на внутренних поверхностях стен, пола и крыши, в толще указанных конструкций, а также на их наружных поверхностях;
- измерители теплового потока;
- датчики температуры, в системе приточно-вытяжной вентиляции, а также датчик, контролирующий включение/выключение рекуперативной установки;
- датчики открытия/закрытия окон;
- счетчик потребления тепла;
- счетчик потребления электроэнергии;

## КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА В ПОСЕЛКЕ ОТРАДНОЕ

- структурных датчиков, отслеживающие деформации в каркасе здания;
- метеостанция для измерения температуры воздуха, температуры в грунте на глубине 1,5м, скорости и направления ветра, атмосферного давления.

Отслеживаемыми параметрами являются:

- температура, относительная влажность и уровень CO<sub>2</sub> во всех помещениях;
- наружные и внутренние температуры поверхностей стен, кровельного покрытия, потолка, пола;
- температуры на входе и выходе из регулируемой приточно-вытяжной установки, а также в воздуховодах приточной и вытяжной систем вентиляции;
- энергопотребление;
- внешние условия окружающей среды (температура, влажность, скорость и направление ветра, солнечная радиация);
- структурные изменения несущего каркаса здания.

### **Заключение**

1) Строительство дома было начато в апреле 2018 года. Дом сдан в эксплуатацию в октябре 2018 года. Таким образом, за счет использования легких металлических конструкций и использования технологий «сухого строительства», объект был сдан в короткие сроки.

2) В период строительства было установлено все измерительное оборудование для оценки энергоэффективности и изучения уровня комфорта для жителей дома.

3) С октября 2018 года ведется приборное наблюдение эксплуатационных параметров здания.

4) Описание конструктивного решения покрытия дома и результаты экспериментальных исследований будут опубликованы в следующих статьях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Саурин, Н. О. Конструктивное решение несущих стен одноэтажного жилого дома с утеплением монолитным пенобетоном / Н. О. Саурин, И. В. Харламов // Ползуновский альманах. – № 1. – 2025. – С. 195-200.
2. Callegro, N. Passive design strategies for the improvement of summer indoor comfort conditions in lightweight steel-framed buildings / N. Callegro [and others] // Building simulation applications BSA. – 2022. – 5th IBPSA-Italy conference Bozen-Bolzano, 29th June. – 1st July 2022.
3. Саурин, Н. О. К выбору конструктивных систем наружных стен малоэтажных зданий / Н. О. Саурин, Т. И. Саурина, И. В. Харламов // Ползуновский альманах. – № 1. – 2024. – С. 163-168.

**Саурин Никита Олегович** – студент группы СУЗ-21 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: saurin-nikita@mail.ru;

**Саурина Татьяна Ивановна** – магистр ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kharlamovat@mail.ru;

**Харламов Иван Викентьевич** – к.т.н., заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kharlamov-1948@mail.ru.



## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ СТЕН ПЕРВЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ПЯТИЭТАЖНЫХ ДОМОВ В БАРНАУЛЕ

Н. О. Саурин, И.В. Харламов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В крупнопанельных домах серии 1-464, построенные в Барнауле в 1960-х годах, возникают серьёзные теплопотери, вызванные отклонениями от проектного решения и деформацией утеплителя. Это приводит к повышенному расходу энергии на отопление и необходимости срочной реконструкции с улучшением теплозащитных свойств стен.*

**Ключевые слова:** крупнопанельные дома, теплопотери, серия 1-464, каркасно-обшивные системы, тепловая защита, монолитный пенобетон, стеновая панель, приведенное сопротивление теплопередаче, отклонения от проекта, тепловизионные съемки.

Первый крупнопанельный дом в СССР был построен в 1949 году в Москве. Для быстрого обеспечения населения СССР жильем после окончания Великой Отечественной войны в 1957 году был разработан общесоюзный проект крупнопанельных домов серии 1-464 [1].

Первые дома были построены в Москве на территории бывшей деревни Черемушки. Впоследствии во многих городах Советского Союза появились микрорайоны, застроенные домами этой серии, и все они назывались «Черемушки» (рисунок 1).

В Барнауле есть ближние и дальние «Черемушки». Первый панельный дом в Барнауле был построен в 1961 году на ул. Союза Республик, 31. Домами этой серии был застроен квартал между улицами Молодежная - Союза Республик и проспектами Социалистический и Ленина. Дома сделаны малометражными, но с минимально необходимыми удобствами для проживания.

Типовой проект предусматривал наружные стены трехслойной конструкции (рисунок 2). Внутренний и наружный слои стеновой панели запроектированы из тяжелого железобетона и объединялись жесткими ребрами из армированного керамзитобетона объемной плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$ , которые должны были частично разорвать мосты холода между наружным и внутренним слоями панелей. Внутренний несущий слой стеновой панели предусмотрен толщиной 90 мм, а наружный – толщиной 50 мм. Внутри панели закладывался теплоизоляционный материал из жестких минераловатных плит объемной плотностью  $150 \text{ кг/м}^3$ , или вкладыши из газобетона объемной плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$ . Общая толщина стены для г. Барнаула была принята 300 мм.

По теплофизическим характеристикам данную конструкцию стены относят к неоднородным. Приведенное сопротивление теплопередаче стены  $R_{пр}$  проектом предусмотрено  $1,47 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ , а теплопотери –  $0,68 \text{ Вт}$ .

К сожалению, в момент начала строительства крупнопанельных домов для изготовления стеновых панелей в Барнауле не производилось керамзитового гравия нужной объемной плотности и жестких минераловатных плит с параметрами, предусмотренными типовым проектом. Было принято решение ребра панелей делать из тяжелого бетона, что значительно ухудшило тепловую однородность конструкции. Вместо жестких минераловатных плит применили стекловату в виде матов, выпускавшуюся барнаульским заводом ячеистого бетона из легкоплавкого доменного шлака. Эта минеральная вата склонна к деградации из-за низкой плотности, и к усадке. Долговечность использованной минеральной ваты не соответствует нормативному сроку службы здания. Её основное предназначение было для утепления трубопроводов тепловых сетей, межремонтный срок которых не превышал 15-20 лет.



Рисунок 1 – Главный фасад панельного дома серии 1-464



вий г. Барнаула требуют применять стены с  $R_{пр} = 3,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$  при этом теплопередача должна составлять 0,28 Вт. Таким образом стеновые панели на начальном этапе эксплуатации имели сопротивление теплопередаче в 2,74 раза меньше требуемого по современным нормам. А если рассматривать ситуацию с осыпавшимся утеплителем теплопотери увеличиваются более чем в 9 раз по сравнению с ныне действующими нормами.

Таким образом, расчеты показывают, что дома имеют чрезвычайно большие тепловые потери и активно подогревают окружающую атмосферу, а жители домов вынуждены неоправданно много платить за отопление. Учитывая, что стоимость энергоресурсов в Алтайском крае самая высокая в Сибирском регионе, проживающим в этих домах, затраты на обогрев окружающего воздуха обходятся очень дорого.

Для подтверждения выполненных расчетов нами проведены тепловизионные исследования нескольких домов, построенных в Барнауле в период с 1961 по 1963 годы. Дома

расположены по следующим адресам: ул. Союза Республик, 31; ул. Союза Республик, 35, ул. Деповская, 4.

Тепловизионные съемки выполнялись с помощью тепловизора SeeK thermal. Съемки сделаны 18 января 2026 года. Температура наружного воздуха в районе проведения съемки в момент проведения тепловизионных исследований составляла  $-36^\circ\text{С}$ . Наружные стены домов имеют стеновые панели в первоначальном состоянии. В домах произведен ремонт межпанельных стыков. В большей части квартир произведена замена окон. Вместо оконных блоков с двойным остеклением в раздельных переплетах поставлены окна из ПВХ профилей. Некоторые фотографии тепловизионных съемок представлены на рисунках 3-5.

Анализируя тепловизионные снимки делаем следующие выводы:

- разница температуры наружной поверхности стен и окружающего воздуха достигает  $14^\circ\text{С}$ , что говорит о больших теплопотерях через стены;

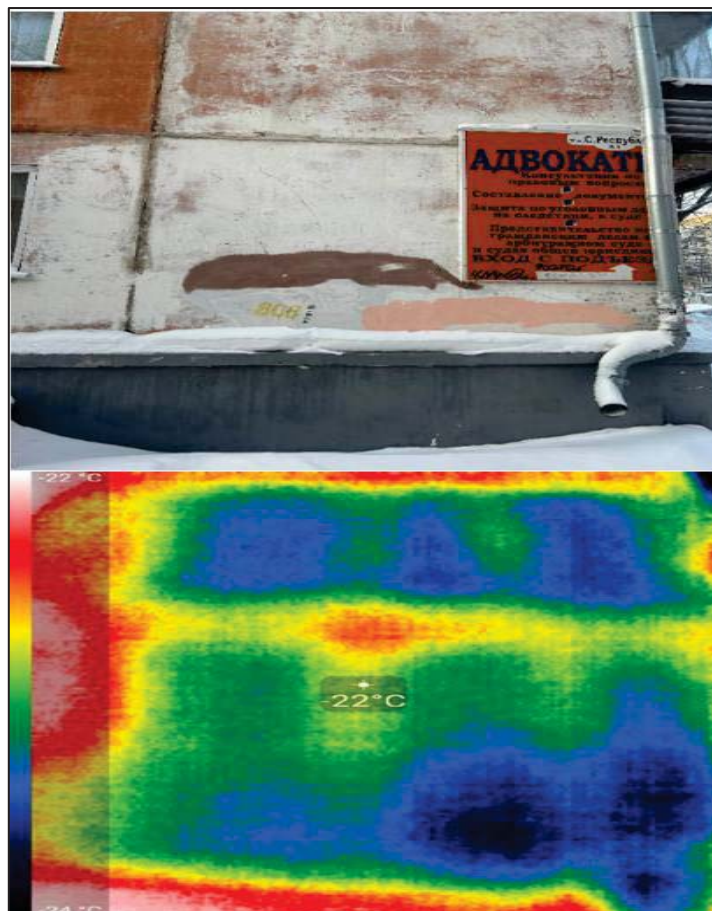


Рисунок 3 – Торцевой фасад жилого дома на ул. Союза Республик д.31



ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ СТЕН ПЕРВЫХ  
КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ПЯТИЭТАЖНЫХ ДОМОВ В БАРНАУЛЕ

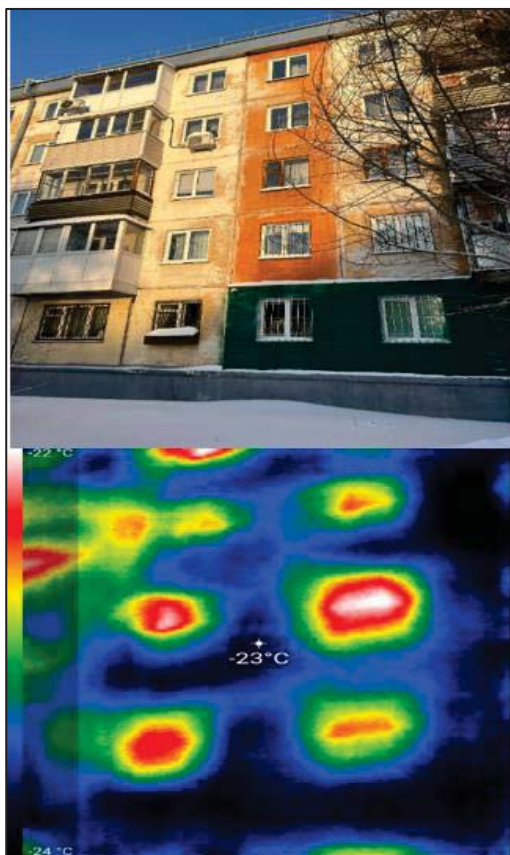


Рисунок 4 – Дворовый фасад жилого дома на  
ул. Союза Республик д.31



Рисунок 5 – Дворовый фасад жилого дома на  
ул. Союза Республик д. 35



- температура наружной поверхности стеновых панелей практически одинакова с температурой на наружной поверхности окон, тогда как стены должны быть значительно холоднее;

- ребра жесткости, соединяющие внутренний и внешний слои панелей, четко просматриваются на тепловизионных съемках и являются мостами холода (рисунки 3, 5);

- межпанельные стыки являются местами с большими теплопотерями;

- по высоте панелей температура сильно различается, что говорит о большой усадке утеплителя и образовании пустот внутри стеновых панелей (рисунки 3, 5);

- цокольная часть стены очень холодная (рисунок 3);

- очень большие теплопотери наблюдаются через оконные проемы, заполненные оконными блоками из дерева с остеклением в раздельных переплетах (рисунок 5)

Проведенные тепловизионные исследования подтвердили правильность выполненных теплотехнических расчетов наружных стен крупнопанельных зданий, построенных по серии 1-464. Потери тепла через стены более чем в 9 раз превышают теплопотери, допускаемые СП тепловая защита зданий [2].

Для случая дальнейшей эксплуатации крупнопанельных зданий без их реконструкции требуется предусмотреть их капитальный ремонт.

При капитальном ремонте следует предусмотреть доведения теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций до требуемых нормативных параметров. Это позволит улучшить санитарно-гигиенические условия и значительно сократит затраты энергии на эксплуатацию. Как следствие, появится резерв тепловых мощностей, столь необходимых для строительства новых объектов.

Предлагаем срочно проанализировать возможные варианты утепления стен и принять наиболее приемлемые решения. Желательно выбрать варианты утепления стен, при которых: в воздухопроницаемой стене не образуется конденсированной влаги; утепление повысит их тепловую инерционность. Варианты должны быть технологичными, экологичными, дешевыми и долговечными. Одним из кажущихся простых решений является заполнение пустот в панелях пено-

полиуретаном. В этом случае  $R_{пр} = 1,58 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ .

Однако расчеты показали, что внутри панелей будет образовываться конденсированная влага, а это отрицательно скажется на долговечности узлов сопряжения конструкций, и приведет к увеличению относительной влажности воздуха в помещениях.

На наш взгляд следует детально исследовать варианты утепления стен монолитным пенобетоном [3]. Предварительно предлагаем следующие варианты утепления с использованием монолитного пенобетона:

- утепление панелей заполнением внутренних пустот в стеновых панелях монолитным пенобетоном плотностью от 100 до 300 кг/м<sup>3</sup>;

- утепление панелей заполнением внутренних полостей пенобетоном с дополнительным утеплением снаружи пенобетоном с использованием каркасно-обшивной системы (КОС) при этом можно использовать пенобетоны различной объемной плотности;

- утепление снаружи пенобетоном с использованием каркасно-обшивной системы (КОС).

В результате дальнейших исследований будет обоснован более рациональный вариант утепления с использованием монолитного пенобетона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серия жилых домов 1-464А // Типовые проекты жилых домов : учеб.-метод. пособие / под ред. В. М. Седаева. – М. : Архитектура-С, 2015. – С. 158-169.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения: 19.02.2026).
3. Рыбаков, В. А. Легкие сталебетонные конструкции: монография / В. А. Рыбаков, А. В. Селиверстов. – Санкт-Петербург, 2025. – 140 с.

**Саурин Никита Олегович** – студент группы СУЗ-21 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: saurin-nikita@mail.ru;

**Харламов Иван Викентьевич** – к.т.н., заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: kharlamov-1948@mail.ru.

## МОНИТОРИНГ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

**Г. В. Свиридова, Н. В. Медведев, В. Л. Свиридов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются результаты оценки экономической эффективности инновационных решений, использованных подрядными организациями дорожной отрасли на автомобильных дорогах и искусственных сооружениях Алтайского края.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, инновация, эффективность, коэффициент дисконтирования, чистый дисконтный доход, срок окупаемости.

### **Введение**

Конечной целью каждой инновации является улучшение свойств или характеристик конструктивных элементов автомобильных дорог и искусственных сооружений (ИС) на них, а также уменьшение затрат на их создание и эксплуатацию.

По результатам внедрения новых материалов и технологий необходим мониторинг комплекса мероприятий, направленных на получение информации об итогах освоения инноваций. Поэтому основной целью данной работы явилась оценка технического состояния отремонтированных участков, а также искусственных сооружений с применением инноваций и определение фактического изменения транспортно-эксплуатационного состояния дорог, а также определения фактической экономической эффективности данных технологий.

Следует отметить, что данная работа выполнена в рамках государственного контракта между КГКУ «Алтайавтодор» и ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова».

### **Материалы и методы исследования**

Для оценки соответствия отдельных элементов автомобильных дорог и искусственных сооружений на них требованиям нормативных документов [1, 2], применялся комплекс стандартных методов испытаний [3-5].

В ходе полевых работ оценивалось состояние покрытий автомобильных дорог, в том числе продольная ровность по международному индексу IRI, наличие и размер дефектов в виде выбоин, просадок, проломов, колеи, трещин по ГОСТ 32825-2014 [3].

На мостах исследовалось состояние нанесенных инновационных ремонтных смесей на железобетонные балки пролетных строений с необходимостью проведения неотложных ремонтных работ или без таковых. На водопропускной трубе из полуколец оценива-

лось состояние швов между звеньями и системы гидроизоляции современными материалами в процессе ее возведения на объекте «Подъезд к животноводческому комплексу на 1200 голов крупного рогатого скота в Хабарском районе» в 2016 г. Экономическую эффективность внедренных инновационных решений оценивали в соответствии с ОДМ 218.11.006-2021 [6]. В основу ОДМ по оценке эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса положены следующие принципы:

- всесторонний учет специфических особенностей инноваций;
- детализация расчета показателей эффективности на каждой стадии жизненного цикла освоения инноваций;
- внедрение инноваций предполагает вложение денежных средств на различных стадиях жизненного цикла: как на стадии капитальных, так и на стадии текущих затрат инновационного проекта;
- унификация расчета оценки эффективности, которая заключается в разработке единой модели для различных видов инноваций;
- учет фактора времени, в том числе изменение во времени параметров проекта и его экономического окружения; неравноценность разновременных затрат и результатов;
- учет влияния инфляции (учет изменения цен на различные виды продукции и ресурсов в период реализации проекта);
- учет влияния неопределенностей и рисков, сопровождающих реализацию инновационного проекта.

Расчеты экономической эффективности от внедрения инноваций выполнены в следующей последовательности:

- а) описание традиционного и инновационного решения;

б) выявление результатов внедрения инновации;

в) определение периодов жизненного цикла обеих решений и общего периода расчета;

г) анализ и определение потребительских свойств решений на каждом шаге общего расчетного периода;

д) определение затрат на каждом расчетном шаге общего периода расчета;

е) расчет эффектов от внедрения инновации;

з) расчет показателей экономической эффективности.

В соответствии с видами получаемых эффектов выделяют две разновидности экономической эффективности от внедрения инноваций. Первая – экономическая эффективность от суммарной экономии затрат на стадии жизненного цикла инновации – финансовая эффективность. Вторая – экономическая эффективность от социально-экономических эффектов на транспорте, в социальной сфере и от сокращения потерь от ухудшения экологической обстановки – социально-экономическая эффективность.

На данном этапе выполнения НИР осуществлена оценка только первого вида экономической эффективности

Всего в процессе выполнения научно-исследовательской работы обследовано 13 самостоятельных объектов.

#### Результаты и их обсуждение

В процессе полевых измерений временным научным коллективом (ВНК) авторов данной статьи установлено, что все геометрические размеры покрытий автомобильных дорог соответствуют установленным требованиям (ширина проезжей части, продольная ровность по индексу IRI, поперечные уклоны, колеиность, отсутствие выбоин, просадок, проломов).

Единственным и повсеместно распространенным дефектом покрытий служат силовые трещины, подлежащие заливке битумной мастикой. Для оценки сметной стоимости данной работы составлены дефектные ведомости на каждом экспериментальном участке в сравнении с аналогичным контрольным участком, где инновация не применялась.

Для оценки эффективности инноваций, в соответствии с ОДМ [6], используются следующие основные показатели, базирующиеся на соизмерении затрат на их осуществление и результатов от реализации: чистый дисконтируемый доход (ЧДД), индекс доходности (ИД) затрат на инновацию, срок окупаемости.

ЧДД – накопленные дисконтированные

выгоды от внедрения инновации, определяемые как разница между результатами и затратами на протяжении всего жизненного цикла объекта внедрения инновации, где суммирование распространяется на все шаги расчетного периода. ЧДД вычисляют по формуле (1)

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t)(1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

где  $R_t$  – результаты от осуществления внедрения инновации на  $t$ -м шаге расчета;  $Z_t$  – дополнительные затраты на реализацию внедрения инновации на  $t$ -м же шаге, в т.ч. потери, связанные с ущербом, который может принести инновация или затраты на устранение данного ущерба;  $E$  – норма дисконта;  $T$  – горизонт расчета (расчетный период сравнения вариантов без инновации и с инновацией), определяемый жизненным циклом;  $t$  – номер шага расчета, соответствующий определенной стадии жизненного цикла;  $(1+E)^{-t}$  – коэффициент дисконтирования.

С помощью коэффициента дисконтирования выполняется учет фактора неравноценности разновременных затрат и результатов, осуществляемый путем приведения всех показателей к одному моменту времени.

Величина нормы дисконта для расчета эффективности расходования бюджетных средств устанавливается централизованно. Временно, до централизованного установления нормы дисконта в качестве нее может выступать коммерческая норма дисконта. Её величину рекомендуется принимать по ставке рефинансирования Центрального банка России.

К доходной части как инновационного, так и традиционного проектов добавляются все налоги, перечисляемые дорожными организациями в разные уровни бюджетов. При этом часть налогов рассчитывается от общего объема капитальных вложений (например, НДС), часть налогов рассчитывается с фонда заработной платы (например, ЕСН, НДФЛ).

По данным ОДМ [7], если расчетный ЧДД положительный, то инновационный проект может быть принят к широкому применению. Такие показатели, как индекс доходности и срок окупаемости, характеризующие эффективность вложения инвестиций в проект, должны считаться отдельно для инновационного и традиционного проектов в соответствии с принципом сравнения [6].

ИД затрат на инновацию представляет собой увеличенное на единицу отношение суммы дисконтированных эффектов к величине дисконтированных затрат (2)

# МОНИТОРИНГ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

$$ИД = \frac{1}{3_{ин}} \sum_{t=0}^T (R_t - 3_t^*) (1 + E)^{-t} + 1, . \quad (2)$$

где  $3_{ин}$  – капитальные затраты или единовременные текущие затраты на реализацию инновационного проекта;  $3^*$  – затраты на  $t$ -м шаге расчета за вычетом затрат на реализацию инновационного проекта.

Индекс доходности инвестиций (ИДИ) всегда больше единицы для проектов с положительным ЧДД и наоборот.

Так как ИДИ для проектов с положительным ЧДД всегда больше единицы, то получив точное число ИДИ, можно лишь убедиться, что на каждый вложенный в проект рубль отдача будет больше как раз на величину индекса доходности.

Пока не будет пройден весь жизненный цикл инновационной продукции (срок, на который рассчитывается соответствующий элемент конструкции автодороги или искусственного сооружения, а не срок гарантийных обязательств Подрядчика перед Заказчиком), получить точное значение нормы доходности все еще не представляется возможным [6].

Расчетный период при оценке эффективности внедрения инноваций на стадиях опытно-экспериментального применения инновации на участках автодорог охватывает инвестиционные этапы жизненного цикла:

- НИОКР с предусмотренным или уже осуществленным бюджетным финансированием;
- этап разработки проектной документации, с учетом разработки специальных ТУ;
- непосредственное выполнение работ на объектах;
- эксплуатационная стадия, включающая ремонт и содержание объекта с учетом гарантийных обязательств.

Продолжительность расчетного периода должна быть не менее срока службы инновации. Если при расчете срока окупаемости за имеющийся в нашем распоряжении расчетный период (это время с момента внедрения инновации по настоящее время) не будет достигнуто положительное значение, необходимо будет дополнительно оценивать социально-экономическую и экологическую эффективность вследствие повышения потребительских свойств готового продукта [6].

В качестве примера приведем подробный расчет экономической эффективности инновации «Ремонт железобетонных конструкций с применением сухих ремонтных смесей на мосту через р. Татарка на автомобильной дороге «Мартыново – Тогул – Зале-

сово», км 129+751, в Заринском районе» осуществленной в 2016 году специалистами ООО «БСР» с применением сухой ремонтной смеси для конструктивного ремонта Master Emaco S5400 стоимостью 67,0 руб. за 1 кг.

В процессе выполнения НИР стоимостью 85805 руб., специалисты ООО «Торговый дом Прагматика» предложили альтернативный вариант – сухую ремонтную смесь производства ЗАО «Карьер Хрустальная Гора» МБР-400 по цене 31,0 руб. за 1 кг.

Результаты расчетов базового и инновационного вариантов на принятую единицу измерения в 100 м<sup>2</sup> отремонтированных балок моста представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

В нулевой год реализации инновации (2016 г.) в строку 3 таблиц 1 и 2 вносятся единые капитальные затраты (расходы) без НДС. В последующие годы эксплуатации моста расходы на ремонт балок пролетных строений Подрядчик не нес, поэтому по строке № 3 «Расходы» равны нулю.

В качестве денежного потока от деятельности (строка № 1) в нулевой год входит НДС (18% в 2016 г.) от суммы расходов. В последующие годы по строке № 1 входят амортизационные отчисления в расчете на 30 лет эксплуатации пролетных строений моста. Кроме этих сумм, в Доходы (строка № 2) дополнительно включены суммы налогов на ФЗП (ЕСН и ПН), а также налог на прибыль.

По строке № 4 «Сальдо инвестиционной деятельности» приводятся результаты разницы между доходами и расходами по строкам № 2 и 3. В строке № 5 «Сальдо итоговое» посчитана сумма значений из строк № 1 и 4.

Чистый доход (ЧД) указан в последнем столбце ( $t = 9$ ) строки 6 таблиц:  $ЧД_1 = -316988$  руб.,  $ЧД_2 = -244295$  руб.

Потребности в финансировании (ПФ) базового и инновационного вариантов составили, соответственно, 552853 и 415361 руб. на шаг  $t = 0$  (данные из строки 6 на шаг  $t = 0$ ).

Момент окупаемости проектов также определяется на основании данных в строке 6 таблиц. Момент перехода величины накопительного сальдо из отрицательных в положительные значения соответствует году окупаемости. В нашем случае чистые доходы меньше нуля (отрицательны), поэтому за 10 лет эксплуатации инновационный и базовый варианты не окупаются, так как прямых финансовых доходов, кроме обязательных налогов в разные уровни бюджетов, от эксплуатации моста нет.



Таблица 1 – Расчет экономической эффективности базового варианта ремонта моста смесью Master Emaco S5400 в расчете на 100 м<sup>2</sup>, в рублях

| №                           | Годы (t)                          | 2016 (0) | 2017 (1) | 2018 (2) | 2019 (3) | 2020 (4) | 2021 (5) | 2022 (6) | 2023 (7) | 2024 (8) | 2025 (9) |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                             | Показатель                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1                           | Денежный поток от деятельности    | 141519   | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    |
| Инвестиционная деятельность |                                   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 2                           | Доходы                            | 91846    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 3                           | Расходы                           | 786219   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 4                           | Сальдо ИД (2-3)                   | -694373  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 5                           | Сальдо итоговое                   | -552853  | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    | 26207    |
| 6                           | Сальдо накопительное (СН)         | -552853  | -526646  | -500439  | -474231  | -448024  | -421817  | -395610  | -369402  | -343195  | -316988  |
| 7                           | Норма дисконта Е                  | 0,89417  | 0,90862  | 0,92638  | 0,92671  | 0,9495   | 0,9426   | 0,90511  | 0,90069  | 0,825    | 0,80825  |
| 8                           | Коэффициент дисконтированный (КД) | 1,00     | 0,81246  | 0,75265  | 0,69749  | 0,66226  | 0,62425  | 0,5650   | 0,50890  | 0,41984  | 0,3393   |
| 9                           | Дисконтированное сальдо (ДС)      | -552853  | 21292    | 19725    | 18279    | 17356    | 16360    | 14808    | 13337    | 11003    | 8893     |
| 10                          | Дисконтированные инвестиции (ДИ)  | -694373  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

Таблица 2 – Расчет экономической эффективности инновационного варианта ремонта моста смесью МБР-400 в расчете на 100 м<sup>2</sup>, в рублях

| №                           | Годы t                         | 2016 (0) | 2017 (1) | 2018 (2) | 2019 (3) | 2020 (4) | 2021 (5) | 2022 (6) | 2023 (7) | 2024 (8) | 2025 (9) |
|-----------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                             | Показатель                     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1                           | Денежный поток от деятельности | 102639   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Инвестиционная деятельность |                                |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 2                           | Доходы                         | 66613    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    |
| 3                           | Расходы                        | 584613   | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| 4                           | Сальдо ИД (2-3)                | -518000  | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    |
| 5                           | Сальдо итоговое                | -415361  | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    | 19007    |
| 6                           | СН                             | -415361  | -396354  | -377346  | -358339  | -339332  | -320324  | -301317  | -282310  | -263303  | -244295  |
| 7                           | Норма дисконта Е               | 0,89417  | 0,90862  | 0,92638  | 0,92671  | 0,9495   | 0,9426   | 0,90511  | 0,90069  | 0,825    | 0,80825  |
| 8                           | КД                             | 1,00     | 0,81246  | 0,75265  | 0,69749  | 0,66226  | 0,62425  | 0,56501  | 0,50890  | 0,41985  | 0,33934  |
| 9                           | ДС                             | -415361  | 15443    | 14306    | 13257    | 12588    | 11865    | 10739    | 9673     | 7980     | 6450     |
| 10                          | ДИ                             | -518000  | 15443    | 14306    | 13257    | 12588    | 11865    | 10739    | 9673     | 7980     | 6450     |

Сумма значений строки 9 таблиц равна ЧДД:

$$\text{ЧДД}_1 = -411800 \text{ руб.},$$

$$\text{ЧДД}_2 = -313060 \text{ руб.}$$

Таким образом, оба варианта на первом этапе экономических расчетов не эффективны (ЧДД отрицательный, меньше нуля).

Для определения индекса доходности дисконтированных инвестиций (ИДД)

$$\text{ИДД} = 1 + \text{ЧДД} / K$$

найдем сумму дисконтированных инвестиций (K). K равна сумме элементов строки 10 таблиц 1 и 2.  $K_1 = 694373$ ,  $K_2 = 415699$ . Тогда

$$\text{ИДД}_1 = 1 - 411800 / 694373 = 0,40695.$$

$$\text{ИДД}_2 = 1 - 313060 / 415699 = 0,2469.$$

Так как ЧДД отрицателен, ИДД меньше единицы. Причем во втором случае индекс доходности ниже за счет меньшей стоимости ремонтной смеси МБР-400 и перехода де-

нежных потоков в раздел «Инновационная деятельность». ИДД показывает доходность в рублях на 1 руб. вложенных средств (0,407 и 0,247).

#### Заключение

В результате выполненных расчетов первого вида оценки финансовой эффективности установлено, что за весь период наблюдений жизненного цикла инноваций ни одна из них не достигла срока окупаемости.

В настоящее время ВНК осуществляет расчеты социально-экономической эффективности внедренных инноваций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. – Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. Утв. приказом Минрегион РФ от 30.06.2012 № 272; введен в действие с 01.07.2013 г. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2012. – 67 с.
2. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоя-

## МОНИТОРИНГ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

нию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – Утв. и введен в действие приказом ФА по техрегулированию от 28.09.2017 № 1245-от. – М. : Изд-во «Стандартинформ», 2017. – 28 с.

3. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. – Утв. и введен в действие приказом ФА по техрегулированию от 02.02.2015 г. № 47-ст с 01.07.2015 г. – М. : Изд-во «Стандартинформ», 2015. – 16 с.

4. ГОСТ Р 56925-2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – Утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 23.05.2016 № 370-ст. – М. : Изд-во «Стандартинформ», 2016. – 13 с.

5. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – Утв. и введен в действие распоряжением ФДА от 04.07.2018 г. № 2481-р. – М. : Росавтодор, 2018. – 73 с.

6. ОДМ 218.11.006-2021. Методические рекомендации по оценке эффективности использования

в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса. – Утв. и введен в действие распоряжением ФДА от 22.03.2021 г. № 1046-р – М. : Росавтодор, 2022. – 47 с.

**Свиридова Галина Владимировна** – преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: unkc-ts2@mail.ru;

**Медведев Никита Владимирович** – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: adio-06@mail.ru;

**Свиридов Василий Лаврентьевич** – д.т.н., профессор кафедры «Строительные материалы и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: unkc-ts2@mail.ru.

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

П. А. Смахун, Т. Е. Лютова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье приведены в структурированном виде анализ современных инновационных способов реконструкции и ремонта тепловых сетей. Определены общие критерии, особенности и основные требования, влияющие на выбор технологии и способов реконструкции и ремонта трубопроводов тепловых сетей. Предложены рекомендации по повышению надежности функционирования тепловых сетей.*

**Ключевые слова:** тепловые сети, ремонт, реконструкция, способы реконструкции, ремонта, прокладки и монтажа трубопроводов, инновационные технологии, санация трубопроводов

Тепловые сети – это сложные технические системы, состоящие из большого количества элементов и конструкций, которые включают в себя совокупность оборудования и сооружений, предназначенных для передачи тепловой энергии от генераторов тепла до потребителей.

Выход из строя любой части данной системы может нарушить работу всего участка теплосети, лишит потребителей теплоэнергии, что является критически важным в холодное время года, поэтому ремонт и реконструкция тепловых сетей является ответственной и достаточно сложной задачей. Теплосети нуждаются в периодическом обслуживании и ремонте для поддержания нормального функционирования, а также проведения модернизации. За счет своевременных и регулярных ремонтно-восстановительных, профилактических работ срок службы тепловых сетей можно продлить.

Все тепловые сети, как правило, делятся на следующие три основных вида, каждый из которых обеспечивает перенос теплоносителя необходимой температуры и давления [1]:

- магистральные сети – обеспечивают транспортировку теплоносителя от его источника до крупных узлов распределения тепла на уровне микрорайонов или больших промышленных предприятий;
- распределительные или квартальные сети – переносят теплоноситель непосредственно к потребителю;
- ответвления – теплосеть, которая доставляет тепло к тем потребителям, для которых не имеет смысла прокладывать магистральную или распределительную ветку.

Главная проблема теплосетей – это их высокий износ. По данным Минстроя РФ, предоставленных на конференции «Тепло-

снабжение – 2025», уровень износа тепловых сетей в России превышает 60%, при этом, свыше 31% – нуждаются в замене.

На примере города Барнаула, по статистике на 2025г, протяженность теплосетей составляет 1713 километров. Средний возраст внутриквартальных теплосетей составляет 37 лет, а магистральных – 32 года, при этом, для трубопроводов тепловой сети по нормативам средний срок эксплуатации составляет 25 лет.

Несмотря на то, что постоянно ведутся работы по прокладке новых теплосетей, достаточно остро продолжает стоять вопрос реконструкции уже имеющихся. Реконструкция и ремонт тепловых сетей – это стратегическая задача для населенных пунктов и предприятий

Основными способами прокладки и монтажа трубопроводов тепловых сетей являются надземная и подземная, которые, в свою очередь, делятся на канальную и бесканальную прокладки. Выбор целесообразности их способа прокладки зависит от местных условий и плотности жилой или промышленной застройки [1].

Трубы теплосетей выполняются из углеродистой стали, чугуна или асбестоцемента и утепляются пенополиуретаном или минеральной ватой.

При прокладке трубопроводов тепловой сети применяют один из следующих трех способов:

- Канальный способ – трубы укладывают в специально подготовленные траншеи в бетонные или железобетонные лотки. Монтаж производят на скользящие опоры, выполняют утепление и гидроизоляцию, сверху укладывают бетонные плиты, выполняют обратную засыпку траншеи грунтом (рисунок 1).

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 1 2026



Рисунок 1 – Канальный способ подземной прокладки трубопроводов тепловой сети при реконструкции

- Бесканальный способ – используют в непросадочных плотных грунтах, для непроводимой части улиц или внутри жилой застройки. Основным документом для реализации бесканального способа является СП 315.1325800.2017. Трубы укладывают в подготовленный канал (траншею) без железобетонных лотков, засыпают песком и накрывают бетонными плитами. Это более быстрый и экономичный монтаж, но подходит только для плотных несыпучих грунтов.

- Наружный (наземный) способ прокладки теплосетей обычно используется за пределами жилой застройки, на территории промышленных предприятий или в случаях, когда высокий уровень грунтовых вод не позволяет использовать иные способы.

Способы укладки и монтажа трубопроводов тепловых сетей зависят от конкретных местных условий, например: назначения объекта, категории грунта, пересечения с другими объектами (овраги, железные и автомобильные дороги или магистрали), протяженности и разветвленности трубопроводов тепловой сети, максимального диаметра трубопроводов, требований экономического и эстетического характера и т.п., они же и добавляют особенности в процессы реконструкции. Решение о выборе вида монтажа, а также способах реконструкции, принимаются в индивидуальном порядке на основании технико-экономических расчетов, целесообразности, рациональности – так как все это оказывает влияние на выбор. Методы ремонта и реконструкции в теплосетях бывают открытыми и закрытыми (бестраншейными) [2].

Традиционно ремонт или реконструкция тепловых сетей в условиях города открытым способом включает в себя следующие этапы и виды работ: - – вскрытие поверхности покрытия (зачастую асфальт), иногда с выкорчевыванием рядом стоящих деревьев; отрывку траншей нужной глубины; вывоз или отвалы грунта; удаление неисправного участка

трубопровода; вывоз старого теплопровода и подвоз новых труб; монтаж нового трубопровода; гидравлические испытания, обратная засыпка, облагораживание территории (восстановление покрытия).

Ремонт и реконструкция тепловых сетей открытым способом на территории городов несет в себе множество минусов, прежде всего для населения перекрытие проезжих частей движения, изменение движения общественного транспорта, пробки, шум, грохот, невозможность эксплуатации территории, на которой проводятся работы. Но тем не менее, имеется и главный плюс, в отличие от других способов. Открытый метод позволяет производить точечные работы, замена локальных проблемных мест позволяет продлить срок службы участка теплосети, в случае отсутствия необходимости полной замены или же нехватки средств для этого.

При ремонте или реконструкции трубопроводов тепловых сетей, разрушаемых от внутренней коррозии, открытый способ ремонта или реконструкции можно заменить на бестраншейную технологию (без вскрытия трубопроводов снаружи), что позволит практически полностью избежать вышеуказанных проблем [2, 3].

Технология ремонта и реконструкции трубопроводов тепловых сетей изнутри не является новой. Начало данной технологии было положено в послевоенной Германии, когда ремонт труб отопления, водопровода и канализации в условиях плотной городской застройки и с целью экономии денежных средств, начали проводить без применения открытых методов (без вскрытия снаружи).

На сегодняшний день инновационной эта технология стала благодаря последним достижениям в строительной химии, которые позволили создать защитно-ремонтный материал, обеспечивающий высокую стойкость к напряженным эксплуатационным нагрузкам тепловых сетей и необходимую технологичность для соответствия жестким условиям ремонта (по срокам и ограниченности доступа к трубопроводу). Существует несколько, наиболее распространенных способов (методов) бестраншейного ремонта и реконструкции трубопроводов тепловых сетей [2,3]

1) Метод нанесения цементно-песчаной изоляции внутри трубы тепловой сети (способ санации);

2) Метод «чулка»;

3) Метод «труба в трубе» (метод релайнинга).

Выбор метода зависит от состава и состояния грунта, расположения других инже-



нерных сетей и прочих технических условий. Самым простым и дешевым методом ремонта является способ нанесения цементно – песчаной изоляции (способ санации) [4]:

К числу достоинств рассматриваемого метода ремонта или реконструкции трубопроводов относят высокую экологическую безопасность и надежность самого слоя. Цементно-песчаные покрытия наносятся достаточно быстро (порядка 100 погонных метров в день), имеют сравнительно невысокую стоимость и обладают высокими механическими и антикоррозионными свойствами.

Это единственное известное покрытие, которое обладает свойствами пассивной и активной антикоррозионной защиты. Кроме того, нанесенное на внутреннюю поверхность эксплуатируемых трубопроводов тепловых сетей цементно-песчаное покрытие позволяет локализовать и прекратить развитие повреждений, возникших на наружной поверхности металла труб, вызванных сквозной коррозией, а в ходе дальнейшей эксплуатации на покрытии не образуются отложения [2,4].

При использовании способа санации для защиты трубопроводов тепловых сетей к цементным смесям предъявляются более жесткие требования, чем в случае сетей водоснабжения, обусловленные, в первую очередь, высокими температурами теплоносителя (до 150°С), величиной давления в трубопроводе и другими условиями, характерными для систем теплоснабжения. В этом случае к статическим и динамическим нагрузкам на цементные покрытия добавляются также нагрузки вследствие теплового расширения стальной трубы.

До недавнего времени отсутствовали материалы для покрытий, способные выдерживать тепловые нагрузки во время эксплуатации трубопровода без повреждений, влияющих на степень пригодности. Из-за теплового расширения можно было ожидать возникновения таких напряжений в зоне сцепления цемента и стали, которые могли бы привести к трещинам покрытия или к его отслоению.

В этой связи в цементно-песчаную смесь вводят специальные химические добавки модификаторы на основе не редиспергируемых полимеров, в результате смешения компонентов получается цементно-полимерная смесь, предназначенная для нанесения цементно-песчаного покрытия (ЦПП).

Нанесение цементно-полимерной смеси происходит с помощью метательной головки облицовочного агрегата, протаскиваемого

внутри теплопровода тросом и лебедкой (рисунок 2).

ЦПП представляет собой двухкомпонентную смесь (сухую и жидкую), сухая часть ЦПП состоит из портландцемента марки ПЦ 500, фракционированного кварцевого песка, базальтовой микрофибры и специальных минеральных добавок. Жидкая часть ЦПП представляет собой смесь минерально-полимерных добавок полифункционального действия. ЦПП изолирует внутреннюю поверхность теплопровода от контакта с агрессивной средой, помимо этого ЦПП обладает пассивным и активным защитными эффектами от коррозии, а также, при затвердевании надежно герметизируются локальные повреждения трубопровода. [4]

Метод «чулка» [3] – это метод, при котором внутри изношенного трубопровода протягивается гибкий рукав из специального материала. Сущность метода состоит в образовании внутри старого трубопровода тепловой сети новой композитной трубы, при этом с минимальным снижением диаметра. Это происходит пропуском гибкого рукава внутрь старого теплопровода, рукав состоит из композитного материала (полимер, армированный специальной структурой, полимерная основа – эпоксидная смола), затем в него под давлением подается теплоноситель, в результате чего рукав расправляется и прилипает к старой внутренней поверхности теплопровода, образуется новая композитная труба, а затвердевающая эпоксидная смола, в ходе полимеризации, образует материал, который обволакивает и защищает его волокна (рисунок 3).

Толщина рукава может быть от 4 до 20 мм, диаметр восстанавливаемой трубы от 100 до 2200 мм, рукав изготавливается необходимой геометрии, учитывая переходы диа-



Рисунок 2 – Машина для нанесения цементно-полимерной смеси внутри теплопровода

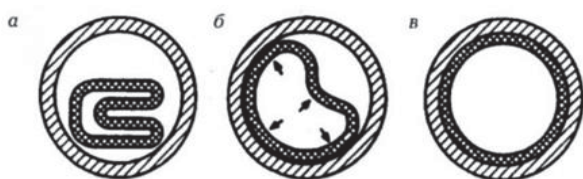
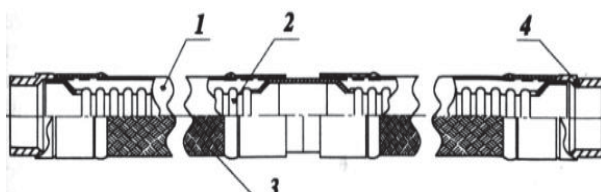


Рисунок 3 – Схема последовательности реконструкции теплопровода при помощи гибкого рукава (чулка)



1 – ГМР, 2 – гофрированная оболочка, 3 – проволочная оплетка, 4 – концевая арматура

Рисунок 4 – Схема гибкого металлического рукава (ГМР) теплопровода

метров, он может без проблем проходить углы в 45 и 90 градусов, используется при любой глубине заложения и способов прокладки тепловой сети. Рукав с эпоксидной смолой эластичен до прокладки и достаточно прочен после затвердевания.

Для использования данного метода, старый трубопровод должен сохранять структурную целостность для восприятия нагрузок от грунта, продольные трещины должны быть не более 20 мм, обрушение свода менее 30%.

Метод «труба в трубе» [3] при санации теплопроводов, представляет собой процедуру или протаскивания новой трубы с одновременным разрушением старой, или введение новой трубы в старый трубопровод, с последующей забутовкой (заполнением раствором) пространства между труб (рисунок 4). При этом используются гибкие металлические рукава (ГМР) сварной конструкции (они могут сами нести нагрузку, исключается необходимость забутовки) или полимерные трубы с заранее измененной формой (У-лайнеры или Омега-лайнеры). Длина санлируемого участка может быть вплоть до 600 м, при использовании полимерных труб, в зависимости от диаметра трубы и возможности намотки лайнера на барабан.

В случае с разрушением старой трубы, используются машины – гидравлические или пневматические разрушители труб, в зависимости от материала и тягового усилия, маши-

ны могут работать с трубопроводами диаметрами 100-700 мм.

Данный способ обладает малыми техническими сложностями, может быть использован в нестабильных грунтовых условиях, требует минимальной разработки грунта.

При разрушении старой трубы, новая может быть проложена с немного большим диаметров, в случае же сохранения старой трубы, минусом будет снижение диаметра на 10-15%, относительно восстанавливаемого, старая труба будет выполнять роль защитного футляра.

Долговечность тепловых сетей напрямую зависит от своевременного обследования и качественного ремонта или реконструкции, которые восстанавливают рабочее состояние тепловых сетей, утерянное за годы эксплуатации, и уменьшают возможность их внезапного выхода из строя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 74.13330.2023 Тепловые сети. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1304832178> (дата обращения: 19.02.2026).
2. Рос.Тепло.Ру – всё о теплоснабжении в России: Современные методы бестраншейного восстановления трубопроводов тепловой сети и анализ их технологических возможностей [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3258](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3258) (дата обращения: 19.02.2026).
3. Аманбаев, А. А. Инновационная технология ремонта труб тепловых сетей. (MC-Bauchemie Russia) / А. А. Аманбаев, Р. Беркель // Реконструкция энергетики. – 2010. – № 2. – С. 158.
4. Николаев, А. Э. Санация тепловых сетей методом цементирувания / А. Э. Николаев, А. А. Сафонов // Новости теплоснабжения. – 2011. – № 11. – С. 18-23.

**Смехун Павел Александрович** – студент группы С-23 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [pahan\\_smekhun@mail.ru](mailto:pahan_smekhun@mail.ru).

**Лютова Татьяна Евстафьевна** – старший преподаватель, заместитель заведующего кафедрой «Инженерные сети, еплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова», E-mail: [lut@mail.ru](mailto:lut@mail.ru).

## ЗЕМЛЕБИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ПРИМЕР ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

М. Н. Сницаренко, Я. Г. Мозговая

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается отечественный и зарубежный опыт применения технологии землебитного строительства, а также ее основные принципы и преимущества. Актуальность применения землебитной технологии обусловлена ее экологической безопасностью, низкими энергозатратами на производство и возможностью использования местных ресурсов. Эти характеристики делают землебит привлекательным выбором для устойчивого строительства, что особенно важно в условиях растущего интереса к экологическим технологиям. Кроме того, его свойства, такие как теплоизоляция и долговечность, способствуют повышению качества и комфорта жилья. Также в статье рассмотрен исторический аспект землебитного строительства и его инновационные возможности, в том числе современные методы обработки и стабилизации земляного грунта. По результатам исследования выявлены основные проблемы и перспективы применения землебитной технологии. Предложены рекомендации по их интеграции в строительную практику. В частности, сделан важный акцент на создание нормативной базы и профессиональную подготовку специалистов в области землебитного строительства. Отмечено, что популяризация успешных проектов позволит ускорить внедрение передовых решений.*

**Ключевые слова:** землебитное строительство, землебитная технология, землебит, землебитная архитектура, земляной грунт, глинобит, трамбовка, утрамбованный грунт, стабилизаторы, природосберегающая технология, устойчивое строительство.

Современное строительство сталкивается с необходимостью внедрения экологически чистых и устойчивых технологий. В условиях глобальных изменений климата и увеличения потребности в ресурсосберегающих решениях землебитное строительство приобретает особую актуальность. Этот метод, основанный на использовании местных природных материалов, таких как глина и песок, сочетает в себе экологичность и доступность, что делает его перспективным направлением для развития инновационных технологий. Кроме того, внедрение современных технологий в традиционные методы землебитного строительства может значительно повысить его эффективность и долговечность. Это особенно важно в контексте увеличения спроса на устойчивые строительные решения, которые минимизируют воздействие на окружающую среду и способствуют созданию комфортных условий для проживания. Таким образом, изучение и применение инновационных подходов в данной области являются актуальной задачей.

Землебитными называют строения и конструкции, для создания которых был использован земляной грунт. В некоторых случаях землебитом также называют и сам грунт, использованный в качестве строитель-

ного материала. Однако в большинстве случаев этим термином, который был введен в конце XVIII века архитектором Н. А. Львовым, принято именовать разработанные этим инженером материалы и технику [2]. Эта техника использовалась человечеством на протяжении тысячелетий, начиная с древних цивилизаций.

Так, Великая Китайская стена, частично построенная с использованием утрамбованного грунта, является выдающимся примером долговечности этого материала. Еще одним примером землебитной архитектуры в Китае являются Тулоу в провинции Фуцзянь, старейшие из которых относятся к XVI веку постройки. Эти огромные жилые земляные сооружения с толстым наружным землебитными стенами использовались для защиты семейных общин от нападений и создавали комфортные условия для жизни внутри [6].

В Древнем Египте землебит применялся как для создания хозяйственных, так и монументальных сооружений. Например, хранилища зерна в храмовом комплексе Рамессеум даже по прошествии трех тысячелетий демонстрируют способность землебитных арочных конструкций сохранять устойчивость.



## ЗЕМЛЕБИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ПРИМЕР ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В Индии землебит применялся для строительства монастырей и храмов. Так, храмовый комплекс Басго Гомпа в Ладакхе, построенный в XVI веке из утрамбованной земли, по сей день продолжает использоваться для религиозных обрядов и является частью местной культурной жизни.

Также землебитное строительство было широко распространено в Европе и Средиземноморье. Технология использовалась для создания как жилых, так и оборонительных сооружений благодаря доступности материала и климатическим преимуществам землебитной конструкции.

Так, на территории Древней Греции землебит активно использовался в строительстве жилых домов. Эти здания часто имели основу из камня, а стены строились из утрамбованного грунта или кирпича-сырца. Впоследствии технология распространилась в Южную Италию и на Сицилию, где её адаптировали к местным условиям.

В средневековой Испании землебитная технология применялась для строительства укреплений и городских стен. В городах Кордове и Гранаде (включая знаменитый архитектурно-парковый ансамбль Альгамбра) утрамбованный грунт был значительной частью строительной традиции [4].

В России значимый вклад в популяризацию землебитного строительства внёс архитектор Николай Александрович Львов. Его проект Приоратского дворца в Гатчине (1799) стал примером успешной адаптации этой технологии в сложных климатических условиях (рисунок 1). Львов также являлся директором школы землебитного строения, которая была создана в августе 1797 года по указу императора Павла I. Школа занималась обучением крестьян технологиям строительства из земли [3].

Технология строительства землебитных зданий основана на ручном труде. Данного вида строения состоят из стен, которые возводятся из определенной смеси, основным компонентом которой является земляной грунт. Однако, при кажущейся простоте землебитной технологии, нужно правильно сбалансировать применяемую для нее грунтовую смесь, в состав которой входят: глина, песок, щебень (гравий) и вода

Глина является основным связующим элементом. Она обеспечивает сцепление между частицами и формирует прочную монолитную структуру. Песок и щебень разных фракций используют для улучшения текстуры и уменьшения усадки. Рекомендуемая пропорция глины к песку – 30:70. Вода добавля-

ется для увлажнения смеси до оптимальной консистенции. Оптимальное соотношение глины, песка и мелкого гравия: глина – 15-30%, песок – от 50 до 70%, гравий (щебень) – 10-15% [4]. В качестве стабилизаторов иногда добавляют цемент (5-10% стабилизированный землебит) или известь для повышения прочности, водоотталкивающих свойств или устойчивости к эрозии.

Строительство землебитного здания начинается с подготовительного этапа, в состав которого входит защита подготовленной для строительства земли от пересыхания, а также рытья траншеи под фундамент будущего здания. Далее в траншею помещают каркас, используя, как правило, для этого стальную арматуру.

Закончив все подготовительные работы, приступают к основному этапу строительства. Строительство надземной части землебитного здания начинается с возведения углов. Для этого устанавливается опалубка с гладкой внутренней поверхностью. Далее опалубку заполняют земляной смесью на 10-15 см и тщательно утрамбовывают. Данную процедуру повторяют до тех пор, пока стена не достигнет заданной высоты. Работу упрощает тот факт, что данного вида стены являются самонесущими, в связи, с чем возможно снятие нижней опалубки сразу же после установки на нее следующего уровня [2].

В наши дни развитие технологий позволило усовершенствовать метод землебитного строительства при помощи внедрения в процесс строительства пневматических трамбовок для прессования. Трамбование можно считать завершённым, когда трамбовка будет не проваливаться в грунт, а отскакивать от него. Стена наращивается по всему периметру посредством последовательного перемещения по нему опалубки.

Процесс трамбовки завершается сушкой стен, которая продолжается от нескольких недель до нескольких месяцев. Готовые стены можно оставить в их природной фактуре,



Рисунок 1 – Приоратский дворец, Гатчина





Рисунок 2 – Вид на завершённый проект «Центр приема гостей в кампусе Тайлс-Хилл – Сяншань»



Рисунок 3 – Процесс возведения земляных стен Приемного центра Tiles Hill

оштукатурить или обработать защитными покрытиями для улучшения влагостойкости. Землебитные стены следует обязательно укрепить отмосткой из глины или бетона.

Современные технологии землебитного строительства за рубежом демонстрируют широкий спектр подходов и решений, направленных на повышение экологичности и устойчивости зданий. Данные технологии находят применение как в жилом, так и в коммерческом строительстве, что подчеркивает их универсальность и эффективность. В подтверждение этого можно привести несколько известных примеров современной землебитной архитектуры, созданных ведущими архитекторами планеты.

На рисунке 2 представлен Приемный центр образовательного кампуса Сяншань (Tiles Hill), спроектированный китайским архитектором Ван Шу и его студией Amateur

Architecture Studio. Это одно из крупнейших землебитных зданий в Азии, выполненное с учётом традиционных китайских методов строительства [4].

Период проектирования: 2004-2006 годы. Период строительства: 2005-2007 годы. Ван Шу также является деканом Института архитектуры Китайской академии искусств в Ханчжоу, на базе которой реализован данный проект.

Целью этого проекта было возрождение почти забытого традиционного метода строительства с использованием современных строительных технологий и без применения стабилизирующих добавок.

В рамках проекта было использовано в общей сложности 2200 м<sup>3</sup> утрамбованной земли для строительства 16 стен, преимущественно ориентированных с севера на юг, высотой от 3,6 до 9,6 м и толщиной 0,6 м (рисунок 3).

Перед официальным началом проекта команда провела лабораторные эксперименты, построив пробные стены, чтобы определить оптимальную систему изготовления и установки шаблонов, совместимую с современными технологиями трамбовки грунта. В процессе строительства команда усовершенствовала технологию трамбовки грунта, решив такие проблемы, как наклон стен, горизонтальные трещины, возникающие из-за усадки материала, а также обеспечив гибкое соединение между земляными стенами и основным несущим каркасом с помощью рациональной конструкции узлов. Стены также прошли испытания на прочность при сжатии. Кроме того, усовершенствования в процессе строительства позволили повторно использовать вынутый грунт [7].

Еще одним примером успешного применения природосберегающих технологий за рубежом является строительство Центра для высушивания, переработки и хранения лекарственных трав (рисунок 4). Заказчик проекта – швейцарский концерн Ricola (производитель леденцов из лекарственных трав). Центр трав был создан в 2014 году архитектурным бюро Herzog & de Meuron в сотрудничестве с Мартином Раухом – основателем австрийской компании Lehm Ton Erde Baukunst GmbH, специализирующейся на строительстве из земли и глины.

Заказчик был ориентирован на экологичное строительство, и сначала, как основной материал, рассматривалось дерево. Но после проведенных проектировщиками расчетов было решено использовать в качестве основного стройматериала глину.

## ЗЕМЛЕБИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ПРИМЕР ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

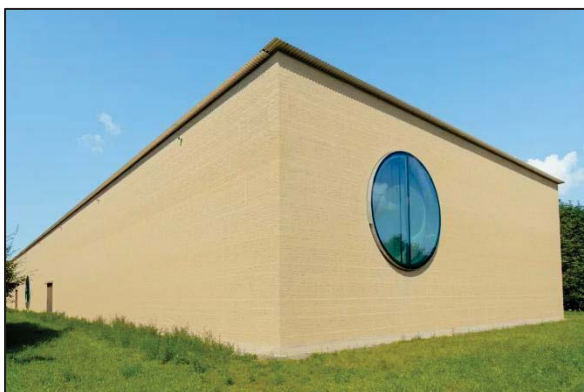


Рисунок 4 - Центр лекарственных трав компании Ricola, Швейцария



Рисунок 5 – устройство глинобитного фасада Травяного центра компании Ricola



Рисунок 6 – Проект-победитель открытого архитектурного конкурса «Землебитный павильон» [4]

Габаритные размеры Травяного центра:  $30 \times 100 \times 11$  м. Стены построены из 670 глиняных блоков (рисунок 5). Каждый элемент весит 4,6 тонны. Блоки для строительства объекта были произведены поблизости; помимо глины, при их изготовлении использовались камень и мергель, добытые из расположенных рядом (на расстоянии 8-10 км) карьеров и шахт [1]. В разгар лета здесь сохраняется приятная прохлада. И дело не в кондиционерах. Глинобитные самонесущие

стены толщиной 45 см поддерживают стабильную температуру и влажность внутри здания, что помогает сохранить лекарственные свойства трав. Для дополнительного обогрева используется энергия солнечных панелей другой фабрики Ricola, находящейся неподалеку.

Что касается России, то в декабре 2024 года в рамках программы по возрождению традиций природосберегающей и устойчивой архитектуры был объявлен архитектурный конкурс на проектирование землебитного павильона на территории Приоратского парка в городе Гатчина. Организатором конкурса выступил Совет по градостроительному развитию Ленинградской области при поддержке Санкт-Петербургского союза архитекторов и ведущих девелоперских компаний Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Участниками конкурса являлись студенты высших учебных заведений. Перед ними была поставлена задача создания инновационного и функционального павильона, выполненного с использованием землебитной технологии строительства. Проект должен сочетать в себе эстетическую выразительность и архитектурную целостность, отражая современные принципы устойчивого строительства и гармонично вписываясь в контекст.

Из более чем 50 конкурсных работ, представленных на конкурс участниками со всей России, экспертная группа отобрала 11 проектов, прошедших в финал. Итоги конкурса были подведены в июле 2025 года, объявлен проект-победитель (рисунок 6).

Согласно информации, представленной на официальном сайте конкурса, стены павильона выполнены из типовых предзаготовленных землебитных блоков, выкладываемых с перевязкой для обеспечения устойчивости конструкции.

В качестве фундамента предполагается ленточный фундамент. Кровля имеет вынос, защищающий ниши-сиденья от осадков. Деревянные конструкции кровли опираются на обвязочную балку, равномерно распределяющую нагрузку. Для минимизации влияния на ценный ландшафт покрытие пола не предполагается. Для размещения павильона на рельефе предусмотрен цоколь. Для обеспечения электроэнергией павильон оборудован солнечной панелью, питающей светильники и настольную лампу.

Схема конструктивного устройства павильона, разработанная авторами проекта-победителя, изображена на рисунке 7.

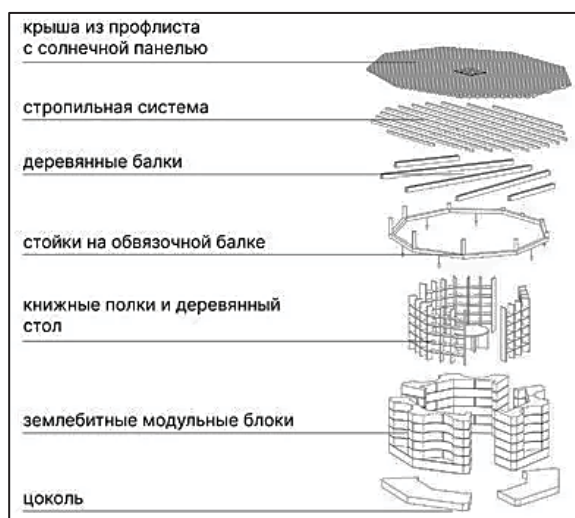


Рисунок 7 – Схема конструктивных элементов землебитного павильона [4]

Необходимо отметить преимущества рассматриваемой технологии, а также ее ограничения и недостатки. Использование местных материалов с минимальной обработкой уменьшает воздействие на окружающую среду, а также сокращает затраты на производство и транспортировку. Землебитная технология также позволяет повторно использовать строительные материалы после демонтажа сооружения. Благодаря своей высокой тепловой массе землебитные стены эффективно поглощают, накапливают и отдают тепло, что помогает поддерживать комфортную температуру внутри помещений: прохладу летом и тепло зимой. В результате – снижаются затраты на отопление и кондиционирование.

Важно отметить, что механическая прочность земляного грунта может уступать бетону, что ограничивает применение грунта в строительстве высотных зданий и сооружений, испытывающих значительные нагрузки. Однако, со временем прочность землебита увеличивается. Начальное значение прочности на сжатие лежит в диапазоне 15-20 кгс/см<sup>2</sup>. Примерно через 20 лет она возрастает до 120-150 кгс/см<sup>2</sup>, что сравнимо с прочностью бетона и превышает прочность обожженного кирпича.

С точки зрения эстетических преимуществ землебитные стены характеризуются уникальной текстурой, которая подчеркивает естественную красоту слоёв глины и песка. Цвета зависят от используемых местных материалов, создавая органичный и гармоничный внешний вид, вписывающийся в окружающий ландшафт. Такие стены можно оставить без дополнительной отделки, что позво-

лит сохранить их природную привлекательность. Землебит также сочетают с другими материалами (стекло, дерево, камень, металл) для достижения современного и стильного дизайна.

К недостаткам землебитного строительства можно отнести чувствительность к воздействию влаги. При слабой защите могут возникнуть эрозия, трещины и разрушение конструкции. Чтобы избежать таких проблем, необходимо предусматривать защитные элементы.

Землебитная технология более предпочтительна для мало- и среднеэтажной застройки. При проектировании многоэтажных зданий потребуются усиление несущих элементов, например, использование каркасов или стабилизирующих добавок (цемент, известь).

Проблемы восприятия и недостаток нормативной базы значительно влияют на распространение технологии землебитного строительства. В ряде стран отсутствуют стандарты и нормативы, регулирующие использование земляного грунта в строительстве, что затрудняет проектирование и сертификацию зданий. Вместе с тем, у многих людей сохраняется скептическое отношение к зданиям из землебита, что обусловлено недостатком информации и опыта эксплуатации таких сооружений. Эти факторы создают серьезные препятствия для массового внедрения технологии.

