

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Симоненко Руслан Александрович

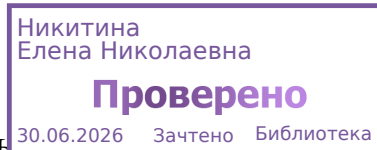
**Проектирование зданий с пустотными монолитными перекрытиями  
при возведении в зимний период**

Направление подготовки  
08.04.01 – «Строительство»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2026

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»



Научный руководитель: Сысоев Евгений Олегович  
кандидат экономических наук, доцент

Рецензент: Головки Александр Владимирович  
кандидат технических наук, доцент

Защита состоится «18» июня 2026 г. в 9 часов 00 мин. на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ФГБОУ ВО «КнАГУ» ауд. 212/1.

Автореферат разослан 11 июня 2026 г.

Секретарь ГЭК

И.В. Погорельских

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность исследования**

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надёжности и технологической эффективности возведения зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период. Для значительной части территории Российской Федерации характерны продолжительные периоды отрицательных температур, что существенно осложняет процесс устройства монолитных железобетонных конструкций, особенно перекрытий, обладающих большой площадью охлаждаемой поверхности и повышенной интенсивностью теплопотерь.

Пустотные монолитные перекрытия широко применяются в современном строительстве благодаря снижению массы конструкций, уменьшению расхода материалов и повышению экономической эффективности зданий. Однако значительная площадь охлаждаемой поверхности таких перекрытий требует применения эффективных методов тепловой обработки бетона, обеспечивающих нормативный набор прочности в зимний период.

Одним из наиболее перспективных методов зимнего бетонирования является электродный прогрев бетона, позволяющий обеспечить равномерный нагрев конструкции и контроль температурного режима. Вместе с тем выполнение расчётов параметров прогрева вручную является трудоёмким процессом, что определяет необходимость автоматизации расчёта и разработки программных средств поддержки инженерных решений.

**Цель работы:** исследование особенностей проектирования зданий с пустотными монолитными перекрытиями при возведении в зимний период и разработка программного обеспечения для автоматизации расчёта параметров электродного прогрева бетона.

**Объект исследования:** процесс возведения зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период.

**Предмет исследования:** применение электродного прогрева бетона при устройстве пустотных монолитных перекрытий и автоматизация расчёта

параметров прогрева.

#### **Основными задачами работы являются:**

- исследовать развитие технологий зимнего бетонирования и особенности их применения;
- рассмотреть современные исследования в области зимнего бетонирования монолитных железобетонных конструкций;
- выявить особенности возведения пустотных монолитных перекрытий в зимних условиях;
- выполнить анализ методов тепловой обработки бетона и обосновать выбор электродного прогрева;
- разработать программное обеспечение для автоматизации расчёта параметров электродного прогрева бетона;
- выполнить тестирование разработанного программного комплекса и оценить его практическую применимость.

#### **Методическая и теоретическая основа исследования**

Методической основой исследования является анализ научных трудов, нормативно-технической документации, публикаций, посвящённых вопросам зимнего бетонирования, а также проектирования и возведения монолитных железобетонных конструкций в условиях отрицательных температур.

Теоретическую основу исследования составляют работы отечественных и зарубежных авторов, посвящённые процессам твердения бетона, влиянию низких температур на физико-механические свойства бетонных конструкций, методам зимнего бетонирования и вопросам электротермической обработки бетона.

#### **Апробация работы и публикации**

Основные положения диссертации опубликованы в двух научных статьях. Материалы диссертации доложены и апробированы на двух конференциях:

- Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия» стр. 191–193, 16–18 декабря 2024 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

- Всероссийская научно-практическая конференция «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» стр. 436–438, 7-8 октября 2025 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

### **Структура и объем работы**

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, списка литературы (21 источник). Основной текст изложен на 97 страницах, содержит 4 таблицы и 28 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** выполнен анализ развития технологий зимнего бетонирования. Рассмотрена эволюция методов от «термоса» и тепляков до современных способов электротермической обработки бетона. Также рассмотрены современные исследования отечественных ученых, посвященные моделированию процессов твердения бетона, расчету температурных полей и применению программных комплексов.