Тем не менее, современные технологии землебитного строительства значительно расширили возможности этой древней техники. Одной из ключевых инноваций стало использование добавок, таких как цемент или известь, которые стабилизируют грунт, а также существенно увеличивают прочность и долговечность конструкций.

Кроме того, в качестве стабилизаторов стали применять геополимеры. Эти соединения на основе алюмосиликатов формируют прочную структуру, что делает материал более устойчивым к внешним воздействиям. Основная функция данной технологии заключается в гидрофобизации грунтов, что представляет собой метод улучшения физико-механических свойств путем введения веществ, которые делают грунт устойчивым к воздействию воды.

Такие инновации открывают новые перспективы для применения земляного грунта в строительстве, даже в регионах с суровыми климатическими условиями, где традиционные методы обработки могут оказаться менее эффективными.





Рисунок 8 – Землебитная стена с использованием пигментирующих добавок (на примере комплекса по переработке отходов в Канаде)

Еще один интересный вариант – формирование землебитной стены из смеси с добавлением красителей, когда слои разноцветной смеси намеренно укладывают и трамбуют неровно, для получения вот таких цветных лент (рисунок 8).

#### **Заключение**

Анализ исторических примеров показал, что землебитная технология применялась в строительстве на протяжении тысячелетий, демонстрируя свою долговечность и устойчивость. Современные методы обработки и стабилизации грунта значительно расширяют возможности его использования, делая этот материал конкурентоспособным в сравнении с традиционными строительными материалами. Результаты исследования подчеркивают, что землебит является перспективной технологией экологического строительства. Его использование позволяет существенно снизить углеродный след строительства, что соответствует современным требованиям устойчивого развития. Кроме того, доступность и экономичность грунта делают его привлекательным для регионов с ограниченными ресурсами.

Важным направлением является также восстановление нормативной базы, профессиональная подготовка и обучение специалистов в области землебитного строительства. Популяризация успешных проектов позволит ускорить внедрение передовых решений [5].

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых методов стабилизации грунта, а также на изучение его взаимодействия с различными добавками для улучшения эксплуатационных характеристик. Также перспективным направлением

является адаптация технологий землебита к различным климатическим условиям, что позволит расширить географию применения этого материала. Исследования в области автоматизации процессов строительства из земляного грунта могут существенно повысить эффективность и снизить затраты на возведение зданий.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Архитектура России и мира : [сайт]. – URL: <https://archi.ru/> (дата обращения: 16.02.2026).
2. Каддуми, А. Технология возведения зданий из землебита / А. Каддуми, М. Аль-Херз, А. Фархан // IV Международный студенческий строительный форум - 2019 : Сб. докладов (К 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова). В 2-х томах, Белгород, 26 ноября 2019 года. Том 1. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 240-245.
3. Милюгина, Е. Г. Землебитный проект Н. А. Львова: история и проблемы изучения / Е. Г. Милюгина // Родная словесность в современном культурном и образовательном пространстве : Сборник научных трудов / Под ред. Е. Г. Милюгиной. – Выпуск 10 (16). – Тверь : Тверской государственный университет, 2021. – С. 114-121.
4. Открытый архитектурный конкурс «Землебитный павильон» : [сайт]. – Санкт-Петербург, 2024. – URL: <https://zemlebit.ru> (дата обращения: 16.02.2026).
5. Смирнова, С. Н. Особенности архитектурного решения землебитных строений и возможности их конструктивного устройства для условий Среднего Поволжья / С. Н. Смирнова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – № 2(60). – С. 82-92.
6. Чеснокова, Д. М. Международный и отечественный опыт земляного строительства / Д. М. Чеснокова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – № 1(9). – С. 38-44.
7. Practice and Reflection on Rammed Earth Architecture: The Case Study of Tiles Hill-Xiangshan Campus Reception Centre in China / Lichao Chen\*, Zhiyu Lan, ChaochaoWei, Dan Ouyang, Boren Shi, Peiyin Chen, Mingzhe Wang and Tianyi Xie // Buildings. – 2024. – 14, 4034.

**Сницаренко Маргарита Николаевна** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [margarita.snitsarenko@yandex.ru](mailto:margarita.snitsarenko@yandex.ru);

**Мозговая Яна Григорьевна** – к.т.н. доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлмГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [yanagm@mail.ru](mailto:yanagm@mail.ru).



## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

**А. А. Соболев, С. Н. Яковлева**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье анализируется эффективность использования автоматизированного погодозависимого оборудования, полученный размер экономии. Авторы выделяют основные причины, по которым замедляется исполнение федеральной программы по внедрению мероприятий по энергоэффективности, такие, как слабая осведомленность населения о наличии такого оборудования и результатах его эффективности, отсутствие бюджетного финансирования для развития мероприятий по энергоэффективности в общественных зданиях и учебных учреждениях. В заключении предлагаются рекомендации по увеличению осведомленности населения, направленные на улучшение качества жизни и экономии средств семейного бюджета на оплату коммунальных услуг. Статья представляет интерес для руководителей управляющих компаний и ТСЖ, бюджетных учреждений и коммерческих организаций, руководителей и специалистов в области проведения капитального ремонта многоквартирных жилых домов, жильцов многоквартирных жилых домов.*

**Ключевые слова:** тепловая энергия, многоквартирные дома, общественные здания, климат, перепад температур, коммунальные расходы, энергоэффективность, управляющие компании, ТСЖ, автоматизированный тепловой пункт, капитальный ремонт, экономия.

Задача по сокращению расходов на оплату коммунальных услуг является актуальной в условиях холодных сибирских зим, когда плата за отопление составляет существенную часть семейного бюджета граждан проживающих в многоквартирных жилых домах, а также значительную часть бюджета Алтайского края по оплате за отопление при обогреве в холодное время года административных зданий, школ, детских садов и других общественных учреждений. Стоимость отопления увеличивается с каждым годом в виде роста тарифа за 1 Гкал, поэтому если ничего не делать, то плата за отопление будет расти постоянно.

Кроме того, в рамках обязанностей по содержанию имущества собственники многоквартирных жилых домов, общественных зданий и помещений обязаны выполнять требования по энергетической эффективности и оснащенности их приборами учета.

В Федеральном законе от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], содержатся требования для проведения мероприятий, которые должны существенно сократить затраты на коммунальные ресурсы. Одним из таких требований является установка погодозависимого оборудования на систему отопления, позволяющего сократить расходы энергоресурсов и тем самым

уменьшить плату за подачу тепловой энергии. Таким оборудованием являются автоматизированные тепловые пункты (АТП).

С учетом того, что климат в Алтайском крае резко-континентальный, то и перепады температур днем и ночью значительные, а оперативное регулирование температурой теплоносителя в каждом здании и в каждом многоквартирном жилом доме – техническая задача для теплоснабжающих организаций невозможная. Обслуживающим организациям (управляющим компаниям, товариществам собственников жилья) также сложно регулировать интенсивность подачи тепла в зависимости от перепадов температур. Поэтому появляются, так называемые, «перетопы», особенно в осенне-весенний период, когда в помещениях очень жарко, температура в некоторых из них достигает +30 градусов, вместо 20-22°, которые являются комфортными для человека. Ну, а для снижения температуры в помещениях жители квартир и сотрудники зданий вынуждены постоянно открывать окна, чтобы выпустить лишнее тепло на улицу. При этом за то тепло, которое выходит из окон, приходится платить. Как можно этого избежать?

Практика последних 10-12 лет показала, что проблему можно решить установкой автоматизированных тепловых пунктов с погодозависимым регулированием (АТП). Данное оборудование поможет автоматически исключить «перетопы», регулировать подачу

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

тепла в многоквартирные жилые дома, общественные здания и помещения в зависимости от температуры наружного воздуха в отопительный период и, как следствие, позволит снизить оплату за отопление.

АТП – это тепловой узел, который оснащен контроллером для регулирования подачи тепла в здание в зависимости от температуры воздуха на улице (рисунок 1). Специальный датчик, прикрепленный к зданию снаружи, передает в контроллер данные о температуре воздуха на улице, а автоматика обеспечивает необходимую для этих условий температуру на подающем и обратном трубопроводе отопления. Если на улице минус 10° – поддерживается один температурный режим, похолодало до минус 15° – батареи нагреваются сильнее и, наоборот, если на улице оттепель до плюс семи – система снижает температуру до комфортного уровня. В регионах с резким перепадом суточных температур, такие тепловые пункты – вещь довольно эффективная.

Кроме этого АТП обеспечивает более равномерную подачу тепла во все помещения здания за счет улучшения циркуляции теплоносителя создаваемой циркуляционным насосом, входящим в состав АТП.

В целях количественного подтверждения степени эффективности АТП, были проанализированы натуральные и финансовые показатели 12 зданий общественного назначения и жилых многоквартирных домов в Алтайском крае.

Проведенный анализ показателей тепловой энергии и полученных результатов от использования установленных в Алтайском крае АТП за 2025 год показал следующие результаты, указанные в таблице 1 (среднее значение на одно здание и/или жилой многоквартирный дом, из анализируемых объектов недвижимости).

На основании анализа данных по отоплению с приборов учета тепловой энергии зданий, жилых многоквартирных домов и полученных счетов за отопление (брались данные ежемесячно за отопительный период до установки АТП и после установки АТП), выявлена экономия по оплате за отопление в среднем в 2025 году в размере 339,92 Гкал или 36,63%.

Полученные результаты исследования подтверждают необходимость внедрения мероприятий по энергосбережению в каждом населенном пункте Алтайского края, поскольку из анализа результатов полученной экономии, усматривается, что каждое здание, оборудованное АТП, в среднем экономит на отоплении более миллиона рублей в год.

Бюджетная система Российской Федерации и Алтайского края может значительно сократить свои расходы при грамотном внедрении мероприятий по энергосбережению и



Рисунок 1 – Внешний вид автоматизированного теплового пункта (АТП)

Таблица 1 – Данные потребления тепловой энергии до и после установки АТП

| Месяц           | Потребление за отопление до установки АТП, в Гкал | Потребление за отопление после установки АТП, в Гкал | Экономия в %               | Экономия в Гкал |
|-----------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Январь 2025 г.  | 169,11                                            | 148,32                                               | 12,29                      | 20,79           |
| Февраль 2025 г. | 154,99                                            | 122,70                                               | 20,83                      | 32,29           |
| Март 2025 г.    | 141,77                                            | 91,36                                                | 35,56                      | 50,41           |
| Апрель 2025 г.  | 133,12                                            | 61,54                                                | 53,77                      | 71,58           |
| Май 2025 г.     | 44,53                                             | 21,39                                                | 51,96                      | 23,14           |
| Октябрь 2025 г. | 89,38                                             | 41,43                                                | 53,64                      | 47,95           |
| Ноябрь 2025 г.  | 137,54                                            | 72,85                                                | 47,03                      | 64,69           |
| Декабрь 2025 г. | 162,23                                            | 133,16                                               | 17,92                      | 29,07           |
| <b>ИТОГО:</b>   |                                                   |                                                      | <b>Средняя в год 36,63</b> | <b>339,92</b>   |

достигнуть значительного размера в целом по экономии энергоресурсов, что приведет к уменьшению расходования бюджетных средств. Сэкономленные средства можно направить на развитие региона.

Реальные затраты на установку окупаются в течение двух лет, а жильцы получают более комфортные условия проживания: комфортная температура в помещении в течение всего отопительного периода без резких колебаний, плата за отопление меньше обычной, значительное улучшение физического самочувствия. Денежные вложения на установку АТП относительно быстро окупаются, а сэкономленные деньги жильцы многоквартирных домов могут потратить на личные нужды.

Был произведен анализ причин замедления мероприятий по внедрению АТП. Основными среди них являются следующие.

#### **Техническое состояние зданий.**

В результате значительного физического износа инженерных коммуникаций в жилых домах «старого фонда», трубопроводы системы отопления находятся в ветхом состоянии и требуют полной замены. На сильно изношенных трубопроводах не имеет смысла устанавливать данное оборудование, поскольку экономии не получится из-за аварийных утечек теплоносителя. Таким образом, прежде чем устанавливать АТП необходимо проведение капитального ремонта с заменой инженерных коммуникаций на новые.

#### **Конструктивные особенности зданий.**

В некоторых объектах недвижимости отсутствуют подвальные помещения, что исключает возможность установки АТП, поскольку для данной системы необходимо наличие подвального пространства.

#### **Слабая информированность среди жильцов.**

Поскольку за коммунальные ресурсы платит собственник помещений, то управляющие организации особо не заинтересованы тратить свое время на профилактику и информирование жителей многоквартирных домов об эффективности установки АТП и пользы для бюджета каждой семьи от использования данного оборудования. Поэтому люди чаще всего узнают об этой системе из «сарафанного радио», обычно это жители домов, установивших АТП и получающих выгоду в виде экономии средств от ее использования. В средствах массовой информации также сложно встретить статьи об АТП и его эффективности.

#### **Равнодушие.**

При проведении информирования насе-

ления в Алтайском крае об эффективности установки АТП часто сталкиваешься с проблемой равнодушия населения и равнодушия государственных служащих, их нежелания что-либо делать для улучшения качества жизни, как своей семьи, так и общества в целом, плохое планирование экономии денежных средств. Поэтому часто люди предпочитают ничего не делать. Население не должно бояться делать первый шаг к своему комфорту и к экономии своих денег!

Основные мероприятия, способствующие ускорению выбору и установке АТП следующие.

#### **Использование механизма энергосервисных контрактов для установки АТП.**

Многие коммерческие организации, владеющие на праве собственности зданиями и помещениями, заинтересованы в установке АТП, т.к. данное оборудование помогает снизить нагрузку оплаты коммунальных ресурсов, окупаемость установленного АТП обычно составляет 1-2 года, а в дальнейшем, вся экономия остается в распоряжении собственника. В долгосрочной перспективе это очень выгодное вложение.

При планировании бюджета также государственные служащие заинтересованы в установке АТП путем заключения посредством проведения аукционов энергосервисных контрактов.

Суть энергосервисных контрактов заключается в том, что запланированные в бюджете расходы для оплаты за отопления остаются неизменными, а после установки АТП подрядная организация получает оплату за стоимость оборудования и работы по его установке, за счет полученной экономии в здании.

При расчете платы за отопление, разница между оплаченными коммунальными ресурсами по отоплению и плановыми показателями, заложенными в бюджете на оплату отопления, получает подрядная организация, установившая АТП.

Экономия выплачивается подрядной организации ровно до тех пор, пока не будет выплачена вся стоимость установленного АТП, указанная в контракте. Далее вся экономия остается в распоряжении собственника здания, а также переходит в собственность установленный АТП.

#### **Реклама, связанная с улучшением качества жизни жильцов многоквартирных домов.**

После установки АТП в отопительный период существенно улучшился температурный режим в помещениях, повысилась ком-

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

фортность проживания и нахождения в общественных зданиях. Жители помещений в жилых многоквартирных домах отмечают, что в результате отсутствия резких перепадов температуры в квартирах, уменьшилась сухость в квартирах, стабилизировалось кровяное давление у людей, так как в квартирах стало хорошо и комфортно, а раньше было жарко, уменьшились головные и сердечные боли.

Большинство домов построены без возможности регулировать подачу отопления в дома с учетом сезонности. Эту проблему решает установка АТП.

С учетом проведенного исследования и полученных результатов можно сделать вывод о необходимости реализации мероприятий по энергоэффективности путем установки АТП, позволяющей существенно снизить затраты на оплату коммунальных платежей.

Особое внимание необходимо уделить пропаганде мероприятий, способствующих снижению финансовой нагрузки на бюджет каждой отдельно взятой семьи и бюджет Алтайского края, который достигается путем уменьшения платы за отопление.

При внедрении данных мероприятий го-

сударству также необходимо больше уделять внимание софинансированию путем разработки и внедрения специальных программ с государственной поддержкой населения и социально значимым объектам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] / КонсультантПлюс. Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 21.02.2026).

2. Яковлева, С. Н. Как меньше платить за отопление? Есть решение... / С. Н. Яковлева // Сто объявлений. – № 15 (1048). – 2024. – С. 42-43.

**Соболев Андрей Андреевич** – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: asoblv@mail.ru;

**Яковлева Светлана Николаевна** – студент группы 8С(з)-51 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: urist.svetlana@mail.ru.



## РЕНОВАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАК РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНАУЛА НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА «ПОТОК»

А. С. Соловьева, М. А. Осипова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматривается комплексное развитие территории города Барнаула в микрорайоне «Поток». В ходе исследования была проанализирована территория микрорайона «Поток», изучена и проанализирована программа комплексного развития территорий «Реновация Потока» и рассмотрены особенности реновации в данном районе*

**Ключевые слова:** аварийное состояние зданий, единый архитектурный образ, инженерные коммуникации, интеграция застройки, комплексное развитие жилой территории, комфортность городского пространства, оптимизация использования территории, реновация в строительстве, реновация жилого фонда, социальная инфраструктура, транспортная инфраструктура, эволюционное развитие территории.

С каждым годом в Барнауле увеличивается количество зданий с вышедшим сроком службы, утратой технологичности и надёжности, имеющие физический износ. За последние годы на территории города Барнаула было признано ветхими, аварийными и подлежащими сносу около 200 жилых домов, общей жилой площадью около 90000 м<sup>2</sup>, что составляет 6,4% от общего числа домов города (рисунок 1). Аварийное состояние зданий, подвергает людей опасности, ограничивает функционирование здания, доставляет дискомфорт жителям города (рисунок 2). Повреждённые фасады зданий угнетающе влияют не только на жителей города Барнаула, но и на гостей и туристов, вызывая негативное отношение к городской среде, и доставляя психологический дискомфорт (рисунки 3, 4).

Анализируя территориальное расположение домов признанных аварийными, можно определить, что большая часть домов располагается в Центральном и Октябрьском районах, а именно на территории между улицами Эмилии Алексеевой и Северо-Зап одной, от улицы Малахова до проспекта Ленина. В так называемом микрорайоне «Поток» располагается 46 жилых многоквартирных домов признанных аварийными и подлежащих сносу (рисунок 5).

В отношении застроенной территории, в границах которой расположены многоквартирные дома, признанные аварийными и подлежащие сносу или реконструкции; многоквартирные дома, которые не признаны аварийными и подлежащими сносу или реконструкции и которые соответствуют критериям – физический износ основных конструктивных

элементов многоквартирного дома (крыша, стены, фундамент) превышает определённое субъектом Российской Федерации значение, осуществляется комплексное развитие территории жилой застройки [1].

Комплексное развитие территории жилой застройки – это программа мероприятий, по модернизации уже застроенной территории, направленная на формирование комфортной городской среды. Принципам формирования комфортной городской среды соответствует реновация в строительстве, которую можно назвать подвидом комплексного развития жилой территории.



Рисунок 1 – Расположение аварийных и ветхих многоквартирных домов на карте Барнаула

[illegible]

233

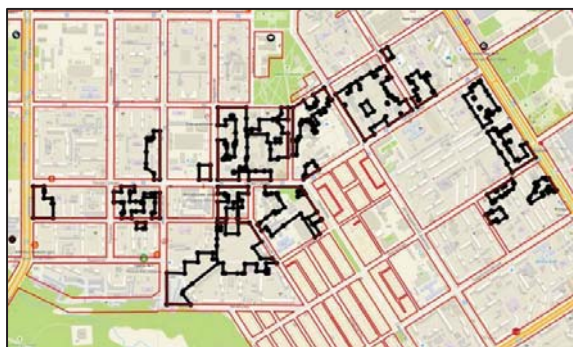


Рисунок 6 – Границы комплексного развития территории проекта реновации микрорайона «Поток»

Реновация в гражданском строительстве – инновационный процесс в сфере основного капитала, при котором изменяется функциональное назначение объектов реконструкции. Под реновацией жилищного фонда понимается процесс замещения и восстановления выбывших в результате функционального и физического износа элементов жилищного фонда (жилых зданий и их частей) новыми элементами или объектами [2].

Реновация жилищного фонда – циклический процесс, включающий в общем случае последовательность преобразований жилья – методов реновации: новое строительство, капремонт, модернизацию, реставрацию, реконструкцию, снос жилых зданий и возведение новых объектов, направленный на улучшение жилищных условий, обновление жилого фонда, создание комфортной городской среды [2].

Выбор варианта реализации проекта реновации на территориях сносимой и сохранной существующей застройки микрорайона «Поток» был утверждён после комплексной оценки и анализа использования ресурсного потенциала территорий.

Подробнее рассмотрим особенности реновации в строительстве как рациональный способ комплексного развития территории на примере микрорайона «Поток» (рисунок 6).

**Интеграция застройки в имеющуюся квартальную планировку**, новые постройки будут возводиться в границах уже существующих типовых кварталов, учитывая расположение улиц существующей застройки.

**Наличие магистральных инженерных коммуникаций**, на всем объёме проводимых работ имеется электроснабжение, водоснабжение, водоотведение, теплотрассы. На участке реновации будет проведена оценка инженерных сетей, на предмет возможности их использования, модернизации. Те сети, кото-

рые в полной мере не смогут обеспечивать новые строительные объекты коммуникациями, будут заменяться на новые. Старые инженерные коммуникации будут являться основанием при разработке планов нового инженерного обеспечения, и применяться для расчетов их модернизации.

**Наличие объектов социальной инфраструктуры**, на выделенной территории и в непосредственной близости размещены следующие функционирующие объекты:

- образовательные объекты – 13 детских садов, 6 школ, 4 колледжа;
- медицинские учреждения – 5 государственных, 10 частных организаций;
- центры реабилитации и оздоровления;
- спортивные организации – 3, 2 фитнес-центра;
- кризисный центр и центр помощи детям;
- организаций жилищно-коммунального хозяйства – 9 объектов;
- парк, сквер;
- многофункциональный центр;
- управление социальной защиты;
- 2 отделения полиции;
- 2 финансовые и 2 страховые организации;
- более 100 организаций торговли и оказания услуг и пр.

Насыщенность территории реновации объектами социальной значимости, позволит снизить затраты на их возведение и позволит уменьшить среднюю стоимость жилья. При этом исходя из расчёта плотности населения и его предполагаемого прироста планируется построить детский сад на 330 мест, школу на 800 учащихся, дополнительные торговые объекты, подземные парковки и многоуровневые гаражи-стоянки.

**Расположение транспортной инфраструктуры**, на всей территории проекта реновации расположено 12 улиц с общей протяжённостью дорожного полотна 8,4 км, из них четыре магистральные улицы (рисунок 7): Малахова, Эмилии Алексеевой, Петра Сухого и проспект Ленина с движением 12 маршрутов общественного транспорта, в проект реновации также входит расширение улицы Петра Сухого до четырёх полос, с увеличением поперечного профиля дороги до 15 м.

**Оптимизация использования территории реновации**, позволит наиболее эффективно использовать земельные ресурсы. Грамотное распределение зданий, жилых домов, дворовых территорий, расположение пешеходных зон, озеленение территорий, выделение территории проездов и парковок,



## РЕНОВАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАК РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНАУЛА НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА «ПОТОК»

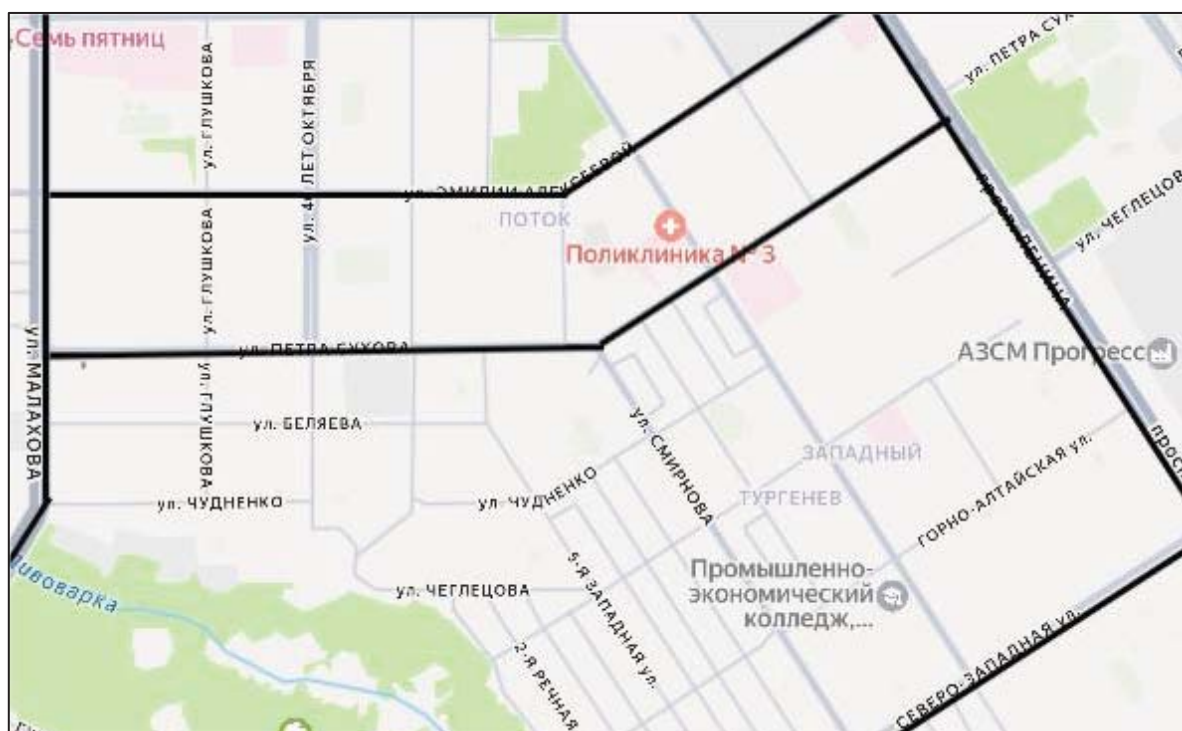


Рисунок 7 – Схема транспортных артерий района исследования



Рисунок 8 – План застройки квартала

адаптация вновь возводимой застройки под объекты социальной значимости обеспечит максимально эффективно использовать территорию.

**Единый архитектурный образ**, организация застройки микрорайона схожими архитектурными решениями и общими закономерностями застройки кварталов. Смена архитектуры старой застройки, современной однотиповой застройкой в границах квартала (рисунок 8).

**Эволюционное развитие территории**, позволяет сохранить уникальную для Барнаула смешанность разновысотных зданий. Размещение высотных зданий по периметру, а малоэтажных в центре квартала, оптимально для возведения квартала, и наиболее комфортно для проживания.

**Возможность вторичного использования строительных отходов**, после сноса и демонтажа зданий, строительный мусор должен утилизироваться по регламенту, либо допускается его повторное использование:

- бетон и железобетонные конструкции – перемалываются в разноразмерную фракцию, используются для засыпки оснований под малонапряженные дороги (тротуары, парковки);

- стекло используют для переработки в новые изделия;

- кирпич – его повторное использование возможно в битом виде, для возведения насыпей, оснований асфальтных площадок, для выравнивания строительной площадки;

- металлические элементы используются в строительных работах, так же допускается повторная переработка металла.

Использование строительных отходов как вторсырья позволяет сэкономить ресурсы на утилизации и транспортировке, снижает негативное воздействие на экологию.

**Комфортность городского пространства**, опираясь на предыдущий опыт пользования пространством, были выделены наиболее популярные объекты пользования в микрорайоне которые вошли в программу реновации:

- парк «Юбилейный» работы по его преобразованию ведутся с 2022 года, в дальней-



шем от парка планируется создать «Зелёный коридор» вдоль улицы Чихачева;

- вдоль улицы Смирнова, между улицами Чудненко и Петра Сухова. Организовать просторное место для отдыха;

- благоустройство площадки по улице 40 лет Октября, около статуи «Дама в вечернем платье»;

- озеленение дворовых территорий, территорий школ и детских садов, улиц вдоль проезжих частей;

Таким образом, в городском пространстве сохраняются культурные объекты, повышается комфортность путём озеленения.

### **Выводы**

Реновацию в строительстве можно назвать рациональным способом комплексного развития жилой территории, который учитывает особенности развития территории: социальные, экономические, экологические и инфраструктурные элементы и обеспечивает их взаимосвязь.

Реновация в строительстве – инновационный процесс, который относительно недавно внедряют в программы градостроения, но, несмотря на это, специалисты прогнозируют высокую эффективность использования территории города Барнаула.

Комплексное развитие территории позволит сформировать современную, комфортную городскую среду. Реновация является перспективным и экономичным видом градостроения, позволяя снизить расходы на

квартальную планировку, на объектах социальной инфраструктуры, на наличии коммуникаций, на развитой автодорожной сети.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Барнаул : официальный сайт города / Администрация города Барнаула. – Барнаул, 2003. – URL: <https://barnaul.org/> (дата обращения: 9.02.2026г).

2. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 25 декабря 2023 года, редакция, действующая с 1 февраля 2024 года). Кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ. – Гл. 10. – С. 64-66.

3. Болотин, С. А. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / С. А. Болотин [и др.]; под общ. ред. П. Г. Грабового, В. А. Харитонов. – Московский гос. строительный ун-т, Нац. Исследовательский ун-т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Проспект, 2013. – 704 с.

**Соловьёва Александра Викторовна** – студент группы 8Спгс-51 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [aleksandra.viktorovna.1997@inbox.ru](mailto:aleksandra.viktorovna.1997@inbox.ru);

**Осипова Марина Александровна** – к.г.-м.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [kurator.stf@yandex.ru](mailto:kurator.stf@yandex.ru).

## МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**М. А. Фишер, И. А. Бахтина**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются основные проблемы многоквартирных жилых домов, построенных в 60-70 годах, также применена нормативная документация, позволяющая оценить конструкции дома.*

**Ключевые слова:** *ограниченно-работоспособное, аварийное состояние, капитальный ремонт, инженерные системы, конструкции дома.*

Техническое состояние здания или его конструктивных элементов при проведении обследования зданий – состояние, которое определяет, в какой стадии безопасности находится обследуемое здание или сооружение [1, 2].

Анализ дефектов стен зданий начинается с обследования здания. Обследование стен начинают с выявления конструктивной схемы здания, назначения стен (ограждающая, несущая, самонесущая), прочностных характеристик материала, типов соединения стен (стенowych панелей) с другими несущими конструкциями: фундаментами, колоннами, перекрытиями и т. д.

С помощью геодезических приборов определяют отклонения стен от вертикали, местные выпучивания, горизонтальность стыков и швов. Измеряют толщину швов стыков и трещин. Стеновые панели армированы сетками и каркасами, в них имеются закладные детали. Поэтому их обследуют как железобетонные конструкции с определением защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры и т. д. Используют приборы ИСМ и ИЗС. Трещины могут возникать от разных факторов: от перепада температуры, осадок фундаментов, усадки бетона, перенапряжения и т. д.

Необходимо выявить, старые ли это трещины (пассивные), которые можно сразу заделать, или это активные развивающиеся трещины. Для этого устанавливают маяки на стену, очищенную от облицовки или штукатурки. На каждой трещине устанавливают по два маяка – в зоне наибольшего раскрытия и в конце. При обследовании деревянных стен или обшивки обязательно определяют влажность древесины и засыпок; выявляют степень зараженности гнилью, грибами, жучками и т. д. Отбирают из увлажненных мест образцы 10 × 5 × 1 см и направляют на микробиологический анализ.

При обследовании стен определяют следующие параметры и характеристики [3]:

- размеры стен;
- расстояние между осями;
- смещение осей;
- качество кладки;
- прочность кирпича, раствора, бетона;
- состояние гидроизоляции; влажность стен;
- теплозащитные и звукоизолирующие свойства;
- наличие дефектов.