### **Выводы по главе 1**

1. Установлено, что развитие технологий зимнего бетонирования связано с необходимостью обеспечения круглогодичного выполнения монолитных работ и предотвращения негативного влияния отрицательных температур на процессы твердения бетона.

2. Анализ истории развития зимнего бетонирования показал, что совершенствование методов производства бетонных работ сопровождалось переходом от пассивных способов сохранения тепла к активным методам электрообогрева бетонных конструкций.

3. Выявлено, что при возведении зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период возникают дополнительные сложности, связанные с повышенными теплопотерями и необходимостью обеспечения равномерного температурного режима твердения бетона.

4. Анализ современных исследований показал, что применение электрических методов прогрева позволяет повысить надежность зимнего бетонирования, обеспечить требуемую скорость набора прочности и снизить риск дефектов бетонной конструкции.

5. Установлено, что для монолитных перекрытий, включая пустотные конструкции, наиболее эффективным является электродный метод прогрева, обеспечивающий внутренний нагрев бетона и возможность регулирования температурного режима.

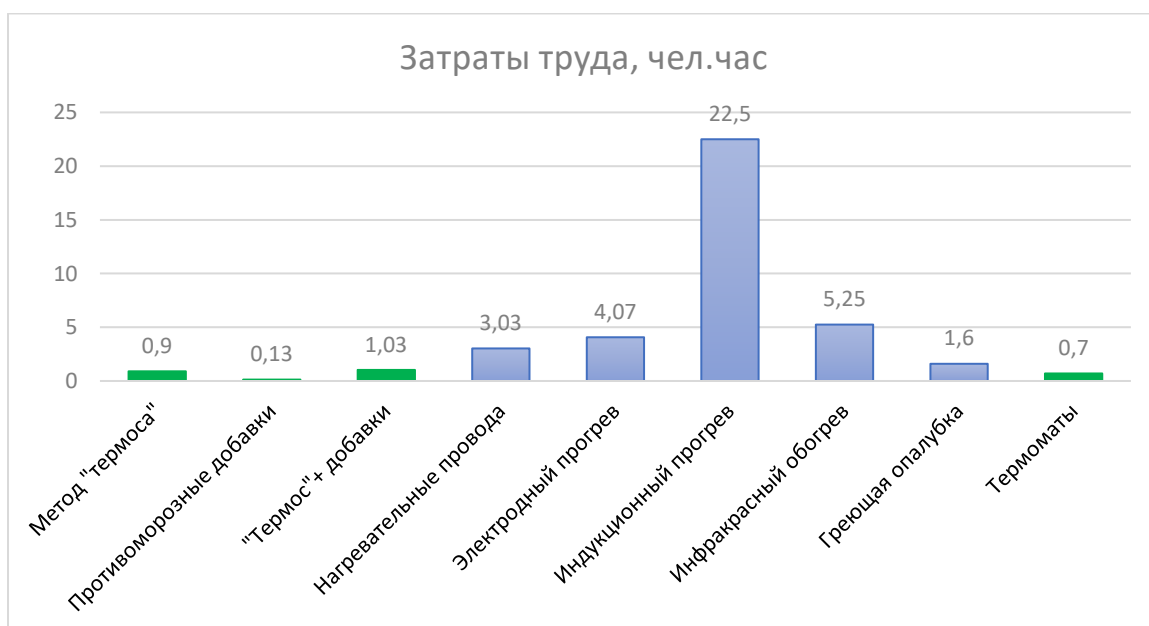
6. В связи с необходимостью повышения точности инженерных расчетов и

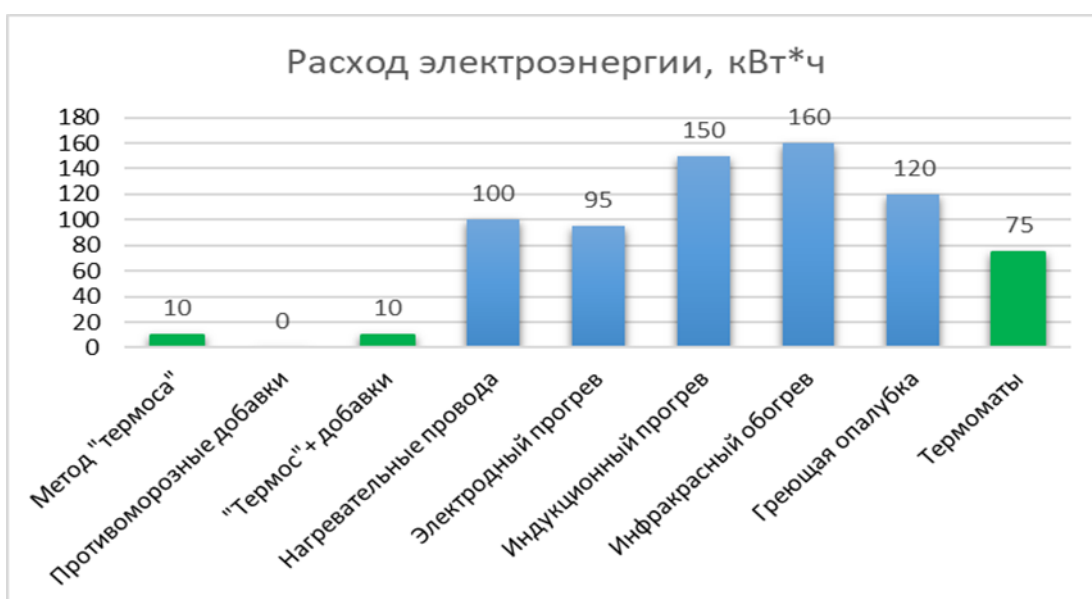
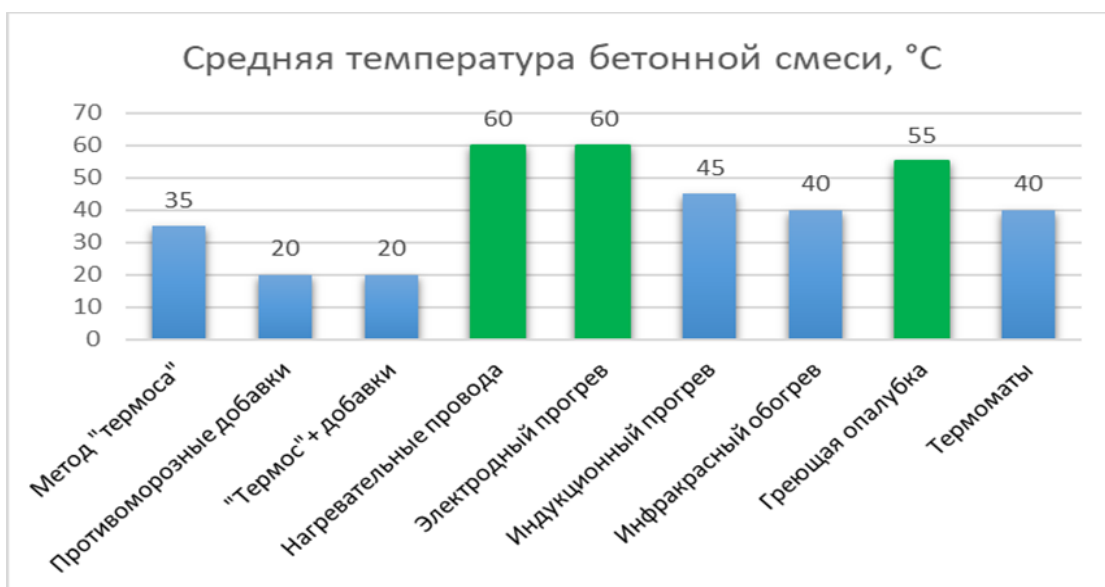
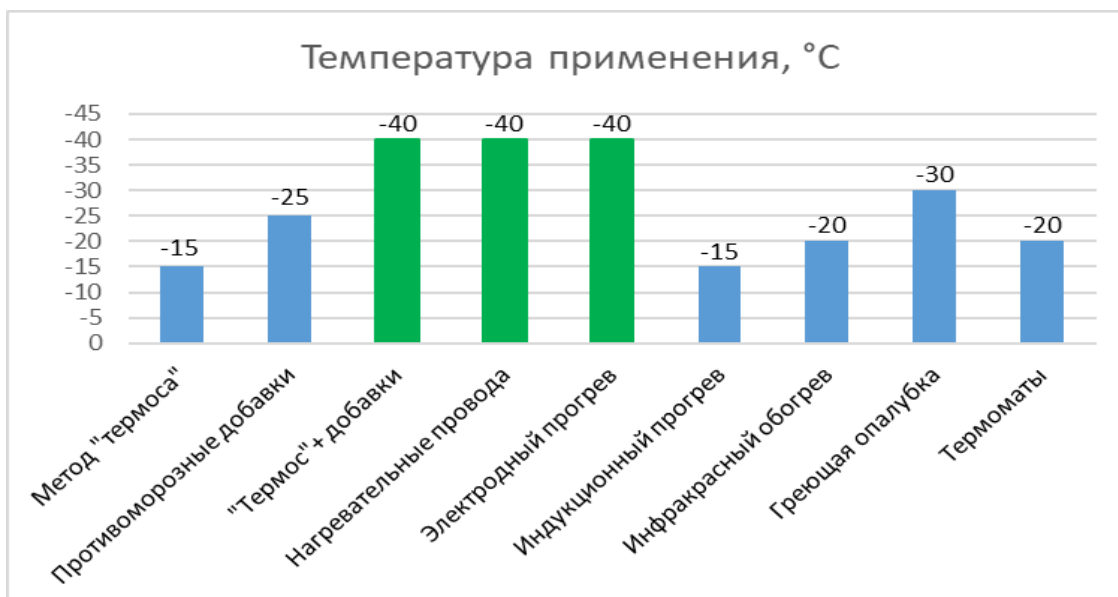
сокращения времени подбора параметров прогрева актуальной задачей является автоматизация расчета электродного прогрева бетона при возведении зданий в зимний период.