Особое внимание при обследовании кирпичных стен обращают на следующие дефекты:

- трещины в простенках и перемычках;
- отклонение от вертикали;
- перекосы;
- отклонение размеров от проектных;
- плохое заполнение швов раствором;
- выпучивание;
- наличие разрушенных и ослабленных участков;
- разрыв связей между стенами;
- коррозию закладных деталей, кирпича и раствора;
- отслоение облицовки и штукатурки;
- отсутствие распределительных подушек под балками;
- недостаточную прочность материалов;
- некачественно выполненную гидроизоляцию, теплоизоляцию, звукоизоляцию;
- неправильное армирование кладки;
- увлажнение стен;
- промерзание углов;
- недостатки конструктивного решения.

Наиболее распространенные и частые дефекты кирпичной кладки наружных стен – трещины, разрывы, расслоения и другие. При возникновении любого дефекта кирпичные

стены утрачивают свои первоначальные характеристики и нуждаются в ремонте. Вследствие воздействия на здания силовых и природных внешних факторов возникают разные дефекты каменной кладки:

- выбоины и трещины разного характера;
- расслоение кирпичной кладки и отпадение штукатурки;
- выпадение отдельных кирпичей из-за ослабления кладки;
- выпучивание, провисание или прогиб кирпичной кладки;
- сильное намокание стеновых конструкций снаружи или внутри помещения, что приводит к отсыреванию, появлению плесени и грибов;
- появление трещин в местах стыковки несущих стен с оконными проемами, балконными плитами и другими конструктивными элементами зданий;
- выветривание стенового материала по причине его разрушения;
- дефекты кирпича вследствие его пережога или недожога при изготовлении, непараллельности граней или наличия инородных включений.

На конкретном примере рассмотрим дефекты строительных и инженерных конструкций дома, расположенного по адресу: Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 78

Категории технического состояния здания согласно ГОСТ 31937-2014 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния:

Нормативное техническое состояние – категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения [4].

Работоспособное техническое состояние – категория технического состояния здания, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований, в конкретных условиях эксплуатации, не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается.

Ограниченно-работоспособное техническое состояние – категория технического состояния строительной конструкции или зда-

ния и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания, и функционирование конструкций и эксплуатация здания или сооружения возможны либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания и последующем мониторинге технического состояния (при необходимости).

Аварийное состояние – категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта [5].

В ходе экспертного осмотра было установлено, что покрытие кровли, выполнено из металлического профлиста, находится в работоспособном техническом состоянии.

Система канализации, выполнена из ПВХ трубопроводов. В подвальном помещении произведена замена чугунных труб на ПВХ трубы, стояки канализации не ремонтировались. Состояние системы канализации возможно оценить, как «хорошее».

Системы электроосвещения заменены на новые с учетом существующих мощностей электроприборов.

Трубопроводы систем холодного и горячего водоснабжения в подвальном помещении, выполненные из металлических труб, заменены на новые и окрашены. Трубопроводы вышеуказанных систем находятся в работоспособном техническом состоянии. Трубопроводы систем горячего и холодного водоснабжения домовые стояки выполнены из металлических труб. Находятся в работоспособном состоянии (рисунок 1).

В ходе экспертного осмотра системы отопления здания многоквартирного жилого дома было установлено, что трубопроводы системы отопления выполнены из металлических труб. Трубопроводы системы отопления заменены на новые находятся в работоспособном техническом состоянии.

При проведении экспертного осмотра обследуемого жилого дома было установлено «работоспособное» состояние фасадов. Цоколь имеет участки с отслоением окрасочного и штукатурного слоев.



Рисунок 1 – Подвальное помещение жилого дома



Рисунок 2 – Отслоение штукатурного слоя в подъезде



Рисунок 3 – Сколы на лестнице

Таким образом, по результатам произведенного осмотра эксперты считают, что фасады здания МКД требуют проведения ремонтных работ.

В ходе производства экспертного осмотра было установлено, что состояние внутренней отделки подъездов № 1, 2 и 4 находится

в ограничено-работоспособном техническом состоянии. Присутствуют трещины отслоение окрасочного слоя, отслоение штукатурки (рисунок 2).

На момент осмотра лестничные марши находятся в ограниченно-работоспособном состоянии, имеются многочисленные сколы ступеней, разрушение защитного слоя бетона, требуется произвести восстановление ступеней (рисунок 3).

Цокольная часть фасада дома имеет трещины отслоение окрасочного слоя.

По результатам экспертного заключения принимаются решения о дальнейшей эксплуатации здания и/или проведения ремонта [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МДК 2-03.2003. Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда. Утверждены и введены в действие постановлением Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41347/> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Чудина, А. А. Виды повреждений и дефектов блочных зданий / А. А. Чудина, И. А. Бахтина, А. Н. Корнеев // В сб. : Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы. – Рубцовск, 2022. – С. 219-225.
3. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index/82/82570.htm> (дата обращения: 15.02.2026).
4. Методическое пособие по содержанию и ремонту жилищного фонда. МДК 2-04.2004 (утв. Госстроем России) [электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814090.pdf> (дата обращения: 15.02.2026).
5. Фишер, М. А. Проблемы многоквартирных домов, построенных в 60-70 годах / М. А. Фишер, И. А. Бахтина, А. Н. Корнеев // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: сборник. – Рубцовск, 2025. – С. 385-390.

**Фишер Максим Андреевич** – студент группы 8С(з)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [maksim.fisher.2002@mail.ru](mailto:maksim.fisher.2002@mail.ru);

**Бахтина Ирина Алексеевна** – к.т.н., доцент кафедры «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [bia-altai@mail.ru](mailto:bia-altai@mail.ru).



## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА БАРНАУЛА**

**Э. С. Хомутов, И. В. Носков**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены особенности формирования напряжённо-деформированного состояния грунтов при строительстве многоуровневых подземных автостоянок в условиях плотной городской застройки. Отмечена роль глубокой выемки, стадийности работ и защитных мероприятий в развитии деформаций грунтового массива и их проявлении в зоне влияния. Особое внимание уделено воздействию подземных вод и нестационарного гидрогеологического режима, определяющих пространственно-временной характер деформаций. Приведены инженерно-геологические особенности территории города Барнаула, влияющие на условия подземного строительства.*

**Ключевые слова:** подземное строительство, автостоянки, напряжённо-деформированное состояние, подземные воды, зона влияния, Барнаул.

Размещение многоуровневых подземных автостоянок в условиях плотной городской застройки связано с устройством глубоких котлованов и воздействием на грунтовый массив на значительных глубинах. Такое вмешательство неизбежно отражается на состоянии окружающей территории: деформации грунтов могут проявляться не только в пределах строительной площадки, но и в зоне влияния, затрагивая фундаменты и конструкции соседних зданий, а также подземные коммуникации.

Поэтому для подземных объектов ключевое значение имеет инженерно-геологическая оценка поведения грунтового массива как среды, реагирующей на строительство и последующую эксплуатацию сооружения в условиях изменяющегося напряжённо-деформированного состояния (НДС) и гидрогеологического режима.

### **Особенности формирования напряжённо-деформированного состояния грунтов при устройстве глубоких котлованов**

Разработка глубокого котлована приводит к нарушению исходного НДС грунтового массива и вызывает перераспределение напряжений в прилегающей толще. В результате в массиве формируются горизонтальные смещения и вертикальные перемещения, проявляющиеся в виде осадок основания и, в отдельных случаях, его подъёма в зоне выемки [3].

Величина и характер деформаций определяются строением разреза, свойствами грунтов и жёсткостью ограждения котлована.

В условиях городской застройки напряжённо-деформированное состояние массива формируется в условиях техногенной неоднородности [4].

Характерной особенностью подземного строительства является стадийный характер формирования деформаций грунтового массива [2].

Перемещения возникают и накапливаются последовательно на этапах разработки котлована и возведения подземной части сооружения, а также могут продолжаться на стадии эксплуатации. Таким образом, напряжённо-деформированное состояние грунтового массива следует рассматривать как процесс, изменяющийся во времени на протяжении жизненного цикла подземного объекта.

### **Влияние подземных вод и защитных мероприятий на НДС грунтов**

Подземные воды являются одним из ключевых факторов формирования напряжённо-деформированного состояния грунтов при подземном строительстве, поскольку влияют на эффективные напряжения, фильтрационные процессы и деформационные характеристики массива. Изменение уровней подземных вод и напоров в водоносных горизонтах может происходить как в результате вскрытия котлована и водопонижения, так и под воздействием техногенных факторов городской среды. Эти изменения влияют не только на величину деформаций, но и на характер их развития во времени, особенно в водонасыщенных и слабопроницаемых грунтах [1].

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА БАРНАУЛА

В условиях глубоких котлованов водный фактор проявляется через ряд гидрогеомеханических процессов, включая консолидационные деформации при снижении порового давления; риск гидравлического выпора и подъёма дна котлована при наличии напорных вод; развитие фильтрационных деформаций, локальных размывов и суффозионных процессов при высоких гидравлических градиентах; а также фильтрационный вынос грунта через дефекты ограждения и зоны повышенной проницаемости.

Отдельное значение имеет барражный эффект ограждающих конструкций, заключающийся в изменении естественных путей фильтрации и формировании зон подпора и разгрузки подземных вод.

Защитные мероприятия при устройстве котлованов следует рассматривать как комплекс воздействий на подземную среду и ограждающие конструкции, изменяющий граничные условия, жёсткость контура и фильтрационный режим.

Конструктивные решения (ограждения котлована, распорные и анкерные системы, технологии *top-down*) в первую очередь перераспределяют напряжения и ограничивают перемещения за счёт повышения жёсткости и изменения схемы работы системы.

Отдельно выделяются мероприятия, направленные на улучшение свойств грунтов (инъекционное закрепление, струйная цементация, искусственное замораживание и др.), способные изменять фильтрационные и деформационные характеристики массива.

Влияние подземных вод и защитных мероприятий проявляется не только в период строительства, но и на стадии эксплуатации подземного сооружения.

Длительное взаимодействие сооружения с грунтовым массивом и подземными водами может вызывать вторичные деформации, а барражный эффект и изменения условий дренирования способны формировать новые устойчивые режимы фильтрации, что требует комплексной оценки последствий для окружающей застройки на протяжении всего жизненного цикла объекта.

### **Инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории города Барнаула**

Инженерно-геологические условия территории города Барнаула характеризуются сложным и пространственно неоднородным строением четвертичных отложений, сформированных в пределах долины реки Оби и её притоков. В пределах городской застройки распространены современные техногенные

образования, а также аллювиально-пойменные и аллювиальные отложения надпойменных террас, представленные суглинками различной консистенции, супесями, пылеватыми и мелкими песками с линзовидным залеганием и локальными водоупорными прослоями. Такое строение обуславливает значительную изменчивость деформационных характеристик грунтового массива и повышенную чувствительность напряжённо-деформированного состояния к локальным инженерно-геологическим и гидрогеологическим особенностям.

Гидрогеологические условия города отличаются сложным строением и нестационарным режимом подземных вод. На территории Барнаула выделяются верховодка, грунтовые воды аллювиальных отложений пойм рек Оби, Барнаулки и Пивоварки, а также грунтовые воды надпойменных террас.

Верховодка имеет локальное распространение, формируется на водоупорных прослоях суглинков и глин и залегает, как правило, на глубинах от 0 до 5 м; её режим непостоянен и определяется атмосферными осадками, снеготаянием и техногенными утечками. Колебания уровня верховодки могут достигать нескольких метров.

Грунтовые воды аллювиальных отложений характеризуются малой глубиной залегания, преимущественно от 0 до 2-3 м, при мощности водоносных горизонтов от 2-3 до 10 м и более. Их режим тесно связан с колебаниями уровней рек и отличается выраженной сезонной изменчивостью; годовая амплитуда колебаний уровня составляет в среднем 0,8-1,65 м, а в отдельных участках достигает до 3 метров.

В пределах надпойменных террас глубина залегания грунтовых вод возрастает, при этом сохраняется зависимость режима от рельефа и гидрологического режима территории.

Сочетание локального развития верховодки, малой глубины залегания грунтовых вод и их нестационарного режима обуславливает необходимость регулирования водного режима уже при относительно небольшой глубине котлованов.

При более глубоком заглублении, характерном для многоуровневых подземных автостоянок, влияние подземных вод усиливается и проявляется как в период строительства, так и на стадии эксплуатации сооружений, что определяет повышенную чувствительность напряжённо-деформированного состояния грунтового массива в условиях городской застройки.

### Подходы к инженерной оценке изменения НДС грунтов

При проектировании подземных сооружений в условиях Барнаула ключевым становится не столько выявление факторов, влияющих на напряжённо-деформированное состояние грунтов, сколько оценка различий в характере их проявления при альтернативных инженерных решениях. Практика показывает, что при сходных геометрических параметрах котлованов и близких инженерно-геологических условиях разные комбинации защитных мероприятий могут приводить к сопоставимым перемещениям ограждения, но к существенно различающемуся воздействию на окружающую застройку.

Особое значение в этом контексте приобретает прогноз изменения водного режима во времени и пространстве. Наличие верховодки, сезонные колебания уровней подземных вод и возможное барражное влияние ограждающих конструкций определяют перераспределение порового давления и, как следствие, смещение зон деформаций за пределы строительной площадки. Эти эффекты не всегда проявляются в расчётных величинах перемещений стенки котлована, но могут оказывать определяющее влияние на осадки оснований соседних зданий.

В таких условиях инженерная оценка должна учитывать не только устойчивость и деформируемость ограждения, но и характер водно-деформационного отклика грунтового массива в зоне влияния.

Это позволяет рассматривать защитные мероприятия как альтернативные по последствиям решения и сопоставлять их с точки зрения допустимого воздействия на окружающую застройку, а не только по критериям локальной устойчивости котлована.

#### Выводы:

1. Оценка напряжённо-деформированного состояния грунтов при строительстве многоуровневых подземных автостоянок в плотной городской застройке требует выхода за пределы анализа локальной устойчивости котлована.

2. Существенное значение приобретает учет деформаций в зоне влияния, включая основания соседних зданий и подземные коммуникации, что определяет необходимость рассматривать грунтовой массив как

среду, реагирующую на строительные и эксплуатационные воздействия.

3. Для территории города Барнаула определяющим фактором формирования деформаций является изменяющийся гидрогеологический режим.

4. Динамика подземных вод влияет на пространственное и временное развитие напряжённо-деформированного состояния и обуславливает возможность отсроченных деформационных проявлений, в том числе после завершения строительных работ.

5. Такой подход создаёт основу для дальнейшего рассмотрения вопросов прогнозирования деформаций и обоснования инженерных решений при освоении подземного пространства в условиях городской застройки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеологические условия и причины подтопления грунтовых оснований территории города Барнаула / О. Н. Романенко [и др.] // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-2. – С. 97-104.
2. Гурский, А. В. Проблемы неравномерного всплытия подземного паркинга в Санкт-Петербурге / А. В. Гурский, Г. В. Левинтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 16-25.
3. Изменение характеристик грунтов при устройстве подземной части здания в котлованах большого объема в условиях городской застройки / Р. А. Мангушев [и др.] // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6(65). – С. 114-121.
4. Мангушев, Р. А. Инженерно-геотехнические изыскания при строительстве и реконструкции в условиях плотной городской застройки / Р. А. Мангушев, В. В. Конюшков, Д. А. Сапин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 5. – С. 47-54.

**Хомутов Эдуард Станиславович** – аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: ed-hom@mail.ru;

**Носков Игорь Владиславович** – к.т.н., доцент, заведующей кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

# АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГЕЛЕВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАК КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**И. А. Чалых, В. Н. Лютов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул

*В статье представлен анализ инновационного теплоизоляционного материала – аэрогеля – с акцентом на его уникальные физико-технические свойства и реальные области применения. Особое внимание уделено не только сверхнизкой теплопроводности, но и таким характеристикам, как негорючесть, гидрофобность, высокая паропроницаемость и долговечность. Приведены данные по стоимости аэрогелевых композитов на российском рынке, а также обоснована их целесообразность в условиях ограниченного пространства, высоких требований к пожарной безопасности и агрессивных климатических или промышленных средах. Рассмотрены реальные кейсы применения: изоляция трубопроводов, криогенных систем, промышленных печей и фланцевых соединений. Показано, что, несмотря на высокую первоначальную стоимость, аэрогель экономически оправдан за счёт снижения эксплуатационных затрат, отсутствия необходимости в паро- и гидроизоляции, а также сокращения толщины конструкций.*

**Ключевые слова:** Аэрогель, теплоизоляция, строительные конструкции, энергосбережение, инновационные материалы, промышленная изоляция, энергоэффективность.

Современные требования к энергоэффективности, пожарной безопасности и долговечности зданий и инженерных систем всё чаще выходят за рамки возможностей традиционных утеплителей.

Минеральная вата, пенополиуретан и экструдированный пенополистирол, несмотря на широкое распространение, обладают рядом системных ограничений: высокая толщина, гигроскопичность, горючесть, деградация свойств со временем. В этих условиях аэрогель – нанопористый материал на основе диоксида кремния – становится не просто альтернативой, а технологическим решением нового поколения.

## Уникальные свойства аэрогеля: за пределами теплопроводности

Хотя коэффициент теплопроводности аэрогеля ( $0,012-0,020 \text{ Вт/(м·К)}$ ) действительно в 2-3 раза ниже, чем у минеральной ваты или ППУ, его ценность определяется комплексом свойств [1]:

1) Негорючесть – аэрогель относится к классу НГ. При прямом воздействии пламени материал не воспламеняется, не выделяет токсичных газов и не способствует распространению огня. Пример негорючих свойств аэрогеля представлен на рисунке 1.

2) Гидрофобность – водопоглощение менее 1 % даже при полном погружении. Это исключает снижение теплоизоляционных ха-

рактеристик во влажной среде и предотвращает коррозию металлических конструкций.

3) Паропроницаемость –  $0,12-0,28 \text{ мг/(м·ч·Па)}$ , что позволяет конструкциям «дышать», предотвращая образование конденсата и развитие плесени.

4) Долговечность – стабильность свойств в течение 50 лет и более; отсутствие усадки, старения, биопоражения.

5) Температурная устойчивость – рабочий диапазон от  $-200^\circ\text{C}$  до  $+650^\circ\text{C}$ , что делает аэрогель применимым как в криогенных, так и в высокотемпературных системах.

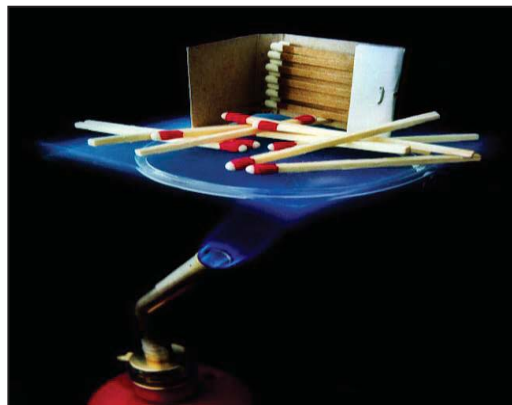


Рисунок 2 – Образец аэрогеля под прямым пламенем



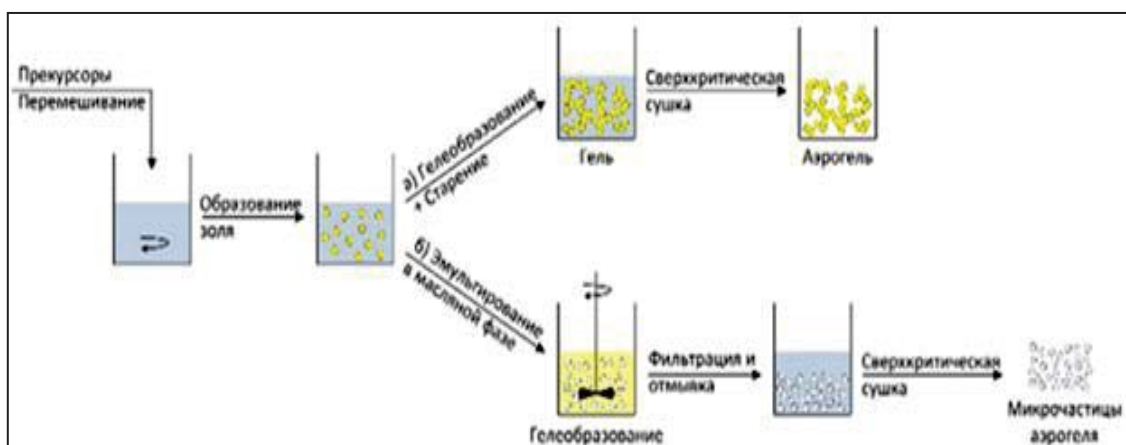


Рисунок 3 – Процесс получения аэрогеля

Эти характеристики делают аэрогель единственным материалом, способным одновременно решать задачи тепло-, паро-, гидро-, и огнезащиты.

#### Процесс получения аэрогелей

Производство аэрогелей включает три основных этапа [2]:

1. Синтез геля – формирование коллоидного раствора  $\text{SiO}_2$  с наночастицами оксидов металлов (например,  $\text{TiO}_2$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).
2. Удаление растворителя – осушение путем сохранения пористой структуры геля.
3. Обработка поверхности – добавление модификаторов ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , кварцевых наполнителей) для улучшения свойств материала.

Строгое следование технологическим параметрам на каждом этапе обеспечивает качество конечного продукта. Процесс получения аэрогеля показан на рисунке 2.

#### Реальные сферы применения

Внедрение аэрогеля в России и мире сосредоточено в следующих областях:

1) Изоляция промышленных трубопроводов. Аэрогелевые маты (например, Pyrogel® XTF, Cryogel® Z от Aspen Aerogels) широко применяются на объектах нефтегазовой отрасли для изоляции паропроводов, технологических линий и криогенных трубопроводов (LNG, жидкий азот). Благодаря минимальной толщине, они особенно эффективны на трубах малого диаметра, где традиционные материалы не обеспечивают требуемого термического сопротивления без чрезмерного увеличения габаритов. Монтаж и фиксация изоляции из аэрогеля на трубопроводе представлены на рисунке 3.

2) Фланцевые соединения. Сложная геометрия клапанов и фланцев затрудняет применение жёстких утеплителей. Гибкие аэрогелевые маты легко формуются по контуру,

обеспечивая герметичную изоляцию без «мостиков холода». Этапы монтажа и фиксации аэрогелевого мата на трубопроводе фланцевого типа представлены на рисунках 4 и 5.



Рисунок 3 – Монтаж и фиксация изоляции из аэрогеля на трубопроводе

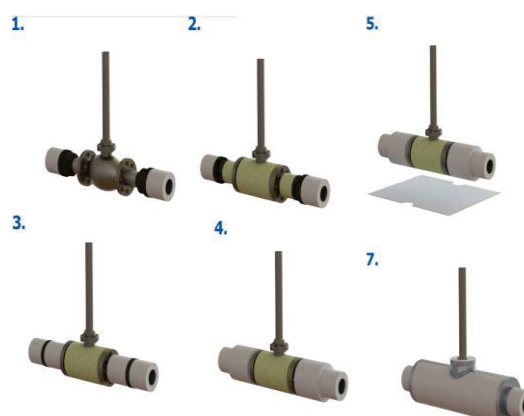


Рисунок 4 – Этапы монтажа и фиксации аэрогелевого мата на трубопроводе фланцевого типа

## АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГЕЛЕВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАК КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Рисунок 5 – Этапы монтажа и фиксации аэрогелевого мата на трубопроводе фланцевого типа

3) Промышленные печи и котельные установки. В металлургии, химической промышленности и энергетике аэрогель используется для изоляции реакторов, сушильных камер и парогенераторов, где критичны высокая температура и пожарная безопасность.

4) Строительство (ограниченно, но перспективно). В гражданском строительстве аэрогель применяется в основном в «умных» фасадных системах с минимальной толщиной, в большей степени пока экспериментально.

### Экономическая целесообразность

Средняя рыночная стоимость аэрогелевых матов в России (по данным ООО «Венторус») составляет 4000-8000 руб./м<sup>2</sup> в зависимости от типа и толщины. Для сравнения:

- минеральная вата – 500-700 руб./м<sup>2</sup>;
- напыляемый ППУ – 1400-1600 руб./м<sup>2</sup>.

Однако прямое сравнение некорректно без учёта жизненного цикла:

- 1) Срок службы – 50+.
- 2) Экономия пространства – при  $R = 3,8$  м<sup>2</sup>·°C/Вт толщина аэрогеля – 40–50 мм, минваты – 150–160 мм;
- 3) Логистика – 1 м<sup>3</sup> аэрогеля заменяет 4-5 м<sup>3</sup> минваты, что снижает транспортные расходы в 3-4 раза.

Таким образом, при расчёте на 50 лет эксплуатации аэрогель становится экономически конкурентоспособным, особенно в проектах с высокими требованиями к надёжности.

Несмотря на очевидные технические преимущества, использование аэрогелей в строительстве сталкивается с рядом экономических барьеров. Основной проблемой является высокая стоимость производства этих материалов. Однако, учитывая долгосрочные выгоды от снижения энергозатрат и повышения комфорта жильцов, инвестиции в аэрогелевые технологии могут оказаться экономи-

чески оправданными. Кроме того, существует возможность оптимизации производственного процесса и снижения себестоимости продукции за счёт использования современных технологий и автоматизации. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке более дешёвых и эффективных методов производства аэрогелей.

### Технология монтажа

Аэрогелевые композиты поставляются в виде [3]:

- 1) Гибких матов (Spaceloft®, Cryogel® Z);
- 2) Жёстких плит (Pyrogel® XTF);

Монтаж осуществляется:

1. Приклеиванием на полимерцементные или полиуретановые клеи;
2. Механическим креплением (тарельчатые дюбели, хомуты);

Утепление фасада аэрогелем в различных системах продемонстрировано на рисунках 6 и 7.

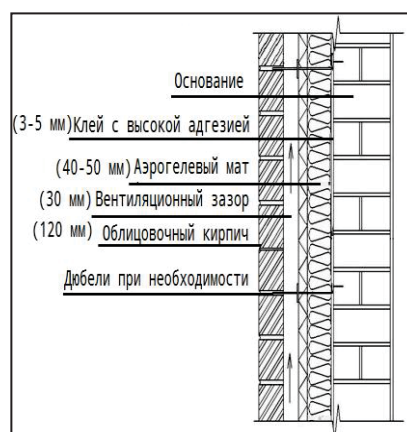


Рисунок 6 – Утепление фасада аэрогелем в системе с облицовочным кирпичом

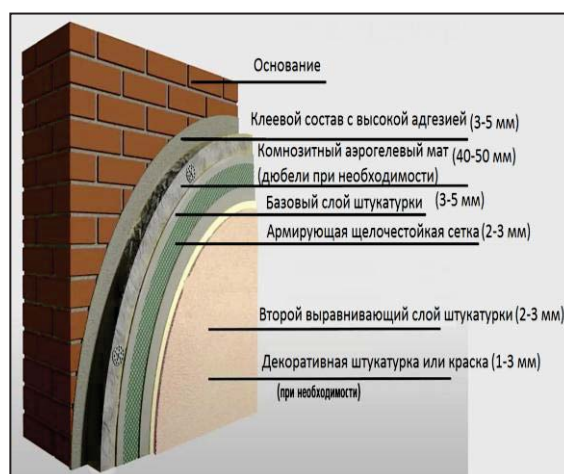


Рисунок 7 – Утепление фасада аэрогелевыми матами в системе «мокрый фасад»

### **Заключение**

Технология теплоизоляции на основе аэрогеля представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в современном строительстве и промышленности, сочетающее рекордно низкую теплопроводность с негорючестью, гидрофобностью, паропроницаемостью и долговечностью свыше 50 лет.

Уникальные физико-технические свойства аэрогелевых композитов позволяют эффективно решать задачи комплексной изоляции – тепловой, огневой, влагозащитной – особенно в условиях ограниченного пространства, агрессивных сред или экстремальных температур.

Реальные области применения уже подтверждены мировой практикой: от изоляции криогенных и паровых трубопроводов до утепления фланцевых соединений и промышленных печей.

Несмотря на высокую стоимость, аэрогель демонстрирует экономическую целесообразность при расчёте жизненного цикла за счёт отсутствия необходимости в замене, мембранах и дополнительной защите.

Дальнейшее развитие отечественных производств и оптимизация технологий сушки могут значительно снизить барьеры для массового внедрения. Настоящая работа под-

чёркивает необходимость расширения нормативной базы, повышения осведомлённости специалистов дальнейшего исследования целесообразности внедрения в строительную и инженерную практику применения аэрогелевых композитных материалов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Перспективы применения аэрогелей в строительстве // AlfaBuild. – 2018. – №4 (6). – С. 135-145.
2. Шалыгин, С. А. Наноматериалы в строительстве / С. А. Шалыгин, Л. А. Аниканова, Н. О. Солоницина // Материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых. – 2014. – С. 684-688.
3. Горелик, П. И. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения / П. И. Горелик, Ю. С. Золотова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 3(18). – С. 93-103.

**Чалых Иван Анатольевич** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: chalykh.ivan@bk.ru;

**Лютов Владимир Николаевич** – к.т.н., заведующий кафедрой «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: vnlutov@mail.ru.

## О РАЗВИТИИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. В. Чемакин, Ю. В. Халтурин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются общемировой контекст и государственная политика РФ в области деревянного домостроения, утвержденная дорожная карта по развитию данного направления, перспективные целевые показатели. Обоснованы преимущества применения древесины в строительстве. Особое внимание уделено деструктивным факторам и барьерам в отрасли, а также инновационным изменениям в системе нормативно-технического регулирования. Представлен анализ текущей ситуации и проблем отрасли с возможными путями их решения, а также анализ деятельности предприятий Алтайского края, специализирующихся на производстве деревянных домокомплектов, включая оценку их производственного потенциала и финансовой устойчивости. По результатам исследования сформулированы рекомендации по стимулированию роста данной сферы в регионе.*

**Ключевые слова:** Деревянное домостроение, домокомплекты, механическая безопасность, огнестойкость, нормативное регулирование, государственная поддержка, комбинированные конструкции, импортозамещение, Алтайский край, экономическая эффективность.

Рост доли строительства из деревянных конструкций – это общемировая тенденция, которой руководствуется и Россия. Широкое внедрение деревянного домостроения в Российской Федерации потребовало прежде всего скрупулезной проработки проблем механической безопасности и огнестойкости зданий, их ремонтпригодности, улучшения тепло-технических характеристик. Курс на развитие деревянного домостроения в России был принят в 2022 году, когда Минстрой РФ и МЧС утвердили дорожную карту по развитию этого направления. Данная карта предусматривала комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по обеспечению пожарной и механической безопасности объектов деревянного домостроения. В данное время планы по развитию деревянного домостроения не поменялись – к 2030 году в стране с применением деревянных конструкций должно возводиться не менее 20% жилья. Пока в 2024 году доля деревянного домостроения составила около 18%. Деревянное домостроение в Российской Федерации необходимо активно развивать, благодаря его экологичности, архитектурным возможностям, энергосбережению ресурсов.

По результатам опроса BN Group, проведенного 21 марта 2025 года, 19% опрошенных живут в деревянных домах, 37% сказали, что они хотят жить в доме из дерева, но пока не имеют такой возможности [1]. По данным НОСТРОЙ спрос на деревянное домостроение относится в основном к индивидуальным

жилым домам, о многоэтажном домостроении из древесины население имеет крайне мало информировано.

В сегодняшних далеко не самых благоприятных экономических условиях достаточно сложно прогнозировать положительные изменения в строительстве из древесины. Ставки по ипотеке пока очень высокие, при этом для застройщиков заемные средства остаются дорогими. Понижение спроса, обусловленное прежде всего снижением реальных доходов населения, обуславливается также пересмотром условий госпрограмм. Принципиальное изменение в последние годы бизнес-модели использования продукции лесной промышленности на внутреннюю с экспортноориентированной требует неотлагательного выполнения комплекса организационных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Очевидно, что вопрос дальнейшего развития деревянного домостроения в Российской Федерации назрел и его рассмотрение нельзя было откладывать: сырьевая база в стране продукции лесной промышленности огромна, есть мощности по производству продукции лесной промышленности, экспорт продукции в Европу практически прекратился, в страны Азии хотя и сохранился, но с высокими логистическими издержками.

Вопрос дальнейшего развития деревянного домостроения в России был обсужден 22 января 2026 года на круглом столе в Совете Федерации. Участники мероприятия



обозначили ключевые тенденции и перспективы развития отрасли. Прежде всего была отмечена положительная динамика объемов ввода домов из древесины: с 2021 года по 2024 год ввод такого жилья увеличился с 10,7 до 17,1 млн м<sup>2</sup>. Замдиректора Департамента градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России А. Степанов рассказал, что на основании результатов проведения комплекса испытаний, включая испытания динамической нагрузкой, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, были внесены изменения в своды правил. Он указал, что на данный момент нет нормативных документов, препятствующих строительству зданий (в том числе многоэтажных – рисунок 1) с применением деревянных конструкций древесины.

На круглом столе отметили, что деревянное домостроение следует развивать не только в жилищном секторе, но и при строительстве общественных зданий, в частности гостиниц, мотелей, домов отдыха. Особенно актуальным представляется строительство из домокомплектов в селах, например, сельских фельдшерско-акушерских пунктов (ФАП) и объектов туристической инфраструктуры. Выступающими была высказана необходимость скорейшей разработки типовой проектной документации для зданий различного назначения.

Была высказана необходимость государственного стимулирования деревянного домостроения, как путем льготного проектного финансирования, так путем запуска «зеленой ипотеки»; при госзаказе необходим приоритет таких проектов.

Что же препятствует более активному внедрению деревянного домостроения. Это прежде всего недоверие большинства населения к долговечности и пожаробезопасности домов, построенных с применением деревянных конструкций. Этому способствует отсутствие научно обоснованных норм по оценке долговечности и остаточного ресурса таких зданий. Если бы потребитель видел, что в нормативном документе указано, что использование данного домокомплекта при эксплуатации здания в соответствии с требованиями норм, срок его службы будет не менее 50, 60 или 75 лет, то это явно помогло бы ему в выборе.

Для успешного развития деревянного домостроения нужны также современные производственные мощности, нужна популяризация технологий и наилучших практик.

Необходима разработка и внедрение в практику типовых проектов деревянных до-

мов. Строительство по типовым проектам позволит сократить стоимость возведения зданий и увеличить его объемы. Например, строительство по стандартизированным проектам с использованием деревянных домокомплектов может быть применено при переселении людей из аварийного жилого фонда. Использование в этом случае готовых домокомплектов позволит снизить стоимость и сократить сроки строительства.

Благодаря введению СТО 74797072-001-2024 «Малозэтажные жилые дома с применением деревянных конструкций. Классификация и правила эксплуатации» [2] появилась взаимосвязанная система нормативных критериев оценки качества готовых домов. Были прописаны правила эксплуатации и технического обслуживания дома после окончания строительства. В документе прописано, какие документы по завершении тех или иных работ должны быть оформлены, а также даны формы бланков. В зависимости от видов конструкций приведены таблицы с критериями оценки технического состояния дома, что позволяет достаточно точно оценить качество выполненных работ и упрощает выполнение экспертизы. Также в документе указано, что гарантийные обязательства действуют только при соблюдении правил эксплуатации и технического обслуживания. Соблюдение СТО 74797072-001-2024 положительно скажется на доверии населения к деревянным домам вследствие понятных критериев качества, а также упростит выдачу гарантии на конечный продукт.

Деревянные конструкции можно применять совместно с металлическими и железобетонными конструктивными элементами. Это значительно расширяет сферу применения дерева в строительстве, а также позволяет комбинировать преимущества разных



Рисунок 1 – Многоквартирное жилое здание в г. Сокол Вологодской области

материалов. Проектирование данных конструкций регламентируется СП 544.13258000.2025 «Конструкции комбинированных каркасов с применением металла, древесины и железобетона. Правила проектирования» [3]. В 2025 году документ был введен впервые. Это событие значительно упростило проектирование и введение в эксплуатацию зданий с применением таких конструкций.

В Алтайском крае существуют несколько предприятий по выпуску готовых домокомплектов из дерева. Для анализа приведем основные из них:

1. Завод домостроения в с. Топчиха ООО «Содружество». Плановая мощность производства – 22 тыс. м<sup>3</sup> готовой продукции в год (250–300 домов). По состоянию на 2016 год предприятие ежегодно выпускало более 100 домокомплектов – 15 тыс. м<sup>3</sup> продукции. На производственной площадке расположено 5 сушильных камер с суммарным объемом единовременной загрузки 625 м<sup>3</sup>. Основная продукция завода – сборные жилые дома из клееного бруса от «экономкласса» до элитных (рисунок 2) [4]. К сожалению, в связи с низким спросом на продукцию и остановки заготовки древесины в 2022 году, расторжением договоров аренды, предприятие терпит серьезные финансовые убытки. По данным интернет-портала «Чекко» на 2024 год, несмотря на рост выручки на 27,81% относительно предыдущего года чистая прибыль составила 7,3 млн руб. и снизилась на 82,52% [5].

2. Завод каркасно-панельного домостроения по шведской технологии в с. Бобровка ООО «Бобровский лесокомбинат». Производительность завода – 120 домов в год. Поставляет продукцию не только на местный рынок, но и на рынок Узбекистана, Китая, Афганистана, Казахстана [4]. Предприятие так же, как и выше рассмотренное, испытывает финансовые трудности. По данным интернет-портала «Чекко» на 2024 год выручка компании составила 131,3 млн. руб. (уменьшилась на 5,54%), а чистая прибыль снизилась до 29,9 млн. руб. (минус 671,96%) [5].

3. Завод каркасно-панельного домостроения в г. Новоалтайск ЗАО «Алтайкровля» Проектная мощность ЗКПД – 600 домов в год, или 72 тысячи квадратных метров [4]. При проектировании домов применяется технология MiTek, которая осуществляет автоматизированный расчет нагрузок, геометрических параметров и раскройку изделий. Использование данной технологии позволяет

повысить точность изготовления конструкций любой сложности, а также экономить материал на 30–40%. В январе 2022 года ЗАО «Алтайкровля» было признано несостоятельным (банкротом), в отношении него открыто конкурсное производство и 26 января 2026 года имущество предприятия в составе 54 лотов выставлено на торги в формате открытого аукциона [5].

Все три вышеперечисленных предприятия входят в состав холдинга «Алтайлес» [6]. Проанализировав динамику финансовых показателей, можно увидеть, что рост финансовых убытков обусловлен разными причинами и санкции против РФ его только увеличили. Стоит отметить, что выручка и чистая прибыль всего холдинга стремительно растут, начиная с 2019 года и по настоящее время (рисунок 3), благодаря другим предприятиям холдинга, которые тоже связаны с лесом и деревопереработкой, но либо не производят домокомплекты, либо у которых производство домокомплектов не является основным.

Компания «Алтай ДОО» в г. Барнауле. Является одним из крупнейших производств клееного бруса за Уралом. Один из объектов, возведенных из продукции «Алтай ДОО», приведен на рисунке 3. Производственные мощности предприятия дают возможность в месяц перерабатывать до 1000 м<sup>3</sup> древесины. Используется качественное европейское оборудование, а также клей голландского производства [7]. Проанализировав финансовую отчетность компании, можно увидеть, что несмотря на рост выручки до 907,7 млн руб. (плюс 49%) по состоянию на 2024 год, после введения санкций 2022 года чистая прибыль начала стремительно падать (рисунок 4). Исходя из последних финансовых отчетов (2024 г.), положительной динамики не наблюдается [4].



Рисунок 2 – Загородный отель «Opera Wellness Hotel» в г. Тюмень, производства холдинга «Алтайлес»



Рисунок 3 – SPA-отель «Заречье» г. Барнаул, производства «Алтай ДОЗ»

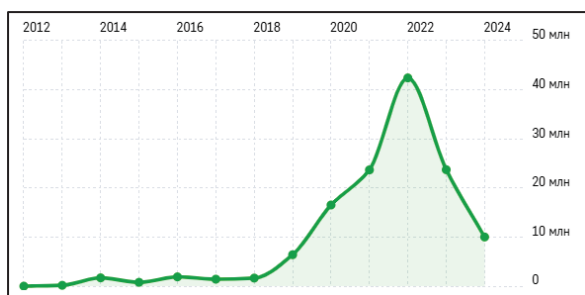


Рисунок 4 – Динамика чистой прибыли «Алтай ДОЗ»

По результатам анализа предприятий, производящих деревянные домокомплекты, можно сделать вывод, что из-за низкого спроса на производимую продукцию, у них возникли финансовые трудности. У некоторых предприятий одной из основных причин оказались санкции против РФ, расширенные с 2022 года.

Для дальнейшего развития деревянного домостроительства в Алтайском крае особое внимание необходимо уделить следующим направлениям:

- строительству зданий сельскохозяйственных предприятий, учреждений здравоохранения (прежде всего быстровозводимых) и других муниципальных зданий в отдаленных районах, рекреационных объектов, зданий дорожной инфраструктуры;
- участию предприятий деревянного домостроения в госпрограммах по переселению из аварийного жилья, быстрому обеспечению жильем районов, пострадавших от стихийных

бедствий, обеспечению жильем граждан льготных категорий;

- импортозамещению оборудования и клеев для производства деревянных конструкций;
- информированию населения о преимуществах деревянных домов в период строительства и эксплуатации;
- строительству «образцовых» зданий из деревянных конструкций для демонстрации их качества и возможностей;
- разработке типовых проектов невысокой стоимости за счет типизации и массовости выпуска;
- развитию комбинированных конструктивных систем, с применением металла и железобетона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. Россияне рассказали, готовы ли они жить в деревянном доме [Электронный ресурс] – URL: <https://npadd.ru/novosti/rossiyane-gotovy-zhit-v-derevyannom-dome/> (дата обращения: 08.02.2026).
5. СТО 74797072–001–2024. Малоэтажные жилые дома с применением деревянных конструкций. Классификация и правила эксплуатации. – М, СПб. : АДД, 2024. – 43 с.
6. СП 544.1325800.2025. Конструкции комбинированных каркасов с применением металла, древесины и железобетона. Правила проектирования. – М. : АО «НИЦ «Строительство», ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 2025. – 33 с.
7. Ассоциация производителей машин и оборудования лесопромышленного комплекса [Электронный ресурс] – URL: <https://alestech.ru/> (дата обращения: 13.02.2026).
8. Портал Чекко [Электронный ресурс] – URL: <https://checko.ru/> (дата обращения: 14.02.2026).
9. ЛХК Алтайлес [Электронный ресурс] – URL: <https://altailes.com/> (дата обращения: 13.02.2026).
10. Алтайдоз [Электронный ресурс] – URL: <https://altay-doz.ru/> (дата обращения: 14.02.2026).

**Чемакин Николай Витальевич** – студент группы 8Спс-51 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [chemakin.kolya@gmail.com](mailto:chemakin.kolya@gmail.com);

**Халтурин Юрий Васильевич** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [khalt.yuriy@mail.ru](mailto:khalt.yuriy@mail.ru).



## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СВАЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ПОД 25-ЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ В ГОРОДЕ НОВОСИБИРСКЕ

Б. М. Черепанов, Е. С. Колесникова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлен сравнительный технико-экономический анализ устройства фрагментов из разных типов свайных кустов для 25-этажного жилого здания в г. Новосибирске в сложных грунтовых условиях. Рассмотрены забивные железобетонные сваи сечением  $0,3 \times 0,3$  м и  $0,4 \times 0,4$  м, а также буронабивные сваи.*

**Ключевые слова:** свайные фундаменты, буронабивные сваи с уширением, статическое зондирование грунтов, забивные железобетонные сваи, технико-экономическое сравнение, высотное строительство, слабые грунты, нормативные документы.

В процессе проектирования свайных фундаментов нередко выявляются сложности, связанные с низкими показателями несущей способности свай при сложных грунтовых условиях. Это приводит к необходимости формирования свайных кустов с увеличением количества, размещаемых в нем свай. Поскольку реализация таких решений может быть ограничена техническими факторами, зачастую рациональнее использовать сваи повышенной несущей способности или альтернативные методики расчёта проектных нагрузок, что обеспечивает экономическую эффективность проекта.

Целью настоящей работы является проведение детального технико-экономического сравнения забивных свай и буронабивных свай с уширением для конкретного объекта строительства.

В качестве объекта исследования рассмотрен 25-этажный жилой дом с монолитными вертикальными пилонами, диафрагмами жесткости и перекрытиями, расположенный в г. Новосибирск по улице Демьяна Бедного, д. 73. Здание имеет два подземных этажа, предназначенных для размещения паркинга и технических помещений. Конструктивная схема здания представляет собой монолитный железобетонный каркас с несущими стенами и колоннами.

Проектирование свайных фундаментов в России регламентируется комплексом нормативных документов, основными из которых являются СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» [1] и СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты» [2]. Данные своды правил устанавливают требования к расчету, проектированию и устройству свайных фун-

даментов различных типов, включая как забивные, так и буронабивные сваи.

Согласно СП 24.13330.2021, процесс проектирования свайного фундамента включает следующие основные этапы:

- выбор несущего слоя грунта, в который будут опираться или заглубляться сваи;
- определение глубины заложения свай на основании инженерно-геологических условий площадки строительства и конструктивных особенностей здания;
- определение длины и поперечного сечения свай;
- расчет несущей способности свай по грунту основания.

Несущая способность свай по грунту основания определяется как сумма сопротивлений грунта по боковой поверхности свай и под ее нижним концом по формуле 7.2 СП 24.13330.2021 [2]

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{R,R} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum (\gamma_{R,f} \cdot f_i \cdot h_i)), \quad (1)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы свай в грунте;  $\gamma_{R,R}$  и  $\gamma_{R,f}$  – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и по боковой поверхности свай;  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай;  $A$  – площадь опирания свай на грунт;  $u$  – периметр поперечного сечения свай;  $f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта по боковой поверхности свай;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта.

Полученную несущую способность свай необходимо разделить на коэффициент надежности по грунту  $\gamma_k$ , значение которого зависит от способа определения несущей способности. Согласно СП 24.13330.2021, при расчете по табличным значениям этот коэффициент принимается равным 1,4, что обес-



печивает необходимый запас надежности при отсутствии непосредственных испытаний грунтов. При проведении полевых испытаний статической нагрузкой, которые дают более достоверную информацию о реальной работе сваи в конкретных грунтовых условиях, коэффициент надежности может быть снижен до 1,25, что позволяет получить более высокую расчетную нагрузку на сваю.

Инженерно-геологические условия площадки строительства характеризуются наличием слабых водонасыщенных грунтов в верхней части разреза. По результатам инженерно-геологических изысканий в геологическом строении площадки выделено восемь инженерно-геологических элементов (ИГЭ), представленных четвертичными отложениями различного генезиса и литологического состава.

При рассмотрении физико-механических свойств грунтов и анализе возможных вариантов заложения свай было принято решение заглубить сваи в шестой инженерно-геологический элемент (ИГЭ-6). ИГЭ-6 представлен суглинком тяжелым пылеватым мягкопластичным с примесью органического вещества, незасоленным, с прослоями глины. Показатель текучести грунта составляет 0,58, что позволяет использовать данный слой в качестве несущего для висячих свай.

Кровля ИГЭ-6 залегает на глубине около 12 метров от поверхности земли, мощность слоя составляет не менее 8 метров, что обеспечивает достаточную заделку свай в несущий слой. Подстилается ИГЭ-6 слоем ИГЭ-7, представленным суглинком текуче-пластичным с показателем текучести более 0,6, что исключает возможность заглубления свай в этот слой согласно требованиям СП 24.13330.2021.

В практике фундаментных работ в Новосибирске широко применяются забивные железобетонные сваи с поперечным сечением 0,3×0,3 м. Производство таких свай налажено на местных предприятиях ЖБИ в соответст-

вии с требованиями ГОСТ 19804-2012. Длина свай 18 м обеспечивает проход через верхние слои слабонесущих суглинистых грунтов с последующей опорой на более плотные грунтовые горизонты.

В условиях плотной городской застройки использование данного типа свай сопряжено с рядом существенных ограничений. Для реализации технологии забивки необходима тяжелая строительная техника (дизель-молоты или гидромолоты), которая вызывает интенсивные динамические воздействия как на грунтовый массив, так и на близлежащие здания. Согласно СП 24.13330.2021, при определении несущей способности по табличным данным применяется коэффициент надежности  $\gamma_k = 1,4$ . Это обуславливает расчетную нагрузку на одну сваю в 350,84 кН и требует размещения 46 свай в кусте, что существенно усложняет не только проектирование ростверка, но и его устройство (рисунок 1).

По состоянию на 2025 год в Новосибирске цена железобетонной сваи длиной 18 метров составляет около 40-45 тысяч рублей за штуку. Стоимость монтажных работ по забивке – порядка 30-35 тысяч рублей за сваю. Транспортные расходы при доставке 46 свай составляют около 138 тысяч рублей. Общая стоимость устройства куста: сваи – 2070 тыс. руб., монтаж – 1610 тыс. руб., доставка – 138 тыс. руб., итого 3818 тысяч рублей.

Увеличение сечения забивных свай до 0,4×0,4 м обеспечивает расчетную нагрузку 526,66 кН – на 50% выше предыдущего варианта, что позволяет сократить количество свай в кусте до 33 штук. Однако масса одной сваи составляет около 3,2-3,5 тонны, что требует использования более мощной сваебойной техники и создает еще большие динамические нагрузки. При этом сохраняется проблема повышенного коэффициента надежности  $\gamma_k = 1,4$  при расчете по табличным значениям (рисунок 2).

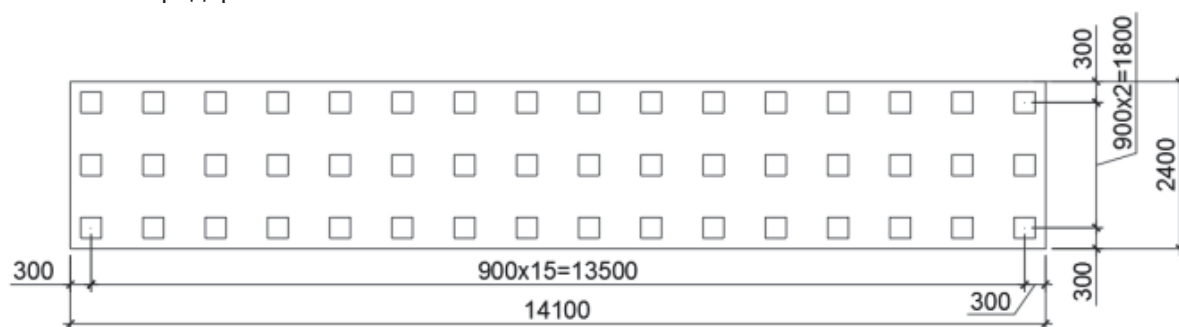


Рисунок 1 – Свайный куст. Вариант 1

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СВАЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ПОД 25-ЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ В ГОРОДЕ НОВОСИБИРСКЕ

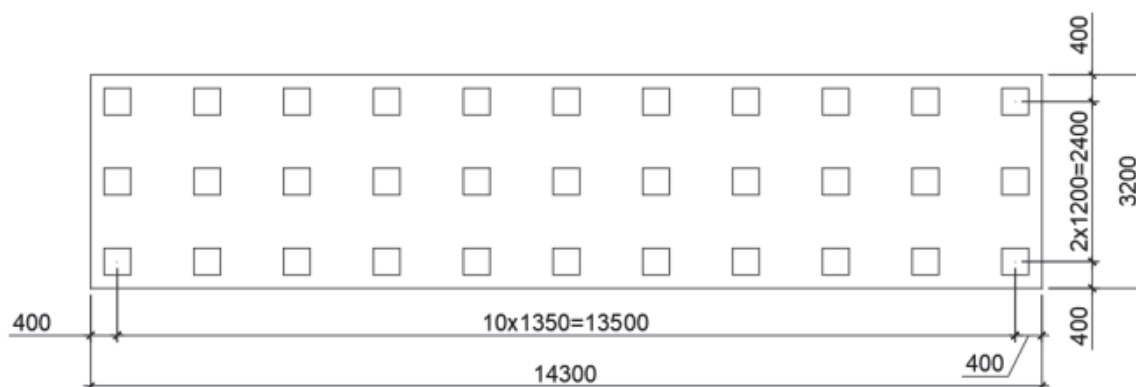


Рисунок 2 – Свайный куст. Вариант 2

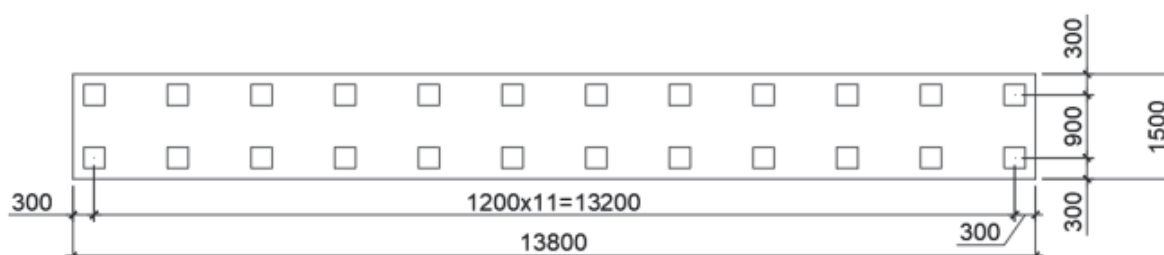


Рисунок 3 – Свайный куст. Вариант 3

Стоимость сваи  $0,4 \times 0,4$  м длиной 18 м достигает 65-70 тысяч рублей. Монтажные работы – 33-37 тысяч рублей за сваю. Транспортные расходы на доставку 33 свай – около 158,4 тысяч рублей. Общая стоимость: сваи – 2310 тыс. руб., монтаж – 1155 тыс. руб., доставка – 158,4 тыс. руб., итого 3623,4 тысяч рублей. Экономия составляет всего 5,1% по сравнению с вариантом 1 без учёта затрат на устройство ростверка.

Применение метода статического зондирования (МСЗ) грунтов позволяет снизить коэффициент надежности с 1,4 до 1,25, что увеличивает расчетную нагрузку на сваю более чем в 2 раза – с 350,84 кН до 727 кН. Это дает возможность сократить количество свай с 46 до 24 штук при использовании того же сечения  $0,3 \times 0,3$  м (рисунок 3).

Метод статического зондирования (МСЗ) представляет собой современный и эффективный метод инженерно-геологических исследований, регламентированный ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». Сущность метода заключается во внедрении в грунт специального измерительного зонда под действием равномерно распределенной статической нагрузки с непрерывной регистрацией сопротивления грунта на различных глубинах.

Согласно СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты», ре-

зультаты статического зондирования могут использоваться для определения расчетных характеристик грунтов, в том числе для оценки несущей способности свай. При этом достоверность получаемых результатов обеспечивается соблюдением требований ГОСТ 19912-2012 к методике проведения испытаний и калибровке оборудования.

В отличие от лабораторных анализов образцов, МСЗ даёт непрерывный массив данных о свойствах грунта без нарушения его природной структуры. Это особенно ценно при исследовании слабых водонасыщенных суглинков.

В рамках проекта выполнено 29 точек зондирования, что дало более уточненные данные.

Стоимость одной точки статического зондирования на глубину 18 метров составляет 32-40 тысяч рублей. Стоимость устройства фундамента: 24 сваи – 1080 тыс. руб., монтаж – 840 тыс. руб., доставка – 72 тыс. руб., испытания МСЗ – 36 тыс. руб., итого 2028 тысяч рублей. Экономия составляет 1790 тысяч рублей или 46,9% по сравнению с вариантом 1.

Применение буронабивных свай с уширением является технически и экономически обоснованным решением для сложных геологических условий Новосибирска. Буронабивные сваи с механическим уширением пяты позволяют увеличить площадь опирания на

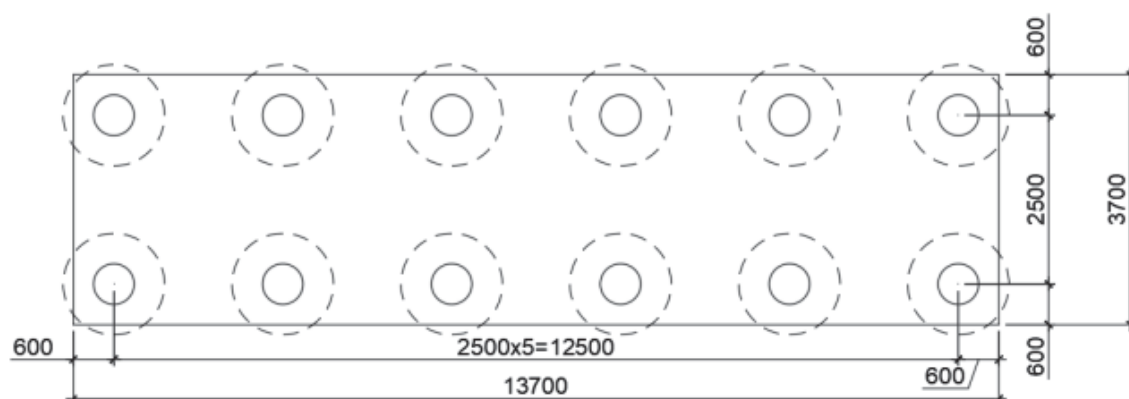


Рисунок 4 – Свайный куст. Вариант 4

Таблица 1 – Сравнение ТЭП вариантов свайных фундаментов

| Показатель             | Вар. 1 0,3×0,3<br>по СП | Вар. 2 0,4×0,4<br>по СП | Вар. 3 0,3×0,3<br>МСЗ | Вар. 4 БНС<br>с уширением | Ед. изм.         |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|
| Расчетная нагрузка     | 350,84                  | 526,66                  | 727,00                | 1424,06                   | кН               |
| <b>Количество свай</b> | <b>46</b>               | <b>33</b>               | <b>24</b>             | <b>12</b>                 | шт.              |
| Стоимость свай         | 2070                    | 2310                    | 1 080                 | 1620                      | тыс. руб.        |
| Монтажные работы       | 1610                    | 1155                    | 840                   | 660                       | тыс. руб.        |
| Доставка / МСЗ         | 138                     | 158                     | 72+36                 | –                         | тыс. руб.        |
| <b>ИТОГО</b>           | <b>3818</b>             | <b>3623</b>             | <b>2028</b>           | <b>2280</b>               | <b>тыс. руб.</b> |

грунт в 1,8-3 раза при относительно небольшом диаметре ствола (600 мм). Для рассматриваемого проекта: диаметр ствола 600 мм, диаметр уширения 1500 мм, расчетная нагрузка 1424,06 кН, количество свай в кусте – 12 штук (рисунок 4).

Климатические особенности Новосибирска – продолжительный зимний период с глубоким промерзанием грунта (до 2,2-2,5 м) – также способствуют выбору буронабивной технологии. Устройство свай данным методом позволяет вести работы круглогодично. Отсутствие динамических воздействий делает эту технологию незаменимой при реконструкции существующих зданий или при строительстве в непосредственной близости от жилых домов (таблица 1).

По данным на 2025 год, стоимость работ по бурению и устройству буронабивных свай составляет от 5500 до 8500 рублей за погонный метр. Для свай диаметром 600 мм с уширением до 1500 мм и длиной 18 м общая стоимость изготовления одной сваи «под ключ» составляет ориентировочно 120-150 тысяч рублей. В эту стоимость входит: бурение скважины (2000-2500 руб./м.п.), изготовление и установка арматурного каркаса (25-30 тыс. руб.), устройство уширения меха-

ническим расширителем (15-20 тыс. руб.), бетонирование (35-40 тыс. руб.).

Общая стоимость устройства 12 свай составит от 1440 до 1800 тысяч рублей, в среднем 2280 тысяч рублей с учетом монтажных работ.

Вариант 3 (забивные сваи 0,3 × 0,3 м с МСЗ) обеспечивает максимальную экономическую эффективность среди забивных свай – 46,9% относительно расчета по СП. Применение метода статического зондирования позволяет снизить коэффициент надежности с 1,4 до 1,25, что существенно увеличивает расчетную несущую способность.

Вариант 4 (буронабивные сваи с уширением) является оптимальным с точки зрения конструктивного решения: минимальное количество свай (12 шт.) упрощает конструирование ростверка, высокая несущая способность за счет уширенной пяты (1424 кН), отсутствие динамических воздействий при устройстве. Стоимость выше варианта 3 на 12,4%.

Варианты 1 и 2 (расчет по формулам СП) экономически неэффективны и создают сложности при конструировании из-за большого количества свай в кусте (46 и 33 шт. соответственно).

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СВАЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ПОД 25-ЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ В ГОРОДЕ НОВОСИБИРСКЕ

Меньшее количество свай снижает воздействие на окружающую среду и соседние здания.

Забивка свай сопровождается значительными динамическими воздействиями на грунт, которые могут вызывать дополнительные осадки фундаментов соседних зданий и появление трещин в их конструкциях.

Согласно СП 22.13330.2016, при производстве работ вблизи существующих зданий необходимо проводить мониторинг их технического состояния и принимать меры по ограничению динамических воздействий.

Сокращение объема свайных работ пропорционально уменьшает уровень шума и вибрации, что особенно важно при строительстве в условиях плотной городской застройки. Это позволяет избежать конфликтных ситуаций с жителями окружающих домов и соблюдения требования санитарных норм.

Для данного объекта рекомендуется применение буронабивных свай с уширением (вариант 4) как наиболее сбалансированное решение по критериям экономичности, конструктивности и технологичности.

При невозможности устройства буронабивных свай – применять метод статического зондирования (вариант 3) для уточнения несущей способности забивных свай.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М. : Стандартинформ, 2016. – 219 с.
2. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. – М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 82 с..
3. Цены на инженерные изыскания для строительства в г. Новосибирске. Инженерные изыскания [Электронный ресурс] // ГеоГрунт. – URL: <https://novosibirsk.geogru.ru/czeny/> (дата обращения: 12.10.2026).
4. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты :актуализир. ред. СНиП 3.02.01-87 : дата введения 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 145 с.
5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения :актуализир. ред. СНиП 52-01-2003 : дата введения 2019-06-20. – М. : Минстрой России, 2018. – 126 с.
6. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2013. 52 с.

**Черепанов Борис Михайлович** – к.т.н, доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [CherepanovBM@altgtu.ru](mailto:CherepanovBM@altgtu.ru);

**Колесникова Екатерина Сергеевна** – студент группы СУЗ-01 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [stkateriin@gmail.com](mailto:stkateriin@gmail.com).



## АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИИ

**М. К. Чернецкая, Б. М. Черепанов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассматриваются вопросы технических, экономических и нормативных аспектов применения композитной арматуры в ответственных конструкциях фундаментов. В связи с этим были рассмотрены виды композитной арматуры и особенности их применения в фундаментных конструкциях. В статье описаны ограничения и критические аспекты использования композитной арматуры. Указаны преимущества, ограничения и рекомендации применения композитной арматуры в фундаментостроении. Указано, что критическим ограничением применения композитной арматуры в бетонных конструкциях остаётся недостаточная проработанность расчётных методик. Расхождение результатов численного моделирования и нормативных расчётов требует проведения дополнительных экспериментальных исследований для уточнения методик расчёта изгибаемых элементов с композитным армированием. По результатам выполненных исследований сделаны выводы о композитной арматуре, как о перспективном материале для фундаментостроения. Её применение требует взвешенного подхода с учётом специфики конструкции, условий эксплуатации и текущего уровня развития нормативно-технической базы.*

**Ключевые слова:** композитная арматура, стеклопластиковая арматура, базальтопластиковая арматура, комбинированная композитная арматура, фундаментостроение.

### Введение

Современное строительство активно осваивает инновационные материалы, среди которых особое место занимает композитная арматура. Её применение в фундаментостроении представляет значительный интерес благодаря уникальным эксплуатационным характеристикам: высокой коррозионной стойкости, диэлектрическим свойствам и радиопрозрачности. Однако переход от традиционной стальной арматуры к композитным аналогам требует комплексного анализа технических, экономических и нормативных аспектов, особенно в ответственных конструкциях фундаментов.

### Виды композитной арматуры и их особенности

В практике фундаментостроения находят применение различные типы композитной арматуры.

*Стеклопластиковая арматура* демонстрирует высокую устойчивость к агрессивным воздействиям среды, что делает её предпочтительной для ленточных фундаментов. Как показали исследования Шагиной А. И., Субботина А. И. и Шутовой М. Н., в свайно-ленточных фундаментах двухэтажных домов стеклопластиковое армирование проявляет себя как более эффективное решение по сравнению с другими видами композитной арматуры [15].

В работе Алексеева Л. А. и Игнатовича А. В.

выяснено, что целесообразно применять композитную арматуру в качестве гибких связей в многослойных наружных стенах коттеджей в связи с её характеристиками прочности и жесткости. Изучено влияние таких условий окружающей среды, как ультрафиолетовое излучение солнца и температура воздуха на состояние композитной арматуры. Установлено, что применение композитной арматуры в гражданском и коттеджном строительстве повышает коррозионную стойкость сооружения. Также транспортабельность композитной арматуры в виду её малого удельного веса, пригодна для применения в сфере коттеджного строительства [1].

В работах Гиль А. И. Бадалова Е. Н., Лазовского Е. Д. [3] отмечается, что стеклопластиковая арматура нашла своё практическое применение в конструкциях из лёгких бетонов, элементах фундаментов, электролизованных ваннах, балках и ригелях эстакад, опорных конструкциях конденсаторных батарей, плитах крепления откосов.

*Базальтопластиковая арматура* обладает переменной прочностью при сохранении модуля упругости, что позволяет эффективно использовать её в ненапрягаемых конструкциях. Кустикова Ю. О. и Римшин В. И. отмечают, что применение базальтопластиковых стержней повышает несущую способность бетонных конструкций и их трещиностойкость. При этом эффект преднапряжения ар-

матуры, наблюдаемый в экспериментах на выдергивание, дополнительно усиливает сцепление с бетоном за счёт неравномерной деформации поверхностного слоя при объёмной усадке бетона [6].

*Комбинированная композитная арматура* позволяет сочетать преимущества различных материалов. Ильин Д. А. установил физико-технические характеристики комбинированной композитной арматуры, в том числе прочность сцепления с бетоном и устойчивость к щелочной среде бетона, а также определил параметры прочности, жёсткости и трещиностойкости армированных бетонных конструкций [4].

Алексеева Л. А., Игнатович А. В. установили методом теоретического анализа, что для получения максимально надёжной конструкции следует армировать бетон комбинированно: и композитной, и металлической арматурой. При строительстве коттеджей это позволяет выгодно использовать преимущества и первого, и второго видов арматуры, а именно: композитная арматура обеспечивает коррозионную стойкость конструкции в то время, как металлическая арматура придает конструкции прочность [1].

#### **Особенности применения в фундаментных конструкциях**

Исследования Шагиной А. И. и соавторов выявили ключевые особенности применения композитного армирования в свайно-ленточных фундаментах [14]:

- арматура из стеклопластика целесообразна только в слабонагруженных конструкциях или при малом шаге свай вследствие низких жёсткостных характеристик;
- при значительных нагрузках рекомендуется комбинированное армирование: в зонах чистого сжатия и растяжения использовать арматуру из стеклопластика, а в зонах изгиба — металлическую арматуру;
- стеклопластиковая арматура нашла практическое применение в элементах фундаментов, как отмечают Гиль А. И., Бадалова Е. Н. и Лазовский Е. Д. [3].

Лапинов А. Е. предложил методику повышения несущей способности сжатых бетонных элементов, армированных стеклокомпозитной арматурой, за счёт уменьшения шага поперечной арматуры. Реализация этой методики при проектировании сжатых элементов в условиях агрессивных сред позволяет полностью заменить стальную арматуру на композитную в качестве рабочей продольной и поперечной, а также значительно повысить коррозионную стойкость и долговечность конструкций [7].

#### **Ограничения и критические аспекты**

Несмотря на преимущества, применение композитной арматуры в фундаментостроении имеет существенные ограничения:

1. Проблема расчетного анализа: Рогатнев Ю. Ф. и соавторы установили, что значения, полученные с использованием программных комплексов «ЛИРА-САПР 2017 R3» и «ANSYS 2019 R3», прогибов элементов со стеклокомпозитной арматурой в среднем превышают показатели стальных аналогов в 3-5 раз. Показатели прогибов двухслойных и однослойных изгибаемых элементов прямоугольного сечения с композитной арматурой до разрушения превышали предельно допустимые 8 мм, что ставит под сомнение применимость существующих расчётных методик [11].

Овчинников И. И. и соавторы [8] отметили, что проводится расчетный анализ поведения усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных конструкций без учета нелинейности деформирования и неодинаковости работы железобетона на растяжение и сжатие. По этой причине получаемые результаты некорректны.

2. Температурная и ультрафиолетовая чувствительность: Алексеева Л. А. и Игнатович А. В. выявили, что стеклопластиковую арматуру не следует применять в условиях резких перепадов температур, так как данный материал не выдерживает таких условий. Длительное воздействие ультрафиолета разрушает полимерную матрицу [1].

3. Экономическая целесообразность: как отмечается в работах Имомназарова Т. С., Устинова О. В. и их соавторов, а также Окольниковой Г. Э. и Герасимова С. В., повсеместная замена стальной арматуры на композитную экономически нецелесообразна. Применение композитной арматуры оправдано только при необходимости использования её уникальных свойств: химической стойкости, радиопрозрачности и диэлектрических характеристик [5, 9, 12].

4. Недостаточная нормативная база: Овчинников И. И. и соавторы указывают на отсутствие корректных математических моделей деформирования композитного армированного бетона, а существующие расчёты часто используют модели без учёта нелинейности деформирования и различной работы материала на растяжение и сжатие [8]. Поскольку значения прогибов по нормативной документации не сходятся со значениями численного моделирования, необходимо проводить экспериментальные исследования для уточнения методики расчета двухслой-

ных изгибаемых элементов прямоугольного сечения с композитной арматурой.

Развитие нормативной базы и стандартов для применения композитов также будет способствовать их более широкому внедрению в строительные процессы [13, 14].

#### **Комбинированное и специализированное применение**

Комбинированное армирование оптимально: стеклопластиковая арматура в зонах сжатия/растяжения, металлическая – в изгибе, что повышает прочность сцепления и коррозионную стойкость сжатых элементов. В лёгких бетонах и фундаментах (плиты, сваи, ригели) стеклопластик уже применяется практически; эффект «малых диаметров» усиливает жёсткость балок. Базальтопластик подходит для ненапряжённых конструкций благодаря дешёвым связующим, а уменьшение шага поперечной арматуры повышает несущую способность в агрессивных средах. Преимущества, ограничения и рекомендации применения композитной арматуры представлены в виде таблицы 1.

#### **Экономические аспекты**

Птухина И. С. и соавторы выполнили расчёт экономической эффективности замены стальной арматуры на стеклопластиковую при устройстве ленточного фундамента. Результаты показали возможность экономии на стоимости материала от 7 до 10% с одного погонного метра. При этом современные методы производства композитных материалов

позволяют получать качественный и доступный продукт, что способствует расширению сферы применения [10].

#### **Преимущества в фундаментостроении**

В агрессивных грунтах (высокий уровень грунтовых вод, соли) композитная арматура превосходит сталь: доказана эффективность в ленточных фундаментах двухэтажных домов, где стойкость к воздействиям предотвращает коррозию.

Практика подтверждает применение в фундаментах из лёгких бетонов, плитах откосов, ригелях эстакад; предложено уменьшение шага поперечной композитной арматуры для повышения несущей способности сжатых элементов в агрессивных средах.

Экономия достигает 7÷10% при замене в ленточных фундаментах, плюс радиопрозрачность и диэлектрическая непроницаемость для спецобъектов. В таблице 2 представлено сравнение свойств арматур для фундаментов.

#### **Перспективы развития**

Гиздатуллин А. Р. расширил представления о влиянии структуры и поверхностного профиля композитной арматуры на сцепление с бетоном, установив эффект «малых диаметров» – увеличение жёсткости и прочности бетонных балок, что позволяет более эффективно использовать прочностной потенциал композитной арматуры [2].

Таблица 1 – Композитная арматура

| Тип арматуры        | Преимущества в фундаментах                                                           | Ограничения                                                                        | Рекомендации                                                         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Стеклопластиковая   | Коррозионная стойкость, экономия (1,38-3,44 руб/пог.м), хорошее сцепление с профилем | Низкая жёсткость, прогибы в 3-5 раз выше стальной, чувствительность к температурам | Слабонагруженные ленточные/плитные фундаменты, комбинация с металлом |
| Базальтопластиковая | Трещиностойкость, эффект преднапряжения от усадки, низкая цена волокна               | Переменная прочность, требует уточнённых расчётов                                  | Ненапряжённые конструкции, агрессивные среды                         |
| Комбинированная     | Максимальная надёжность, стойкость к щелочам                                         | Сложность проектирования                                                           | Зоны сжатия/растяжения – композит, изгиб – сталь                     |

Таблица 2 – Арматура для фундамента

| Свойство                | Стальная арматура | Композитная арматура   | Преимущество композитной арматуры |
|-------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Прочность на растяжение | 400-600 МПа       | 800-2000 МПа           | Выше в 2-4 раза                   |
| Модуль упругости        | 200 ГПа           | 40-60 ГПа              | Ниже, но легче                    |
| Коррозионная стойкость  | Низкая            | Высокая (щелочи, соли) | Долговечность +50 лет             |
| Вес (удельный)          | 7850 кг/м³        | 1800-2000 кг/м³        | Транспортировка – 75%             |
| Цена (отн. пог. м)      | Базовая           | 0,4-0,7 базовой        | Экономия в серийном производстве  |

В работе Кустиковой Ю. О и Римшина В. И. [6] отмечается, что композитные материалы минимизируют коррозию и другие силовые и средовые воздействия. В то же время они должны быть технологичными в изготовлении и экологически безопасными. Серьезным прорывом в этом направлении за последние годы стало открытие «базальтовой технологии», которая позволила обогатить базу строительных материалов новыми типами арматуры для строительных конструкций.

Феокистов Д. О. выделяет ключевые направления развития композитных материалов в строительстве [13]:

- развитие технологий модульного строительства;
- создание «умных» композитов, адаптирующихся к внешним условиям;
- увеличение доли биокомпозитов для сокращения углеродного следа;
- совершенствование нормативной базы и стандартов.

## Выводы:

1. Композитная арматура целесообразна для применения в фундаментостроении преимущественно в условиях агрессивных сред, где её коррозионная стойкость даёт неоспоримые преимущества перед стальной арматурой. Особенно эффективно её использование в ленточных фундаментах и слабонагруженных свайно-ленточных конструкциях.

2. Для ответственных фундаментных конструкций с высокими нагрузками рекомендуется комбинированное армирование: композитная арматура в зонах сжатия/растяжения и металлическая – в зонах изгиба. Такой подход позволяет использовать преимущества обоих материалов: коррозионную стойкость композита и высокую жёсткость стали.

3. Применение композитной арматуры экономически оправдано не как полная замена стальной, а как целевое решение при необходимости её уникальных свойств (химическая стойкость, диэлектрические характеристики). При этом требуется обязательный учёт «слабых» сторон материала: чувствительности к УФ-излучению и резким температурным перепадам.

4. Критическим ограничением остаётся недостаточная проработанность расчётных методик. Расхождение результатов численного моделирования и нормативных расчётов (прогибы превышают допустимые значения в 3-5 раз) требует проведения дополнительных экспериментальных исследований для уточ-

нения методик расчёта изгибаемых элементов с композитным армированием.

5. Перспективы широкого внедрения композитной арматуры в фундаментостроение напрямую зависят от развития нормативной базы, совершенствования технологий производства (включая использование базальтовых волокон и биокомпозитов) и создания корректных математических моделей поведения композитного армированного бетона под нагрузкой.

Таким образом, композитная арматура представляет собой перспективный материал для фундаментостроения, но её применение требует взвешенного подхода с учётом специфики конструкции, условий эксплуатации и текущего уровня развития нормативно-технической базы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Л. А. Бетон с композитной арматурой в коттеджном строительстве / Л. А. Алексеева, А. В. Игнатович // *Alfabuild*. – 2017. – № 1(1). – С.16-26.
2. Гиздатуллин, А. Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.23.05 / Гиздатуллин Антон Ринатович. – Казань, 2018. – 20 с.
3. Гиль, А. И. Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения / А. И. Гиль, Е. Н. Бадалова, Е. Д. Лазовский // *Вестник полоцкого государственного университета*. – 2015. – Серия F. – С. 48-53.
4. Ильин, Д. А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.23.05 / Ильин Дмитрий Анатольевич. – Москва, 2017. – 22 с.
5. Имомназаров, Т. С. Применение композитной арматуры / Т. С. Имомназаров, А. М. Аль Сабри Сахар, М. Х. Дирие // *Системные технологии*. – 2018. – № 27. – С. 24-29.
6. Кустикова, Ю. О. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях / Ю. О. Кустикова, Ю. О., Римшин В. И. // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2014. – № 6. – С.6-9.
7. Лапшинов, А. Е. Прочность и деформативность бетонных колонн, армированных неметаллической композитной арматурой : автореф. дис...канд. техн. наук : 2.1.1 / Лапшинов Андрей Евгеньевич. – Москва, 2023 – 22 с.
8. Овчинников, И. И. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении / И. И. Овчинников [и др.] // *Интернет-журнал «Науковедение»*. – 2016. –



Т. 8, № 3. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf> (дата обращения 02.02.2026).

9. Окольников, Г. Э. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве / Г. Э. Окольников, С. В. Герасимов // Строительство и архитектура. – 2015. – № 3. – С. 14-21.

10. Птухина, И. С. Эффективность использования инновационных композитных материалов в строительстве / И. С. Птухина [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9(24). – С.85-96.

11. Рогатнев, Ю. Ф. Влияние значения процента армирования композитной арматуры на напряженно-деформированное состояние двухслойных изгибаемых бетонных элементов / Ю. Ф. Рогатнев [и др.]. // Вестник инженерной школы ДВФУ. Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2020. – № 4(45). – С.67-75.

12. Устинов, О. В. Проблемы применения композитной арматуры в строительстве / О. В. Устинов, Р. Д. Сулейманов, В. А. Гурьева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: матер. Всерос. науч.-метод. конф. / Оренбургский государственный университет. – Оренбург, 2017. – С. 1066-1072.

13. Феоктистов, Д. О. Влияние композитных материалов на долговечность и водонепроницае-

мость строительных конструкций / Д. О. Феоктистов // Актуальные исследования. Архитектура, строительство. – 2022. – № 13 (92). – С. 93-99.

14. Чернецкая, М. К. К вопросу композитного армирования элементов конструкций объектов строительства / М. К. Чернецкая, Б. М. Черепанов // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : матер. XV Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), 21-22 ноября 2025 г. – Рубцовск, 2025. – С. 403-415.

15. Шагина, А. И. Особенности применения композитного армирования в фундаментах малоэтажных зданий / А. И. Шагина, А. И. Субботин, М. Н. Шутова // Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 7. – Выпуск 3 (24) – С. 50-54.

**Чернецкая Мария Константиновна** – студент группы 8С(э)-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [march@br.ru](mailto:march@br.ru);

**Черепанов Борис Михайлович** – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [CherepanovBM@altgtu.ru](mailto:CherepanovBM@altgtu.ru).

## О ПРОБЛЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ УСИЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

А. А. Черный, Ю. В. Халтурин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены актуальные проблемы обеспечения качества работ при усилении железобетонных конструкций (ЖБК) системами внешнего армирования (СВА) из полимерных композиционных материалов. Рассматривается исторический контекст внедрения данной технологии в России как ответ на высокую степень износа существующей инфраструктуры. Подробно анализируются основные технологические способы усиления: наклейка углеродных лент и тканей, монтаж готовых углепластиковых ламелей, применение углеродных сеток на минеральном связующем. Для каждого способа выделены ключевые достоинства и присущие им недостатки, непосредственно влияющие на сложность контроля, рассмотрены недостатки в нормативной документации в вопросе контроля качества при монтаже и эксплуатации СВА*

**Ключевые слова:** усиление железобетонных конструкций, внешнее армирование, композитные материалы, углеродное волокно, контроль качества, адгезионное соединение, неразрушающий контроль, подготовка основания, технология усиления, долговечность конструкций.

Развитие технологии усиления железобетонных конструкций (ЖБК) системами внешнего армирования (СВА) из композитных материалов, в первую очередь на основе углеродных волокон, является ярким примером ответа строительной науки на вызовы времени.

В России активное применение данных систем насчитывает около 10-20 лет, что обусловлено объективными причинами. Значительная часть инфраструктуры, включая мосты, эстакады и здания, была построена в прошлом веке и в настоящее время характеризуется высокой степенью износа, достигающей 30-70%. Продолжительная эксплуатация под воздействием агрессивных сред, повышенных нагрузок и естественного старения материалов привела к снижению несущей способности, появлению трещин, коррозии арматуры и другим дефектам [1].

Традиционные методы усиления (установка дополнительных стальных балок, наращивание сечения) зачастую связаны со значительным увеличением собственного веса конструкции, сложностью монтажа, необходимостью остановки эксплуатации объекта и высокими трудозатратами. В этом контексте композитные материалы на основе полимерных матриц, армированных углеродными, стеклянными или базальтовыми волокнами, предложили принципиально иное решение. Они обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, коррозионной стойкостью, лег-

костью и возможностью формирования непосредственно на объекте [2].

Первоначально технология развивалась как метод ремонта и усиления отдельных элементов. Однако по мере накопления опыта, проведения масштабных научных исследований и испытаний, область применения расширилась. Сегодня СВА используются не только для восстановления поврежденных конструкций, но и для упрочнения элементов при изменении функционального назначения зданий, повышения их сейсмостойкости и устранения недостатков. Активное внедрение систем таких брендов, как FibArm, S&P, MasterBrace, SikaWrap, и развитие отечественных аналогов способствовали формированию нормативной базы, включающей СП 164.1325800.2014 [2] и отраслевые руководства. Экономическая эффективность применения композитного усиления оценивается в 15-65% по сравнению с традиционными методами, что делает данную технологию крайне востребованной.

В практике усиления ЖБК композитами утвердились три основных типа усиливающих элементов, технология устройства которых регламентирована стандартами и инструкциями производителей [3, 4].

1. Усиление углеродными лентами и тканями. Данный способ предполагает наклейку на подготовленную поверхность бетона одно- или многослойных армирующих элементов из углеродного волокна, пропи-

танных эпоксидным связующим (адгезивом) (рисунок 1). Ключевыми этапами являются: подготовка поверхности (очистка, выравнивание, придание шероховатости), раскрой материала, приготовление адгезива, нанесение его на основание и на ленту, укладка с прикаткой для удаления пузырьков воздуха и излишков связующего. Способ позволяет эффективно работать с криволинейными поверхностями, создавать армирование сложной конфигурации и обеспечивает высокую адгезию за счет полной пропитки. Согласно требованиям, работы должны проводиться при температуре от +5°C до +45°C, влажности воздуха не более 80% и влажности бетона не выше 4%. Для влажных условий применяются специальные адгезивы [4], например, CarbonWrap® Resin WS+.

2. Усиление углепластиковыми ламелями (ламинатами). Ламели представляют собой готовые плоские элементы из пакета углеродных волокон, уже пропитанных полимером и отвержденных в заводских условиях [2]. Технология их монтажа также основана на адгезионном соединении с бетоном при помощи слоя эпоксидного клея (рисунок 2). Основные отличия от лент – это более высокая жесткость и прочность на единицу ширины, а также невозможность стыковки по длине в процессе монтажа. Многослойные пакеты ламелей изготавливаются заранее. Этот метод предпочтителен для усиления элементов, работающих преимущественно на изгиб (балки, плиты), где требуется создать значительное дополнительное армирование с минимальной толщиной слоя [2, 4]. Данный метод впервые был использован в России в сентябре 2018 года при капитальном ремонте средней общеобразовательной школы в п. Балезино-3 (Удмуртская Республика, Балезинский район, п. Балезино-3). В данном случае применялись углепластиковые ламели CarbonWrap Lamel T-50/110 производства ООО «НЦК» на основе полиуретановой пультрузии [5].

3. Усиление углеродными сетками на минеральном связующем (рисунок 3). В этом случае в качестве матрицы используется не полимер, а цементный или полимерцементный состав [4]. Углеродная сетка утапливается в нанесенный на бетон слой ремонтного состава, после чего покрывается укрывочным слоем. Этот способ лучше совместим с минеральными основаниями, обладает повышенной паропроницаемостью и огнестойкостью по сравнению с эпоксидными системами. Он часто применяется для усиления и ремонта фасадов, а также в условиях, где использо-

вание полимеров ограничено. Процесс требует тщательного, но умеренного увлажнения основания и ухода за свежеложенным составом [4].

Не углубляясь в тонкости технологии и работы с материалами, принцип установки очень похож на монтаж обоев из армированного раствора: наносится клеевая смесь



Рисунок 1 – Усиление колонн и плит перекрытия лентами из углеродного волокна



Рисунок 2 – Усиление железобетонных балок чердачного перекрытия средней общеобразовательной школы в п. Балезино-3 углепластиковыми ламелями



Рисунок 3 – Углеродная сетка Resmix CG-600 и минеральный клей Resmix 710

(минеральный адгезив), устанавливается углеродная сетка, после чего закрывается слоем минерального адгезива [6].

Для всех способов в зонах с высокой концентрацией напряжений или для обеспечения совместной работы СВА с конструкцией предусматривается устройство дополнительной анкеровки. Наиболее распространены анкера из углеродных жгутов, устанавливаемые в предварительно высверленные и заполненные адгезивом отверстия, с последующим распусканием конца жгута («вее-ром») и приклейкой его к основанию и элементу усиления.

#### **Достоинства, недостатки и ключевые проблемы контроля качества**

Достоинства композитного усиления очевидны и являются причиной его популярности [2, 3]:

- Высокая удельная прочность и жесткость при малом весе, что минимизирует дополнительную нагрузку на конструкцию.
- Коррозионная стойкость, устраняющая проблему ржавления, присущую стальной арматуре.
- Технологичность и скорость монтажа, позволяющие часто обходиться без остановки эксплуатации объекта.
- Универсальность — возможность усиления элементов сложной геометрии.

Однако эти достоинства могут быть полностью нивелированы при низком качестве производства работ. Основные недостатки и риски напрямую связаны с человеческим фактором и сложностью контроля [1, 4]:

- Высокая чувствительность к качеству подготовки основания. Наличие пыли, влажности выше нормы (4%), непрочного бетона, жировых или цементных пленок катастрофически снижает адгезию [4].
- Критическая важность соблюдения рецептуры и технологии работы со связующим. Несоблюдение пропорций смешивания компонентов, использование материала с истекшим сроком жизнеспособности, нарушение температурного режима приводят к неполному отверждению и низкой прочности клеевого шва.
- Сложность визуальной оценки качества. Готовый усиленный элемент скрывает под собой все процессы: качество пропитки, отсутствие воздушных пузырей (расслоений), равномерность толщины клеевого слоя [4].
- Отсутствие эффективных стандартизированных методов неразрушающего контроля (НК) на всех этапах [1].

В отличие от сварных или бетонных ра-

бот, для СВА нет простых и однозначных способов оперативного определения прочности сцепления с бетоном или внутренних дефектов в адгезионном слое.

Именно эти недостатки формируют основные проблемы контроля качества:

Проблема входного контроля и идентификации материалов. На рынке присутствует множество производителей композитов и адгезивов с разными свойствами. Контроль сводится к проверке сертификатов и визуальному осмотру упаковки, что не гарантирует соответствия материалов заявленным характеристикам в каждой партии.

Проблема контроля подготовительных операций. Оценка влажности бетона, степени его шероховатости, прочности поверхностного слоя часто носит субъективный характер. Не существует быстрых и точных полевых методов для комплексной оценки готовности основания.

Проблема контроля процесса монтажа. Основные параметры — качество пропитки, равномерность нанесения адгезива, усилие прикатки, отсутствие пустот — контролируются визуально и органолептически мастером. Это требует высокой квалификации и добросовестности исполнителя. Даже незначительные отклонения (например, локальный перегрев при шлифовке) могут создать скрытый дефект.

Проблема приемочного контроля и мониторинга. После отверждения адгезива единственным прямым методом оценки качества сцепления является испытание на отрыв, которое является локально-разрушающим. Оно повреждает и сам композит, и конструкцию, требует последующего ремонта и потому применяется выборочно. Существующие неразрушающие методы, рассмотренные в научной литературе (ультразвуковая дефектоскопия, импульсно-эховый метод, вибродиагностика, акустическая эмиссия), имеют значительные ограничения в полевых условиях. Их применение требует дорогостоящего оборудования, высокой квалификации оператора, интерпретация результатов сложна и не всегда однозначна.

Например, ультразвуковой метод эффективен для выявления грубых расслоений, но может быть малоинформативен для оценки качества адгезии. Импульсно-эховый метод ограничен глубиной проникновения. Акустическая эмиссия пригодна скорее для мониторинга под нагрузкой, чем для разовой приемки.

Проблема нормативного и кадрового обеспечения. Несмотря на наличие СП и ру-



ководств, нормативная база отстает от скорости появления новых материалов и технологий. Отсутствуют четкие, алгоритмизированные методики контроля для каждого типа СВА и условий работы. Также ощущается дефицит квалифицированных специалистов как в области монтажа, так и в области независимого контроля, что приводит к формальному подходу к составлению актов освидетельствования скрытых работ.

Первопричиной данных проблем можно считать неполноту проработки требований в существующей нормативной документации.

Как пример, в п. 9.2 [4] сказано, что перед началом работы необходимо проверить соответствие существующих дефектов с проектной документацией, и в случае выявления дополнительных провести экспертизу и получить рекомендации по действиям. Но что необходимо предпринять в случае развития существующих дефектов, если дополнительные не выявлены?

В п. 9.5.4 указано, что при контроле ровности основания наличие шероховатости проверяется визуально, тогда как п. 8.2.4 того же документа указывает значение шероховатости до 0,3 мм. Как визуально можно определить шероховатость поверхности с точностью до десятых миллиметра?

В п. 9.5.5 пп. а, 4, необходимо проверить чистоту поверхности верстака для раскрытия композитных листов, состояние же поверхности (ровность, отсутствие сколов и перепадов) видимо проверять не требуется. В пп. в, 1, контроль количества адгезива, нанесенного на загрунтованную поверхность проверяется органолептически. Каким конкретно органом необходимо проверять количество адгезива? Если визуально, то формулировка странная, т.к. множество параметров по этому же документу контролируются визуально. Если не только визуально, то отсутствуют уточнения, как например в пп. в, 2, для степени высыхания адгезива указано: «Липнет/не липнет».

Вышеуказанные примеры демонстрируют, что нормативная база до сих пор развивается, и на нынешнем своем этапе развития имеет недочеты.

Многие моменты контроля не указаны, что-то проверяется визуально, когда существуют инструменты для проверки, способы неразрушающего контроля в приведенном СТО не указаны вообще, соответственно и требования к ним при усилении ЖБК композитными материалами не выдвигаются.

Несмотря на то, что указанный выше стандарт рекомендуется для использования

проектными и подрядными организациями при разработке документации на ремонт, усиление, восстановление и реконструкцию железобетонных и бетонных конструкций различного назначения системами внешнего армирования из полимерных композитов CarbonWrap®, подобные ошибки могут быть допущены и в других документах относительно других систем.

Технология усиления железобетонных конструкций композитными материалами доказала свою высокую технико-экономическую эффективность и стала неотъемлемой частью современной строительной практики восстановления и модернизации инфраструктуры. Однако ее потенциал в полной мере может быть реализован только при обеспечении гарантированного качества производимых работ [1, 4].

Основные проблемы контроля носят системный характер и лежат в плоскости взаимодействия нескольких факторов: недостаточной технологичности самих процессов, зависящих от множества ручных операций; отсутствия надежных, доступных и стандартизированных методов неразрушающего контроля на ключевых этапах; дефицита нормативной определенности и высококвалифицированных кадров.

Для преодоления этих проблем необходима консолидированная работа научного сообщества, производителей материалов, проектировщиков и строителей.

Приоритетными направлениями должны стать:

- Разработка и внедрение новых, более технологичных материалов (например, предпропитанных и самоклеящихся систем), менее чувствительных к условиям монтажа [2].
- Активная научно-исследовательская работа по адаптации и созданию практических методов неразрушающего контроля, включая тепловизионный, импедансный анализ, разработку «умных» материалов с датчиками [1].
- Совершенствование нормативной базы [3], создание подробных технологических карт и стандартов контроля для различных типов конструкций и условий [4].
- Усиление системы подготовки и аттестации специалистов, внедрение обязательного обучения и сертификации бригад, занимающихся монтажом СВА [4].

#### **Заключение**

Только комплексный подход, сочетающий технологическое совершенствование, развитие средств объективного контроля и повышение профессионального уровня ис-

## О ПРОБЛЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТ ПРИ УСИЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

полнителей, позволит минимизировать риски, связанные с применением композитного усиления, и обеспечить долговременную безопасность и надежность восстановленных конструкций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова, Ю. А. Методы контроля качества усиления железобетонных конструкций системами внешнего армирования из композитных материалов / Ю. А. Морозова, Г. Э. Окольников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2024. – Т. 24, № 3. – С. 15-23.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композиционными материалами. – М. : НИИЖБ, 2006. – 48 с.
3. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Правила проектирования / Минстрой России. – Москва : ФЦС, 2014. – 51 с.
4. СТО 38276489.001-2017. Усиление железобетонных и каменных конструкций композиционными материалами внешнего армирования (на примере системы CarbonWrap®). Технологические требования и руководство по применению / ООО «НЦК», 2017 – 125 с.

5. Впервые в мире для усиления железобетонных конструкций применены углепластиковые ламели на основе полиуретановой пултрузии [Электронный ресурс] // Нанотехнологический центр композитов. – URL: <https://www.nccrussia.com/ru/news/358-vpervye-v-mire-dlya-usileniya-zhelezobetonnykh-konstruktsij-primeneny-ugleplastikovye-lameli-na-osnove-poliuretanovoj-pultruzii.html> (дата обращения: 10.02.2026).

6. Усиление железобетонных конструкций углеродной сеткой [Электронный ресурс] // Resmix. – URL: <https://resmix.ru/solutions/usilenie-konstrukcij-i-gruntov/betonnye-i-zhelezobetonnye-konstrukcii/kompozitnoe-usilenie-betona-uglerodnoj-setkoj/> (дата обращения: 10.02.2026).

**Черный Андрей Александрович** – студент группы 8Спгс-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [akinkev@mail.ru](mailto:akinkev@mail.ru);

**Халтурин Юрий Васильевич** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [khalt.yuriy@mail.ru](mailto:khalt.yuriy@mail.ru).

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОМОВ ИЗ ДВОЙНОГО БРУСА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

А. А. Шалаева, Ю. В. Халтурин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

*В статье рассматриваются конструктивные решения стен зданий из двойного бруса, применяемые зарубежом. Были выявлены факторы, обуславливающие эксплуатационную надежность конструкций из двойного бруса, даны предварительные рекомендации по их адаптации к условиям Алтайского края. Выявлено, что данная технология обладает потенциалом по критериям энергоэффективности и скорости возведения. При несоблюдении требований расчета устойчивости, контролю влажности древесины и качеству монтажа возможно развитие неравномерных деформаций слоев стен и других эксплуатационных дефектов.*

**Ключевые слова:** двойной брус, малоэтажное строительство, энергоэффективность, устойчивость конструкций, усадка, эковата, теплопроводность, нормативное регулирование, эксплуатационная надежность, климатические воздействия.

Актуальность темы обусловлена тем, что в условиях сибирского климата особое значение приобретают технологии, обеспечивающие долговечность и достаточно высокую энергоэффективность жилых зданий. Строительство домов из двойного бруса – это перспективное направление строительства зданий из древесины, однако её применение в России пока сталкивается с трудностями, обусловленными климатическими и производственными особенностями региона.

Анализ опыта строительства зданий в ФРГ по вышеуказанной технологии позволяет выявить пути адаптации метода для сибирских условий.

Цель исследования: сравнить особенности использования технологии домов из двойного бруса в Германии и в Алтайском крае, определить причины различий в эффективности, предложить рекомендации по её улучшению для применения в сибирских условиях.

При исследовании были изучены как отечественные так и зарубежные нормативные документы, включая СП 515.1325800.2022 [1], СП 64.13330.2017 [2], ГОСТ 27751-2014 [3], ГОСТ 7076-99 [4], а также европейские стандарты DIN EN 1995-1-1 [5], DIN EN 335 [6] и документация Konstruktionskatalog Holzbau-Praxis [7].

По требованиям п. 4.9 СП 515.1325800.2022 [1] конструктивная система и компоновка зданий с применением деревянных конструкций должны обеспечить надежность на протяжении расчетного срока эксплуатации согласно СП 64.13330.2017 [2] и

ГОСТ 27751-2014 [3]. Нормативный документ говорит о недопустимости сокрытия информации об особенностях выполнения работ, возможных эксплуатационных рисках и дополнительных расходах, что особенно актуально при внедрении современных технологий малоэтажного строительства.

Стена из двойного бруса (рисунок 1) конструктивно является системой из двух шпунтованных элементов толщиной 44-70 мм с межстенным пространством между ними, заполняемым теплоизоляционным материалом. Наиболее распространенным утеплителем является эковата, выпускаемая по (ТУ 5768-001-0089624084-2014), состоящая преимущественно из целлюлозы с добавками антипиренов и антисептических компонентов. Коэффициент теплопроводности материала находится в диапазоне 0,04-0,05 Вт/(м·°С), что сопоставимо с показателями минеральной ваты. Определение теплотехнических характеристик данного материала производится по ГОСТ 7076-99 [4].

Расчет несущей способности стен осуществляется в соответствии с требованиями СП 64.13330.2017 [2]. При этом трехслойная система рассматривается как совокупность деревянных пластин, соединенных только в узлах крепления; а утеплитель – не увеличивает изгибную жесткость стены. Анализ показывает, что в работе стен определяющей является их устойчивость стен при восприятии вертикальных нагрузок от перекрытий и крыши, а также снеговых и ветровых воздействий.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОМОВ ИЗ ДВОЙНОГО БРУСА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

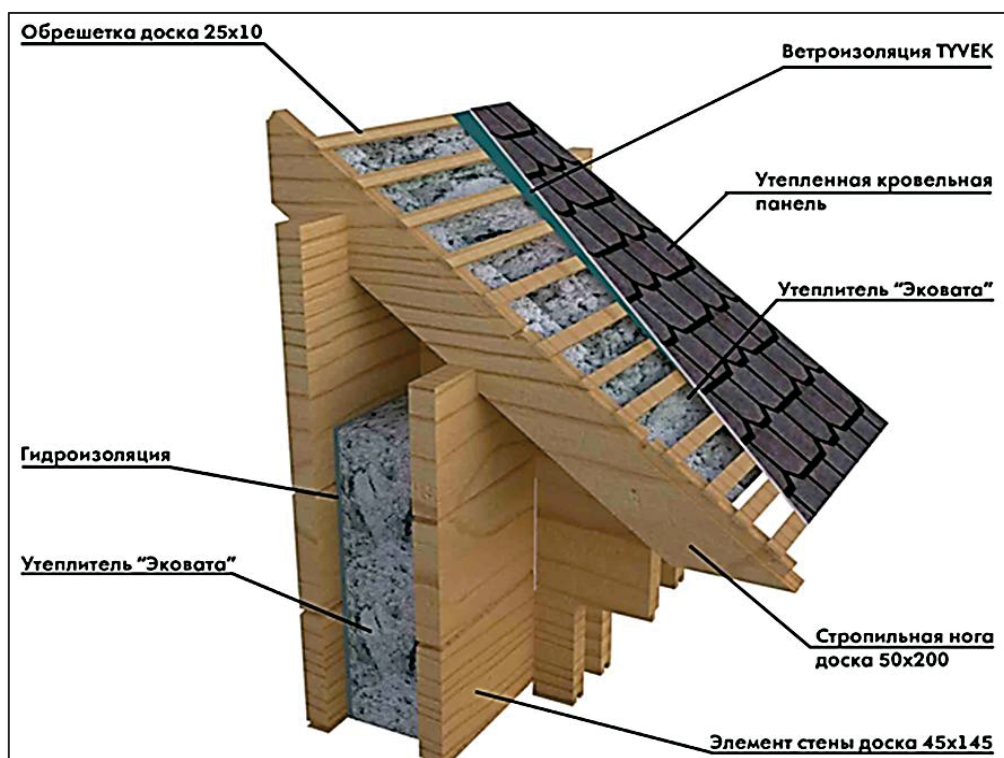


Рисунок 1 – Стена из двойного бруса (трехслойная система)



Рисунок 2 – Зазор в горизонтальном шве внутреннего слоя досок



Рисунок 3 – Усадка утеплителя (эковаты) на величину до 10 см, видимая после снятия подоконной доски

В случае неправильного учета данных факторов возможны:

- неравномерные деформации внутреннего и внешнего слоёв;
- перекосы брусьев (досок) данных слоёв, зазоры в горизонтальных швах брусьев (досок);
- нарушение геометрии проемов и повреждение отделочных элементов.

Анализ опыта эксплуатации домов со стенами из двойного бруса, представленного на строительных порталах и в профессиональных публикациях, позволил выявить наиболее часто возникающие проблемы:

- различная усадка слоев брусьев (досок). Внутренний слой оказывается в условиях более низкой влажности воздуха и его усадка больше, чем у наружного. В результате возникают зазоры между досками (рисунок 2);
- значительные деформации замковых соединений;
- повреждения отделочных элементов вследствие усадки внутреннего и наружного слоев и перекосов;
- значительная усадка утеплителя (рисунок 3) и как следствие – появления пустот под горизонтальными элементами стен – подоконными досками, обвязками и пр.



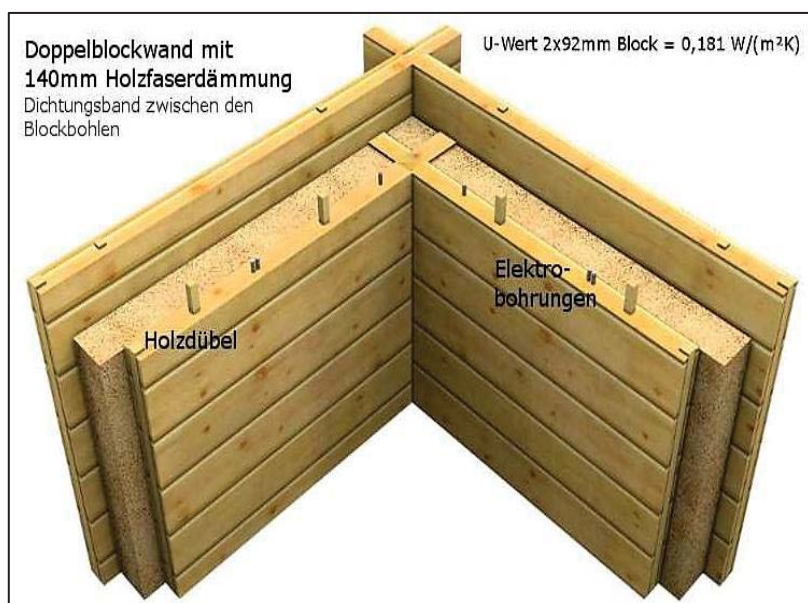


Рисунок 4 – Вариант конструкции стены Doppel-Blockwand – Thermoblockwand

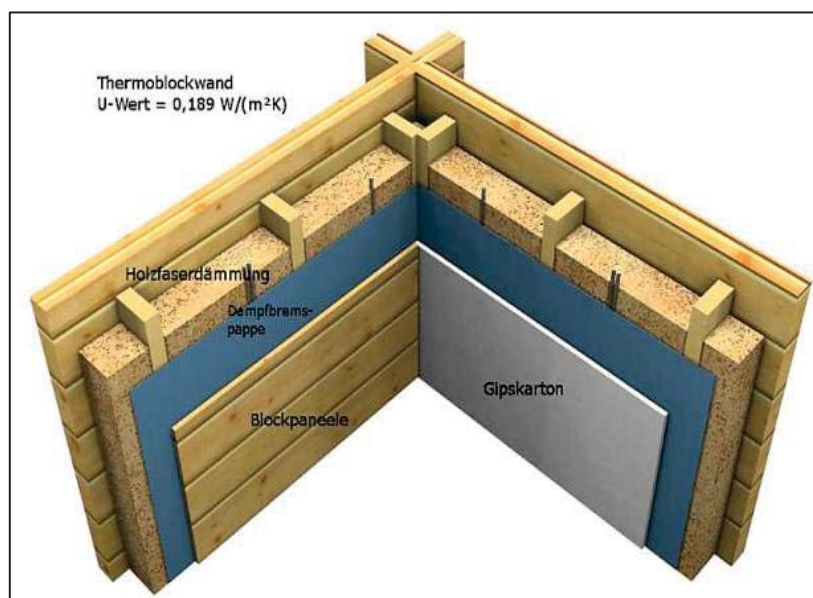


Рисунок 5 – Вариант конструкции Doppel-Blockwand Blockbohlenwand mit Vorsatzschale

Основными причинами возникновения дефектов являются:

- существенные отличия во влажности воздуха в зоне расположения внутреннего и наружного слоев и как следствие разная влажность древесины этих слоев, их разная высота и появление зазоров во внутреннем слое;
- разные сезонные изменения влажностного режима для разных слоев;
- усадка слоя теплоизоляции вследствие нарушений при его устройстве, в частности при непроектной плотности задувки (рисунок 3).

В Германии технология двойного бруса получила развитие в виде различных конструктивных вариантов системы Doppel-Blockwand. Один из них представлен на рисунке 4.

Наиболее распространённым является вариант Thermoblockwand, представляющий собой стену из двух слоёв массивной древесины с теплоизоляционным заполнением (рисунок 5), отвечающую требованиям Eurocode 5 (DIN EN 1995-1-1) [5].

Конструктивные решения, обеспечивающие долговечность древесины в различ-

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОМОВ ИЗ ДВОЙНОГО БРУСА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

ных условиях эксплуатации, регламентируются стандартом DIN EN 335 [6].

Также используется вариант Blockbohlenwand mit Vorsatzschale – конструкция с дополнительным защитным слоем, устанавливаемым снаружи и повышающим влагостойкость и звукоизоляцию. Система Innengedämmte Blockwand используется в основном при реконструкции зданий. Конструктивные особенности различных вышеуказанных вариантов стен представлены в специализированных изданиях по деревянному домостроению [7].

Вышеприведенные системы позволяют изменять конструкции стен в зависимости от климатических условий и архитектурных требований.

По результатам исследования можно констатировать, что строительство домов со стенами из двойного бруса в Алтайском крае возможно и целесообразно.

Следует отметить, что необходим тщательный анализ особенностей местного климата и внесение корректив в конструктивные решения и технологии производства работ. При этом без жесткого контроля на каждом этапе строительства таких домов данная технология применяться не должна.

Несмотря на то, что отечественные компании пытаются активно внедрять данную технологию, акцентируя внимание на энергоэффективности, экологичности и цене (более низкой чем при строительстве из клееного бруса или оцилиндрованных бревен), фактическая эксплуатация домов в климатических условиях Сибири выявила ряд существенных недостатков, связанных с неравномерными деформациями слоев стены, усадкой утеплителя и необходимостью дополнительной защиты от влаги и перепадов температур.

Зарубежный опыт показал, что, в частности, в Германии данная технология успешно применяется благодаря строгому соблюдению стандартов производства, контролю влажности древесины и точности сборки.

### **Заключение**

Строительство домов со стенами из двойного бруса как в Алтайском крае, так и в целом в России и возможно, и целесообраз-

но. Для повышения качества строительства и долговечности домов из двойного бруса целесообразно и необходимо:

- воспользоваться лучшими европейскими практиками строительства таких домов;
- внедрять строгие нормы технологического контроля при изготовлении домокомплектов;
- вести жесткий контроль на каждом этапе строительства таких домов;
- соблюдать технологические режимы эксплуатации таких домов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. СП 515.1325800.2022. Здания из клееного деревянного бруса. Правила проектирования и строительства. – Введ. 09.05.2022. – М. : Минстрой России, 2022. – 54 с.
2. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М. : Минстрой России, 2017. – 98 с.
3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2015. – 16 с.
4. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М. : Госстрой России, 2000. – 24 с.
5. DIN EN 1995-1-1:2010-12. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. – Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 2010. – 99 p.
6. DIN EN 335:2013-05. Durability of wood and wood-based products. Use classes. – Berlin: DIN, 2013. – 14 p.
7. KONSTRUKTIONSKATALOG HOLZBAU-PRAXIS. Konstruktionsdetails, Doppelblockwand, Wärmeschutz, Feuchteschutz. – München: Fachverlag Holzbau, 2019. – 145 p.

**Халтурин Юрий Васильевич** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [khalt.yuriy@mail.ru](mailto:khalt.yuriy@mail.ru);

**Шалаева Арина Андреевна** – студент группы СУЗ-41 ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова, E-mail: [shalaeva.arisha@gmail.com](mailto:shalaeva.arisha@gmail.com).

CONTENTS, ABSTRACTS AND KEYWORDS OF PAPERS

**ANALYSIS OF THE BINDING PROPERTIES OF ASH-AND-SLAG MATERIALS BY THE METHOD OF DETERMINING THE CONTENT OF FREE CALCIUM OXIDE**

**O. V. Agafonov, D. D. Meshcheryakov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article addresses the issues of determining the binding properties of ash-and-slag materials for strengthening road bases with binders. In this regard, an experimental study of the content of free calcium oxide was carried out. The article describes the methodology for determining the content of free calcium oxide. Based on the results of the conducted research, conclusions were drawn both about the amount of free calcium oxide content depending on the type of added fly ash and about the influence of grinding the ash-and-slag material and other test stages on the accuracy of determining its binding properties.*

**Keywords:** ash and slag materials, binding properties, free calcium oxide, cement, concrete, energy waste, construction materials, and chemical analysis.

**JUSTIFICATION OF THE OBJECTIVES AND METHODOLOGY OF GEOTECHNICAL MONITORING DURING CONSTRUCTION OF A MULTIFUNCTIONAL HIGH-RISE COMPLEX IN BARNaul**

**B. F. Azarov, K. D. Zasipkin**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The paper considers structural and space-planning solutions of a multifunctional high-rise complex designed in the central part of Barnaul and substantiates the necessity of geotechnical monitoring during its construction. The complex includes 27-storey residential buildings, administrative and public facilities, underground and above-ground parking structures. The project is implemented under conditions of dense urban development and heterogeneous soil base. The foundations are designed as raft and pile-raft systems due to weak and water-saturated soils in the upper geological layers and significant design loads. Deep excavation and construction of underground structures may cause stress redistribution in the soil mass and additional settlements. The objectives and tasks of geotechnical monitoring are formulated in accordance with current Russian regulatory documents. A methodology for monitoring organization is proposed, including control of settlements, differential deformations, horizontal displacements of excavation retaining structures, and adjacent buildings. It is shown that comprehensive geotechnical monitoring is an essential element of construction safety management and ensures reliability and durability of high-rise structures.*

**Keywords:** geotechnical monitoring, high-rise construction, pile-raft foundation, settlement control, excavation retaining structures, stress-strain state of soil, urban development conditions.

**APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES FOR INSTALLATION OF VENTILATION SYSTEMS OF THE CITY OF BARNaul**

**M. D. Alekseev, T. E. Lyutova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses the features of information modeling during the installation of ventilation systems using BIM technologies in the Autodesk Revit software complex and an analysis of the possibilities from the introduction of BIM technologies during the installation of ventilation systems during the construction of buildings and structures in Barnaul.*

**Keywords:** installation of a ventilation system, information modeling, efficiency of BIM technologies, Autodesk Revit software package, features.

**RESEARCH OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR MODERNIZATION OF WATER WELLS**

**A. K. Andreev, I. A. Bakhtin**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses modern technologies and materials for the modernization of water wells in order to increase their tightness, durability and repairability. Special attention is paid to trenchless repair methods and the use of polymer composites.*

**Keywords:** water well, modernization, trenchless technologies, polymer materials, sealing.

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF 3D PRINTING TECHNOLOGY ON MODERN BUILDING CONSTRUCTION METHODS**

**O. S. Annenkova, D. I. Kushnereva, E. A. Biss**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article examines the technologies of 3D printing used in modern construction. The study explores the main methods of 3D printing, their properties, and features of application in construction. The materials and additives necessary for high-quality 3D printing are considered, as well as methods for theoretical calculations of key parameters. The article provides an understanding of how 3D printing influences the architectural excellence of modern buildings.*

**Keywords:** 3D-printing, monolithic 3D-printing, modular (assembled) 3D-printing, 3D-printer, sintering method, laser stereolithography, layer extrusion method.

**CONCRETE SLABS LAYING METHODOLOGY «CONCRETE CANVAS»**

**O. S. Annenkova, M. N. Ponomarenko**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article takes a detailed look at Concrete Canvas, an innovative material with unique properties. Its key advantages and limitations will be discussed, along with examples of its use in various construction and renovation applications. Installation considerations will also be discussed.*

**Keywords:** Concrete membrane, geosynthetic cementitious composite mat, installation methods, innovative material, quick installation, flexibility and light weight, waterproofing and protection, utility system repair, roll, membrane.

**USING THE REVIT SPECIFICATION WHEN DESIGNING WATER SUPPLY SYSTEMS**

**N. O. Arzamazov, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article considers the application of Autodesk Revit schedules in the design of internal water supply systems, aimed at the automated selection of pipelines, fittings, and water meters based on building information model data.*

**Keywords:** internal water supply, BIM, Autodesk Revit, schedules, pipelines, fittings, water meters.

**PRODUCTION OF LIGHT-COLORED NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BASED ON PORTLAND CEMENT**

**A. V. Viktorov, K. P. Chernykh**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The present study aimed to level out the competitive advantages of autoclaved aerated concrete relative to non-autoclaved concrete, such as color and strength indicators. These requirements are dictated by the aerated concrete market, due to the fact revealed during marketing research that white and light-colored aerated concrete is in higher demand and sells better. The main properties of raw materials were preliminarily studied – Portland cement from various manufacturers and several types of sand for construction work. Portland cement was tested in accordance with the requirements of GOST 30744-2001 (using a method with polyfractional sand), and the efficiency group for steaming was determined. The sands were tested in accordance with the GOST 8735-88 methodology, and the following parameters were determined: grain size distribution, fineness modulus. Non-autoclaved aerated concrete (AAC) compositions were selected for thermal insulation and structural use, comparable in lightness and strength to autoclaved aerated concrete. The results of the study are presented in the table.*

**Keywords:** aerated concrete, autoclaved aerated concrete, non-autoclaved aerated concrete, aluminum powder, sodium hydroxide, Portland cement, sand, washed sand, chalk, mineral powder, color indicators, strength indicators, plasticizers, hardening accelerators.

**SCREW PILES: CURRENT STATE OF RESEARCH, PRACTICE OF APPLICATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

**V. M. Galchin, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article provides a systematic review of the current state of research and practice in the use of screw piles. It highlights the environmental and economic benefits of the technology, as well as the trends in digitalization, such as BIM design, automated installation, and smart foundations. The article also identifies challenges in the Russian regulatory framework.*

**Keywords:** screw piles, overview, installation technologies, application practices, and development prospects.

**ANALYSIS OF MATERIALS FOR WALL CONSTRUCTION CONSIDERING BUILDING THERMAL PHYSICS**

**Yu. V. Gilmiyarova, D. D. Shuba**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article presents a comprehensive analysis of modern wall materials from the perspective of building thermal physics. Key thermophysical characteristics of materials are considered: thermal conductivity, heat capacity, vapor permeability, and their dependence on the operational moisture conditions. A comparative analysis of traditional materials (brick, aerated concrete, wood) is carried out. Particular attention is paid to the influence of humidity on the thermal conductivity of materials and the problem of thermal bridges in enclosing structures. The results of the study can be used in the design of energy-efficient buildings and the selection of optimal wall materials for specific climatic conditions.*

**Keywords:** building thermal physics, wall materials, thermal conductivity, moisture conditions, thermal inertia, thermal bridges, energy efficiency.



**METHODOLOGY FOR HYDRAULIC CALCULATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS USING TOOLS AND ADD-ONS FOR REVIT**

**D. S. Dragalin, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*Approaches to the hydraulic calculation of gas distribution networks in the Autodesk Revit environment are considered. The capabilities of built-in tools and specialized plugins for calculation automation, compliance with regulatory requirements and integration of results into the information model are analyzed.*

**Keywords:** gas supply system, hydraulic calculation, BIM, Autodesk Revit, plugins, regulatory requirements, pressure loss.

**CAUSES OF FOUNDATION ROLLS AND METHODS OF THEIR ELIMINATION**

**Yu. V. Eliseeva, E. I. Vyatkina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article is devoted to the analysis of the causes of foundation rolls, a review of methods for eliminating foundation rolls and the selection, based on the information received, of the most effective methods for leveling the position of foundations.*

**Keywords:** roll, base stiffness, deformation, base soaking, base drying, foundation extrusion, jacks and screw mechanisms, injection, silicification, geopolymer.

**THE ROLE AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF A UNIFIED 7D DIGITAL INFORMATION MODEL (DIGITAL TWIN) IN THE MANAGEMENT OF THE LIFE CYCLE OF AN INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECT**

**R. R. Kalimullin, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*At present, software solutions for information modeling management systems are not integrated with the life cycle (LC) management of buildings and structures, despite the well-known Presidential Directive of the Russian Federation No. PR-1235, issued directly to the Government of the Russian Federation, which calls for the creation of conditions enabling the transition of the construction industry to BIM technologies (information modeling). This document has been actively discussed in various publications. However, the primary focus of these discussions has been placed on information modeling technologies themselves (which represent a priority objective for CAD application vendors), rather than on their semantic content, namely the transition to life cycle management through the use of BIM technologies. Participants generally interpreted the core message of the directive as the modernization of the construction industry and the improvement of construction quality through BIM implementation; however, these aspects represent only tools and performance criteria of life cycle management systems in the construction sector. The life cycle management paradigm itself was relegated to a secondary role, as its implementation requires a fundamentally different mental and methodological approach to the digital transformation of the industry. In this study, the author proposes a concept of a digital information model (IM) for the life cycle of an investment and construction project (ICP), with the prospect of evolving toward a dynamic virtual replica of the physical ICP facility, that is, a digital twin of the ICP asset, or a 7D model.*

**Keywords:** Investment and Construction Project (ICP), Digital Information Model (DIM), Life Cycle (LC), Digital Twin, Internet of Things (IoT), Product Lifecycle Management (PLM).

**FEASIBILITY STUDY FOR THE CONSTRUCTION OF A FIRE STATION IN THE CITY OF BARNAUL.**

**A. S. Kamenetsky, L. V. Kulikova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines the feasibility study for the construction of a fire station in Barnaul, conducts marketing research on the topic, presents design alternatives for the facility using prefabricated modular structures and a standard fire station design, and calculates a rough estimate of the construction cost.*

**Keywords:** fire station, location analysis, rough estimate of construction cost, design alternatives, standard design, prefabricated structures.

**ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

**I. V. Karelina, A. V. Galle**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The development of science offers new opportunities that could previously be read about in books with a fantasy genre. An example of such innovations in construction and architecture are additive technologies that allow you to create three-dimensional objects layer by layer using special equipment – a 3D printer. Most often, plastic, metal, or concrete are used for such printing. The uniqueness of this technology allows you to build houses with different architectural forms or produce individual parts that will later become the building element of the facility. The article discusses the use of additive technologies in construction and architecture. The scope of application of 3D printers in construction is given, and an explanation is given about the production process of industrial printing equipment. Some examples of implemented projects in this field of construction, both in Russia and abroad, are given. The advantages and disadvantages of 3D printing in construction are considered. It is ex-*

plained that additive technologies have great potential for the future development of the construction industry and the creation of a more sustainable and safe environment.

**Keywords:** construction, additive technologies, 3D printing, 3D printer.

## ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES FOR DEEP EXCAVATION IN DENSE URBAN DEVELOPMENT CONDITIONS

**D. E. Kirzhaev, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The intensification of underground space utilization in large cities of Russia and the world necessitates the construction of deep excavations under extremely constrained urban conditions. This work is aimed at analyzing modern excavation support technologies used in proximity to existing buildings and infrastructure. The research objective is to identify the advantages, limitations, and rational application areas of various technologies based on a comparative analysis of key criteria: geotechnical safety, minimization of environmental impact, technological feasibility, and economic efficiency. The article systematizes technologies («diaphragm wall», secant pile walls, sheet pile walls with various installation methods, «berlin» wall, combined methods), forms a hierarchy of selection factors, and highlights modern trends such as mandatory geotechnical monitoring and technology combinations.

**Keywords:** deep excavation, dense urban development, excavation support, diaphragm wall, secant pile walls, geotechnical monitoring, deformations, sheet pile wall, observational method.

## SELECTION OF EQUIPMENT AND FILLING IN THE CHARACTERISTICS OF HEATING AND VENTILATION SYSTEMS

**E. M. Kiselev, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The types of fans used in heating and ventilation systems, their main characteristics, and the scope of their application are considered. The main steps for entering the necessary data into the table of characteristics of heating and ventilation systems for selecting equipment for building ventilation systems are described.

**Keywords:** characteristics of heating and ventilation systems, ventilation systems, equipment, characteristics, equipment selection.

## REVIEW AND ANALYSIS OF APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF USING PRE- STRESSED SLABS IN CAST- IN- PLACE CONSTRUCTION

**I. V. Kovtun, E. R. Kirkolup**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article identifies and classifies the technical and economic advantages of pre-stressing technology based on an analysis of approaches to assessing the economic efficiency of using pre-stressed slabs in cast-in-place construction. The factors hindering its widespread adoption are analysed from an economic perspective. The paper provides a review and comparative analysis of existing methods and models for evaluating the economic benefits of slab pre-stressing.

**Keywords:** pre-stressed slab, cast-in-place construction, economic efficiency, technical and economic justification, construction project life cycle.

## FEATURES OF PHASE COMPOSITION OF HIGH-ALUMINIUM-CONTENT CEMENTS OBTAINED FROM ALUMINIUM-THERMAL SLAGS

**V. K. Kozlova, A. V. Wolf**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article studies the phase composition of high-alumina clinkers from aluminum-thermal chromium production. To obtain high-alumina cements when they are made on the basis of clinkers of aluminothermic production, it is necessary that the composition of the clinker contained up to 20-25% of monocalcium aluminate, the rest part can be represented by monocalcium di-aluminate  $CA_2$  and monocalcium hexa-aluminate  $CA_6$ . With a total content of highly active calcium aluminates from 20 to 35%, the resulting mixed cements are characterized by an accelerated beginning of setting. The setting time that meets the standard requirements is ensured by the introduction of a minimum amount of retardant additives. It is necessary to search for effective additives that can regulate the onset of setting without reducing the final strength of the cement stone.

**Keywords:** high-alumina cement, clinker, setting time, calcium aluminates.

## ENERGY-EFFICIENT RECONSTRUCTION: TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE MODERNIZATION OF FENCING STRUCTURES AND ENGINEERING SYSTEMS

**E. S. Kolesnikova, E. V. Verbitskaya, I. O. Verbitsky**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article discusses the main directions of energy-efficient reconstruction of existing buildings, with a focus on the modernization of fencing structures and engineering systems. The article analyzes the causes of increased heat loss in old buildings and discusses modern technical solutions for improving thermal protection, tightness, and energy efficiency of engineering equipment. Special attention is paid to the issues of a comprehensive ap-

proach to reconstruction, calculation methods for assessing energy efficiency, and the interrelation between design and engineering solutions. The article also highlights the role of energy audits and numerical modeling in selecting optimal measures.

**Keywords:** energy-efficient reconstruction, building envelopes, engineering systems, heat loss, building modernization, and energy conservation

### TRANSPARENT WOOD AS AN INNOVATIVE CONSTRUCTION MATERIAL: ANALYSIS OF OPTICAL AND STRENGTH CHARACTERISTICS

**E. S. Kolesnikova, E. V. Verbitskaya, I. O. Verbitsky, L. N. Pantyushina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article discusses transparent wood as a promising innovative construction material that combines the mechanical properties of wood with high optical characteristics. It provides an overview of the technologies used to produce transparent wood, examines its physical, mechanical, and optical properties, and analyzes its potential applications in construction and architecture. The article focuses on comparing the characteristics of transparent wood with those of traditional materials such as glass, polymers, and traditional wood. It also addresses issues related to the durability, anisotropy, resistance to external factors, and regulatory limitations for incorporating this material into construction practices.

**Keywords:** transparent wood, innovative materials, optical properties, strength characteristics, composite materials, sustainable construction.

### ANALYSIS OF THE POTENTIAL FOR USING GLASS MULLIONS IN LARGE-FORMAT FACADE GLAZING

**M. A. Komisarov, I. V. Kharlamov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article analyzes the potential for using glass mullions in large-format façade structures instead of traditional aluminum ones. The primary focus is on comparing their visual characteristics and design features. Glass mullions are proposed for buildings with high architectural demands, where a panoramic appearance is a priority. The research methodology includes calculating the load-bearing characteristics of aluminum and glass mullions and conducting a visual assessment. The results demonstrate that glass mullions minimize the visual impact of translucent structures and significantly improve the panoramic perception of a façade. However, glass mullions are less expensive and less complex to manufacture, limiting their use in mass construction. This article will be useful for designers, architects, and engineers planning to use modern large-format glazing solutions in their work.

**Keywords:** façade glazing, glass mullion, large-format insulating glass units, mullion-transom system, structural glazing, laminated glass, aluminum profiles.

### BASIC PRINCIPLES FOR WORKING WITH FITTINGS AND EQUIPMENT OF WATER SUPPLY SYSTEMS IN REVIT

**V. A. Korobka, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article discusses methods and techniques for working with families of fittings and sanitary equipment when modeling water supply systems in the AUTODESK REVIT software environment.

**Keywords:** water supply system, modeling, fittings, equipment, BIM model, families.

### FEATURES OF DEVELOPING A BUILDING INFORMATION MODEL ADAPTED FOR 3D PRINTING

**Yu. A. Kuznetsov, M. A. Gavrikova, E. R. Kirkolup**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article addresses the challenge of integrating building information modeling (BIM) with additive manufacturing technologies in the construction industry. A significant technological gap exists between the design phase in digital information modeling environments and the preparation stage for 3D printing, as most platforms lack the capability to directly generate extruder trajectories and G-code. The paper outlines the key design features required for 3D-printed buildings, accounting for the technological, architectural, and structural limitations of additive manufacturing. Furthermore, it proposes a methodology for adapting digital information models to meet the specific requirements of construction 3D printers.

**Keywords:** Building Information Modeling (BIM), 3D printing, additive manufacturing technologies, digital transformation in the construction sector, architectural and structural design constraints.

### STUDY OF FINNISH FRAME HOUSES FOR USE IN THE ALTAI REGION

**R. Yu. Kulagin, I. V. Kharlamov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The work was created with the aim of considering and identifying new options for the development of construction technologies in order to increase the energy efficiency of buildings. The relevance of this topic is due to the constant increase in environmental requirements in construction and the energy efficiency of buildings under construction, which necessitates the search for new construction technologies. The article discusses methods and measures for the use of thermal insulation materials in the construction of Finnish frame houses in order to apply

and adapt this technology in the Altai region. The study used methods of comparative analysis and thermal engineering calculations. Online resources and calculators were used for calculations, as well as experience in building using similar technologies in the Russian and Altai regions. According to the study, the Finnish technology of building and insulating frame houses requires adaptation for use in our climate, as it is economically.

**Keywords:** energy efficiency, vapor barrier properties, infiltration intensity, frame houses, vapor permeability coefficient, heat transfer, adaptation of construction technology, envelope structures, economic indicators, and ecology in construction.

## RESEARCH AND ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES FOR ENSURING THE STABILITY OF DEEP PIT WALLS IN CONDITIONS OF DENSE URBAN DEVELOPMENT

**E. K. Ladyka, E. I. Vyatkina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article is devoted to an overview of modern technologies for ensuring the stability of earth retaining walls of deep excavations in densely built-up urban environments. It discusses the types of retaining walls used in deep excavations and methods for ensuring their stability. An analysis is also conducted on the effectiveness of various technologies for maintaining the stability of deep excavation retaining walls in conditions of dense urban development.

**Keywords:** excavation, urban development, existing buildings, stability of excavation walls, settlement, strengthening, RIT, retaining system, stabilization, loads.

## RESEARCH AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF MATERIALS AND TYPES OF PIPE FOR GAS SUPPLY SYSTEMS

**V. V. Logvinenko, N. N. Sashchenko**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article examines the materials and types of pipes used in modern gas pipeline construction. The study examined the main methods of gas pipeline installation (using steel and polyethylene pipes), their properties, and the specifics of their use in various climatic and engineering-geological conditions. The article provides an understanding of how the sound choice of materials affects the safety and efficiency of modern gas supply systems.

**Keywords:** gas supply, steel pipes, polyethylene pipes, underground gas pipelines, aboveground gas pipelines, trenchless technologies (HDD), corrosion resistance, welding of polyethylene pipes, welding of steel pipes.

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE USE OF EJECTION AND VENTILATION PIPES IN ENERGY-EFFICIENT VENTILATION SYSTEMS OF MODERN OFFICE BUILDINGS

**S. N. Manyak, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

A comparative analysis of the energy efficiency and comfort level of two types of terminal devices of microclimate systems: ejection closers (cold beams) and ventilation closers (fan coils) in the conditions of modern office buildings.

**Keywords:** cooling beam, supply air, variable flow systems, condensation, ejection, microclimate.

## APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO AUTOMATE COST ESTIMATES BASED ON BUILDING INFORMATION MODELING PARAMETERS

**K. S. Markelova, Ya. G. Mozgovaya**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article examines the potential of automating building information model data to improve the efficiency and accuracy of cost estimates.

**Keywords:** building information modeling, machine learning, artificial intelligence, BIM model, construction pricing, cost estimate automation, economic data, information technology in construction.

## INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER S-3 ON THE PORE STRUCTURE OF ROAD CONCRETE

**N. V. Medvedev, G. I. Ovcharenko, I. S. Goncharov, A. N. Yurakov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The effect of a melamine-formaldehyde superplasticizer (Frem C-3, Polyplast SP-1) on the air entrainment and pore structure of road concrete was studied. Experiments showed that this superplasticizer suppresses air entrainment (reducing it by 2-4 times) and does not create reserve porosity (the proportion of conditionally closed pores is 0,6-1,2%). The air-entraining admixture Polyplast VV, in the presence of this C-3, provides an increase in reserve porosity only to 3,5-4%, which is insufficient to ensure the required frost resistance of road concrete. An IR spectroscopy study of the admixtures showed that Frem C-3 contains impurities (band 756 cm<sup>-1</sup>) that act as defoamers and render the air-entraining admixture inactive. The results demonstrate the need to consider the chemical nature of the superplasticizer when designing frost-resistant road concrete compositions.

**Keywords:** highways, road concrete, plasticized concrete, air entrainment, IR spectroscopy, superplasticizer C-3.



**IMPROVEMENT OF TRUST AND OPERATIONAL ASPHALT-BETON COVERAGE RELIABILITY ROADS**

**G. S. Merentsova, V. V. Adyshev**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article discusses the classification of cracks in asphalt concrete coatings and a comprehensive strategy for combating them. Four main types of cracks are described for the reasons of formation: temperature (from low temperatures with regular intervals), reflected (repeating base defects), power or fatigue (from exceeding loads) and technological (due to violations during laying). The solution of the problem requires an accurate diagnosis of the mechanism of destruction and a systematic approach at all stages: from modifying the composition of asphalt concrete and improving the technology of work to high-quality preparation of the base. The integration of these measures allows to significantly increase the crack resistance of coatings, extend their service life and reduce road maintenance costs.*

**Keywords:** roads, types of cracks, increased crack resistance, crack resistance.

**THE FEATURES OF USING GRANULAR ASPHALT COMPOUND IN ROAD REPAIR AND MAINTENANCE**

**G. S. Merentsova, D. S. Grebenshchikov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines the effectiveness of using granular asphalt compound (GAP) – a recycled material obtained by recycling old asphalt pavement – in road repair and maintenance. The advantages of using this material, such as reduced construction costs and reduced environmental impacts due to its reuse, are discussed, as well as its practical applications, including stabilizing dirt road bases, repairing potholes and resurfacing, and paving in urban areas.*

**Keywords:** GAP, road repair, environmental impact, reduction of material costs, natural mineral materials, rational use of GAP.

**THE FEASIBILITY OF USING BLACK CRUSHED STONE IN ROAD CONSTRUCTION**

**G. S. Merentsova, K. D. Ivanova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article is devoted to the features of the use of black rubble in road construction, its physical and mechanical properties, technological advantages and the scope of use in the construction of road clothes.*

**Keywords:** black rubble, road clothes, roads, road construction.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF COMBATING WINTER SLIPPERY ON HIGHWAYS**

**G. S. Merentsova, P. A. Kramarenko**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*An analysis of the use of anti-icing materials to combat winter slipperiness on roads in Russia and the Altai Krai is conducted. The types of anti-icing materials are presented, taking into account the air temperatures at which they are effective. Experience with the use of sand-salt mixtures and the technology for combating winter slipperiness in Russia and the Altai Krai are analyzed.*

**Keywords:** sand-salt mixture (SSM), winter slipperiness, anti-icing material (AIM), anti-icing compound, air temperature.

**ELIMINATION OF DEFECTS ON ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS OF HIGHWAYS USING IMPREGNATING COMPOUND PAB «DORSAN»**

**G. S. Merentsova, K. A. Latartsev, N. V. Medvedev**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*Information on the technology of eliminating defects on asphalt concrete pavements of highways using the impregnating compound PAB «Dorsan» is presented. The composition and property indicators of the impregnating compound PAB «Dorsan» are described. The sequence of technological operations for eliminating local defects on asphalt concrete pavements on highway sections using the impregnating compound PAB «Dorsan» is given. The technology of spreading the impregnating compound on the surface of asphalt concrete pavement with local defects by a mechanized method using a bitumen distributor (for large volumes of work) or manually (for small volumes of work) is described.*

**Keywords:** impregnating compound, local defects, asphalt concrete pavement, highway, technological sequence, defect elimination.

**INCREASING CRACK RESISTANCE OF ROAD PAVEMENTS BY USING CRACK-INTERRUPTING GEOGRID LAYERS IN ROAD RECONSTRUCTION**

**G. S. Merentsova, V. I. Piryaev, N. V. Medvedev**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The problem of increasing the crack resistance of asphalt concrete pavements during road reconstruction using crack-interrupting geogrid layers is considered. The analysis of modern technologies for reinforcing asphalt concrete layers with geosynthetic materials is carried out, the technological parameters of layer installation depending on the base type are systematized. The optimal sequence of work is determined: base preparation, bind-*

er spreading, geogrid fixing and asphalt concrete mixture laying. The mechanism of layer operation is described, which consists in geogrid absorbing tensile stresses and reducing their concentration in dangerous zones.

**Keywords:** highway, road pavement, asphalt concrete pavement, crack-interrupting layer, geogrid, reconstruction.

## APPLICATION OF A RATIONAL TECHNOLOGY FOR INCREASING THE CRACK RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE COATINGS ON THE BASES OF ROAD CLOTHING MADE OF A CRUSHED STONE AND SAND MIXTURE REINFORCED WITH PORTLAND CEMENT

**G. S. Merentsova, D. V. Slavgorodsky**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article provides information on reducing the cracking of asphalt concrete pavements on the bases of road clothing made of crushed stone and sand mixture reinforced with portland cement. The article also identifies the causes of cracking in asphalt concrete pavements on the bases of road clothing made of crushed stone and sand mixture reinforced with portland cement. The article discusses the copying of cracks from these bases into the asphalt concrete pavement. To reduce cracking, it is recommended to use a crack-breaking layer made of tension geogrid in the asphalt concrete pavement. The article describes the technology of road pavement construction with the installation of a geogrid on a layer of crushed stone mixture reinforced with portland cement.

**Keywords:** crack formation, geogrid, asphalt concrete pavement, base, crushed stone and sand mixture, portland cement, road pavement, reflected cracks, crack-breaking layer, reflected cracks.

## PROTECTION OF ASPHALT CONCRETE COATINGS FROM WEAR DURING THE OPERATION OF HIGHWAYS

**G. S. Merentsova, S. I. Smelyak**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article provides information on the protection of asphalt concrete pavements during the operation of highways. It describes methods for protecting asphalt concrete pavements from wear using surface treatments and wear protection layers. The article also provides information on the types of surface treatments used to protect asphalt concrete pavements from wear and their purpose. It also provides technological recommendations for the installation of wear layers using surface treatments and wear protection layers.

**Keywords:** automobile road, wear layer, surface treatment, asphalt concrete pavement, coating protection, types of surface treatments, moisture, treatments, device, and operation.

## METHODS OF MODELING OF THE POWER SUPPLY NETWORK IN THE Renga SYSTEM

**D. D. Pavlov, M. N. Kornitskaya**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

In the context of the rapid growth and complexity of modern construction projects, there is an increasing need for the implementation of accurate and automated methods for the design of engineering systems. Lighting calculations and power supply design require the consideration of a wide range of parameters, from the regulation of illumination levels to the proper calculation of conductor strength. The use of BIM solutions, such as the Renga platform, allows for the integration of these calculations into a single digital model, reducing the risk of errors and shortening the design process. In this article, the main goal is to describe the methodology for performing lighting calculations, conductor calculations, and power supply design in the Renga program, as well as to demonstrate its effectiveness for comprehensive building design. The main research methods in this work include: analysis and application of regulatory documentation, modeling of an electrical network, methodology for performing lighting calculations, conductor calculations, and determination of the main stages of modeling using the example of the Leisure Center in the village of Antsiferovo in the Krasnoyarsk Region. Based on the results of this work, it is possible to determine whether the Renga program is fast and convenient for performing tasks related to the design and calculation of building electrical networks.

**Keywords:** methodology, lighting calculation, Renga, illuminance, luminous intensity distribution curve, voltage, power supply, luminaire, design, distribution networks.

## STUDY AND ANALYSIS OF REINFORCED SOIL CUSHIONS ON LOESS COLLAPSIBLE SOIL FOUNDATIONS OF THE REGION

**K. S. Panyukov, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article presents a comprehensive analysis of the use of reinforced soil cushions (RSC) as an effective method for foundation preparation on loess collapsible soils. The principles of operation, design solutions, calculation methodology, and work production methods are considered. Based on field observations and field test data, an assessment of the technology's effectiveness compared to traditional methods of combating collapsibility is given. Special attention is paid to the influence of the type of geosynthetic material, cushion thickness, and placement density on the deformation and strength characteristics of the artificial foundation.

**Keywords:** reinforced soil cushion, loess soils, collapsibility, settlement, geosynthetics, compaction, bearing capacity, deformation modulus, local collapsibility pressure.

**THE EFFICIENCY OF USING SELF-EXPANDING MORTARIES TO STRENGTHEN THE FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

**N. I. Penkov, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines the effectiveness of using self-expanding cement mortars to strengthen the foundations of buildings and structures. The physical and mechanical properties of self-expanding mixtures, the mechanisms of their interaction with the soil mass, and the technological features of injection stabilization of foundations are analyzed. It is shown that the use of self-expanding mortars can increase the bearing capacity of the foundation, reduce uneven settlement, and increase the durability of building structures. Particular attention is paid to the application of these materials in the reconstruction and strengthening of existing buildings in dense urban areas. The main advantages and limitations of the method are highlighted, as well as prospects for further research in optimizing compositions and injection technologies.*

**Keywords:** self-expanding solutions, foundation strengthening, injection reinforcement, building foundations, soils, bearing capacity, deformations.

**ACCOUNTING FOR PHYSICAL NONLINEARITY IN A MONOLITHIC COATING PLATE**

**M. A. Pleshakova, G. M. Busygina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article describes the occurrence and consideration of the physical nonlinearity of concrete operation, and considers modeling the nonlinear operation of the coating plate material of a monolithic frame building. The calculation results for two types of nonlinear dependence between stresses and deformations are presented.*

**Keywords:** finite element method, physical nonlinearity, the Lira Soft PC, trilinear dependence, exponential dependence, stress-strain state, cracks.

**IMPROVING THE SEISMOUS RESISTANCE OF EXISTING BUILDINGS DURING RECONSTRUCTION: MODERN DESIGN SOLUTIONS AND CALCULATION MODELS**

**M. A. Podyapolskaya, E. V. Verbitskaya, I. O. Verbitsky**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses modern approaches to improving the seismic resistance of existing buildings during reconstruction. Special attention is paid to the stages of survey and verification calculations, the selection of rational design solutions for reinforcement, and the application of computational models based on the finite element method, taking into account physical and geometric nonlinearity. The main methods of reinforcement for buildings of various structural types, including reinforced concrete, metal, and stone systems, are analyzed. The role of numerical modeling in assessing the effectiveness of design solutions and predicting the behavior of structures under seismic loads is shown.*

**Keywords:** seismic resistance, reconstruction of buildings, reinforcement of structures, span calculation, finite element method, nonlinear analysis, survey of buildings.

**OPTIMIZATION OF GLUED WOOD CONSTRUCTIONS FOR FLOATS MORE THAN 60 METERS: ANALYSIS OF CARRIAGE CAPACITY AND DESIGN SOLUTIONS**

**M. A. Podyapolskaya, E. V. Verbitskaya, I. O. Verbitsky, L. N. Pantyushina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses the optimization of glued wooden structures (GDS) used in long-span structures with spans exceeding 60 m. The main focus is on analyzing the load-bearing capacity, design schemes, and the specific features of wood material under complex stress-strain conditions, as well as selecting rational design solutions based on regulatory requirements. The paper considers approaches to computational modeling of glued wooden structures using modern engineering analysis software systems based on the finite element method, and provides recommendations for optimizing cross-sections, node connections, and spatial behavior of structures.*

**Keywords:** glued wooden structures, large-span structures, bearing capacity, optimization of structures, the method of final elements, wooden coverage.

**CALCULATION OF A SPORTS ARENA FOR PROGRESSIVE COLLAPSE**

**M. A. Podyapolskaya, A. A. Kikot**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article addresses the issues of calculating a multifunctional sports arena for progressive collapse in accordance with the requirements of current regulatory documents. The study was carried out using the example of a large-span building with a metal roof structure spanning 66,3 m and a monolithic reinforced concrete frame. The calculation was performed in a linear static formulation, with the development of primary and secondary structural analysis models. Various scenarios of local failure of load-bearing roof elements were analyzed, as well as the most critical case – the sudden removal of the central monolithic reinforced concrete column carrying the load from the roof truss. An assessment of force redistribution, stress-strain state, and structural steel consumption was carried out for different structural solutions.*

**Keywords:** progressive collapse, sports arena, large-span roof, local failure, force redistribution, finite element method, spatial frame.

**CREATING AN INFORMATION MODEL OF WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS**

**D. D. Raschepkin, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The features and stages of creating an information model for water supply and sewerage (WSS) systems within the framework of modern design software solutions are considered. The process of building a three-dimensional model with an emphasis on workflow organization, the use of library elements, and clash detection is described.*

**Keywords:** water supply, sewerage, modeling, information model, families, clashes.

**ANALYSIS AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SLEEVE GROUTING TECHNOLOGY FOR SOIL IMPROVEMENT IN COMPLEX ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS**

**D. E. Rodikov, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article presents a comprehensive analysis of the sleeve (packer) grouting technology as a method for consolidating weak soils and strengthening foundations in complex engineering-geological conditions. The operating principle, scope of application, and methodology for execution are examined. Based on an analysis of practical experience, an assessment of the technology's effectiveness, key advantages, and limitations compared to traditional methods is provided. Particular attention is paid to the criteria for selecting the method and its role in ensuring the safe and durable operation of structures.*

**Keywords:** sleeve grouting, soil improvement, foundation strengthening, weak water-saturated soils, injection, geotechnical monitoring, bearing capacity.

**RESEARCH AND ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES, EQUIPMENT, AND MATERIALS FOR INSTALLING SHEET PILE WALLS IN DENSE URBAN DEVELOPMENT CONDITIONS**

**D. E. Rodikov, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article presents an analysis of modern technologies, equipment, and materials used for installing sheet pile walls for excavations in dense urban development conditions. Issues of minimizing dynamic impacts on surrounding buildings and underground utilities, ensuring installation accuracy, and deformation control are considered. A comparison of traditional and innovative methods is carried out, and the potential of Building Information Modeling (BIM) and geotechnical monitoring for improving safety and work efficiency is analyzed.*

**Keywords:** sheet pile wall, urban development, low-noise technologies, vibratory driving, geotechnical monitoring, Building Information Modeling (BIM), polymer sheet pile.

**ENHANCING THE ENERGY EFFICIENCY OF HEATING NETWORKS THROUGH MODERN THERMAL INSULATION MATERIALS**

**T. I. Sablina, A. I. Poznakharev, O. V. Buiko**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article is devoted to the problems of heat loss in pipelines and the role of modern thermal insulation in improving the energy efficiency of heating networks. The economic and operational consequences of heat leakage are considered, emphasizing the importance of the quality of pipeline insulation. Modern thermal insulation materials such as polyurethane foam, basalt wool, expanded polystyrene, and their features affecting heat loss reduction are discussed. Special attention is paid to the operating conditions of pipelines in regions with a harsh climate, such as the Altai Territory, where the annual replacement of old networks is becoming an urgent task. The historical facts of the development of thermal insulation materials and the prospects for innovative developments, including the use of nanomaterials, aerogels and environmentally friendly materials, are presented. The conclusion of the article focuses on the importance of an integrated approach to the choice of thermal insulation material, taking into account temperature conditions, environmental aggressiveness, project budgets and environmental standards. The importance of further scientific research and development in the field of insulating materials for improving the reliability and stability of heat supply systems is emphasized.*

**Keywords:** heat loss, thermal insulation, polyurethane foam, mineral wool, innovative materials, energy efficiency, reliability, ecology.

**STRUCTURAL SOLUTION FOR THE EXTERNAL WALLS OF AN EXPERIMENTAL RESIDENTIAL BUILDING IN THE VILLAGE OF OTRADNOYE**

**N. O. Saurin, T. I. Saurina, I. V. Kharlamov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines the space-planning and structural design of a single-story residential building for the IsoMAX joint international research project, which explores the feasibility of using frame construction technology in the harsh continental climate of southern Siberia. The building's load-bearing frame is constructed of lightweight steel sections. The frame was delivered to the construction site in prefabricated units. These units were bolted together, complicating construction. The lightweight structural elements allowed for installation without the use of lifting equipment. Several insulation options for the building envelope were considered to analyze the thermal properties of the exterior walls. To improve the building's energy efficiency, the thickness of the insulation layers in the exterior enclosing structures was adopted to be almost twice that required by Russian thermal protection*



standards. Systems of measuring sensors assess the thermal parameters of the environment within the thick enclosing structures and within the building's interiors. External climatic conditions were monitored using an on-site weather station.

**Keywords:** light steel frame, galvanized profiles, mineral wool products, polystyrene foam, aquapanel, plasterboard, thermal conductivity, measuring sensors.

#### **JUSTIFICATION OF THE NEED FOR THERMAL PROTECTION OF THE EXTERNAL WALLS OF THE FIRST LARGE-PANEL FIVE-STORY BUILDINGS IN BARNaul**

**N. O. Saurin, I. V. Kharlamov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

Large-panel buildings of the 1-464 series, built in Barnaul in the 1960s, experience significant heat loss due to design deviations and insulation deterioration. This leads to increased energy consumption for heating and the need for urgent renovations to improve the thermal insulation properties of the walls.

**Keywords:** large-panel houses, series 1-464, thermal engineering deficiencies, deviations from the project, insulation degradation, heat loss, energy consumption, reconstruction.

#### **MONITORING OF ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE ROAD SECTION ALTAI REGION**

**G. V. Sviridova, N. V. Medvedev, V. L. Sviridov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article discusses the results of assessing the economic efficiency of innovative solutions used by road construction contractors in the Altai territory.

**Keywords:** road, innovation, efficiency, discount rate, net present value, payback period.

#### **ANALYSIS OF METHODS OF RECONSTRUCTION AND REPAIR OF HEAT NETWORKS**

**P. A. Smekhun, T. E. Lyutova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article provides a structured analysis of modern innovative methods of reconstruction and repair of heat networks. The general criteria, features, and main requirements affecting the choice of technology and methods of reconstruction and repair of heat network pipelines are determined. Recommendations are proposed to improve the reliability of heat supply systems.

**Keywords:** heat supply systems, repair, reconstruction, methods of reconstruction, repair, laying and installation of pipelines, innovative technologies, rehabilitation of pipelines

#### **RAMMED EARTH CONSTRUCTION AS AN EXAMPLE OF NATURE-SAVING TECHNOLOGY AND SUSTAINABLE CONSTRUCTION**

**M. N. Snitsarenko, Ya. G. Mozgovaya**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

The article examines the domestic and foreign experience in the application of rammed earth construction technology, as well as its basic principles and advantages. The relevance of the use of rammed earth technology is due to its environmental safety, low energy consumption for production and the possibility of using local resources. These characteristics make rammed earth an attractive choice for sustainable construction, which is especially important in the context of growing interest in environmental technologies. In addition, its properties, such as thermal insulation and durability, contribute to improving the quality and comfort of housing. The article also examines the historical aspect of rammed earth construction and its innovative features, including modern methods of processing and stabilizing the earthen soil. Based on the results of the study, the main problems and prospects of using rammed earth technology have been identified. Recommendations for their integration into construction practice are proposed. In particular, an important emphasis was placed on the creation of a regulatory framework and professional training of specialists in the rammed earth construction. It was noted that the popularization of successful projects will accelerate the implementation of advanced solutions.

**Keywords:** rammed earth construction, rammed earth technology, rammed earth architecture, rammed soil, rammed clay, ramming, rammed soil, stabilizers, nature-saving technology, sustainable construction.

#### **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF AUTOMATED HEATING STATIONS IN THE ALTAI REGION**

**A. A. Sobolev, S. N. Yakovleva**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

This article analyzes the effectiveness of automated weather-dependent equipment and the resulting savings. The authors identify the main reasons for the slow implementation of the federal program for energy efficiency measures, including low public awareness of the availability of such equipment and its effectiveness, and a lack of budget funding for energy efficiency measures in public buildings and educational institutions. The article concludes with recommendations for increasing public awareness, aimed at improving quality of life and saving family budgets on utility bills. This article will be of interest to managers of management companies and homeowners' associations (HOAs), budgetary institutions and commercial organizations, managers and specialists in the field of major repairs of apartment buildings, and residents of apartment buildings.

**Keywords:** thermal energy, apartment buildings, public buildings, climate, temperature fluctuations, utility costs, energy efficiency, management companies, HOAs, automated heating units, major repairs, savings.

**RENOVATION IN CONSTRUCTION AS A RATIONAL WAY OF COMPLEX DEVELOPMENT OF THE CITY OF BARNaul ON THE EXAMPLE OF THE «POTOK» NEIGHBORHOOD**

**A. S. Solovyova, M. A. Osipova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses the integrated development of the territory of the city of Barnaul in the Potok microdistrict. During the study, the territory of the Potok microdistrict was analyzed. Information on the Potok Renovation program was studied. During the study, the features of renovation in this area were examined. The features of renovation as a rational way of integrated development of the territory of the city of Barnaul were highlighted.*

**Keywords:** emergency condition of buildings, unified architectural image, engineering communications, integration of development, comprehensive development of residential areas, comfort of urban space, optimization of land use, renovation in construction, renovation of residential buildings, social infrastructure, transport infrastructure, and evolutionary development of territories.

**RESEARCH OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR MODERNIZATION OF WATER WELLS**

**M. A. Fisher, I. A. Bakhtina**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article examines the main problems of multi-family residential buildings built in the 60-70s, and applies regulatory documentation to evaluate the construction of the house.*

**Keywords:** limited working capacity, emergency condition, major repairs, engineering systems, house structures.

**FEATURES OF THE FORMATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF SOILS DURING UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF THE CITY OF BARNaul**

**E. S. Khomutov, I. V. Noskov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The features of the formation of the stress-strain state of soils during the construction of multi-level underground parking lots in conditions of dense urban development are considered. The role of deep excavation, stages of work and protective measures in the development of deformations of the soil mass and their manifestation in the zone of influence is noted. Special attention is paid to the effects of groundwater and the unsteady hydrogeological regime, which determine the spatial and temporal nature of deformations. The engineering and geological features of the territory of the city of Barnaul, affecting the conditions of underground construction, are given.*

**Keywords:** underground construction, parking lots, stress-strain state, groundwater, zone of influence, Barnaul.

**ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF THE USE OF AEROGEL INSULATION AS AN INTEGRATED SOLUTION FOR ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTION AND INDUSTRY**

**I. A. Chalykh, V. N. Lyutov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article presents an analysis of an innovative thermal insulation material, aerogel, with an emphasis on its unique physical and technical properties and real-world applications. Special attention is paid not only to ultra-low thermal conductivity, but also to such characteristics as incombustibility, hydrophobicity, high vapor permeability and durability. Data on the cost of aerogel composites in the Russian market are presented, as well as their feasibility in conditions of limited space, high fire safety requirements and aggressive climatic or industrial environments is substantiated. Real-world application cases are considered: insulation of pipelines, cryogenic systems, industrial furnaces and flange connections. It is shown that, despite the high initial cost, aerogel is economically justified by reducing operating costs, eliminating the need for steam and waterproofing, and reducing the thickness of structures.*

**Keywords:** aerogel, thermal insulation, building structures, energy saving, innovative materials, industrial insulation, energy efficiency.

**ON THE DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION USING FORESTRY PRODUCTS IN THE ALTAI KRAI**

**N. V. Chemakin, Yu. V. Khalturin**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines the global context and Russian government policy in the field of wooden housing construction, the approved roadmap for its development, and promising targets. It also substantiates the advantages of using wood in construction. Particular attention is paid to the destructive factors and barriers in the industry, as well as innovative changes in the regulatory framework. An analysis of the current situation and challenges in the industry, along with potential solutions, is presented, as well as a regional analysis of the operations of companies in the Altai Krai specializing in the production of wooden house kits, including an assessment of their production potential and financial stability. Based on the study's findings, recommendations for stimulating growth in this sector in the region are formulated.*

**Keywords:** wooden housing construction, prefabricated houses, mechanical safety, fire resistance, regulatory framework, government support, combined structures, import substitution, Altai Krai, economic efficiency.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS PILE TYPES FOR FOUNDATION CONSTRUCTION  
OF A 25-STOREY RESIDENTIAL BUILDING IN THE CITY OF NOVOSIBIRSK**

**B. M. Cherepanov, E. S. Kolesnikova**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article presents a comparative technical and economic analysis of pile cluster fragments for a 25-storey residential building in Novosibirsk under challenging soil conditions. The study examines precast reinforced concrete piles with cross-sections of  $0,3 \times 0,3$  m and  $0,4 \times 0,4$  m, as well as bored cast-in-place piles.*

**Keywords:** pile foundations, bored cast-in-place piles with enlarged base, static cone penetration testing, precast reinforced concrete piles, technical and economic comparison, high-rise construction, weak soils, normative documents.

**ASPECTS OF COMPOSITE REINFORCEMENT APPLICATION IN FOUNDATION CONSTRUCTION**

**M. K. Chernetskaya, B. M. Cherepanov**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*The article discusses the issues of technical, economic and regulatory aspects of the use of composite reinforcement in critical foundation structures. In this regard, the types of composite reinforcement and the features of their use in foundation structures were considered. The article describes the limitations and critical aspects of using composite reinforcement. The advantages, limitations and recommendations of using composite reinforcement in foundation construction are indicated. It is indicated that the critical limitation of the use of composite reinforcement in concrete structures remains the insufficient elaboration of calculation methods. The discrepancy between the results of numerical modeling and normative calculations requires additional experimental studies to refine the calculation methods for bent elements with composite reinforcement. Based on the results of the research, conclusions were drawn about composite reinforcement as a promising material for foundation construction. Its use requires a balanced approach, taking into account the specifics of the structure, operating conditions and the current level of development of the regulatory and technical base.*

**Keywords:** composite reinforcement, fiberglass reinforcement, basalt-plastic reinforcement, combined composite reinforcement, foundation construction.

**ON THE PROBLEMS OF QUALITY CONTROL OF WORK DURING THE STRENGTHENING  
OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS**

**A. A. Chernyy, Yu. V. Khalturin**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article discusses the current problems of ensuring the quality of work during the strengthening of reinforced concrete structures (RCS) with external composite reinforcement (ECA) systems. The historical context of the introduction of this technology in Russia as a response to the high degree of deterioration of existing infrastructure is considered. The main technological methods of strengthening are analyzed in detail: gluing carbon tapes and fabrics, installation of ready-made carbon fiber reinforced polymer (CFRP) laminates, and the use of carbon meshes with mineral binder. Key advantages and inherent disadvantages of each method, directly affecting the complexity of control, are highlighted. Deficiencies in the regulatory documentation concerning quality control during the installation and operation of ECA systems are also examined.*

**Keywords:** strengthening of reinforced concrete structures, external reinforcement, composite materials, carbon fiber, quality control, adhesive joint, non-destructive testing, surface preparation, strengthening technology, durability of structures.

**ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF CONSTRUCTING HOUSES FROM DOUBLE TIMBER  
IN THE ALTAI REGION**

**A. A. Shalaeva, Yu. V. Khalturin**

Altai state technical university of I. I. Polzunov, Barnaul

*This article examines structural solutions for double-beam timber building walls used abroad. Factors determining the operational reliability of double-beam timber structures are identified, and preliminary recommendations for their adaptation to the conditions of the Altai Krai are provided. It is found that this technology has potential in terms of energy efficiency and construction speed. Failure to comply with stability calculation requirements, wood moisture control, and installation quality may result in uneven deformations of wall layers and other operational defects.*

**Keywords:** double-beam timber, low-rise construction, energy efficiency, structural stability, shrinkage, ecowool, thermal conductivity, regulatory framework, operational reliability, climatic impacts.

ПОЛЗУНОВКИЙ АЛЬМАНАХ

*Электронное периодическое научное издание*

*Статьи опубликованы в авторской редакции*

*Компьютерная верстка, макет: И. В. Карелина*

Издательство Алтайского государственного  
технического университета им. И. И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46





ISSN 2079-1097

Издательство АлтГТУ им. И. И. Ползунова

656038 г. Барнаул, пр. Ленина, 46, каб. 113 главного корпуса

тел./факс +7 (3852) 29-09-46

сайт: <http://ipc.altstu.ru/> e-mail: [altgtu@mail.ru](mailto:altgtu@mail.ru)

Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доц. каф. ТИАрх

**НА ОБЛОЖКЕ:**

Главный корпус АлтГТУ, памятник И. И. Ползунову, г. Барнаул