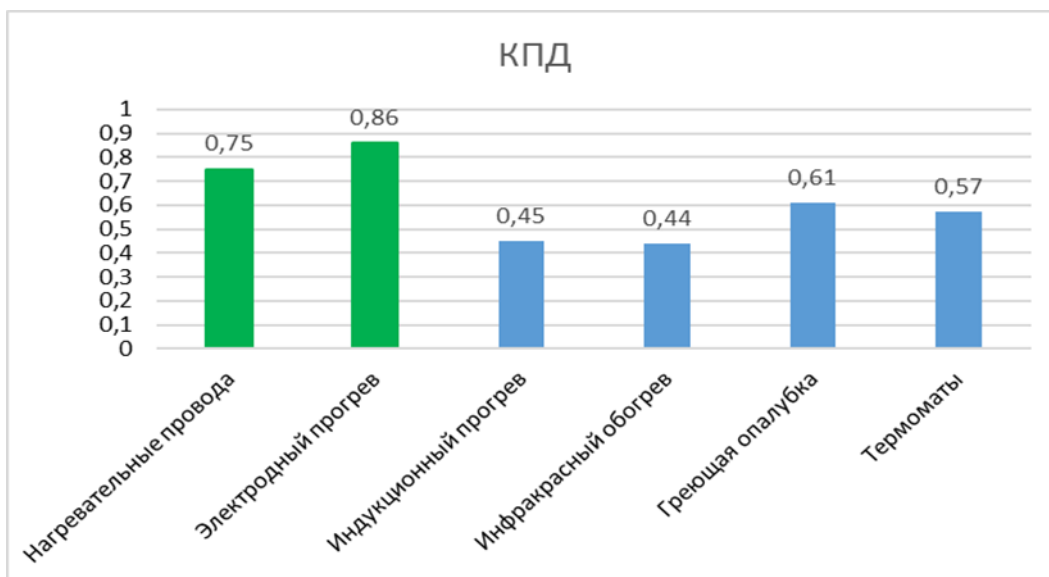
Во второй главе рассмотрены основные методы зимнего бетонирования, проведен анализ особенностей возведения зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период. Для дальнейшей работы выбран метод электродного прогрева бетона, также выявлены недостатки применения данного метода. Разработаны расчетные зависимости для определения параметров электродного прогрева, включая мощность, продолжительность прогрева и параметры электроснабжения.

#### Сравнение методов зимнего бетонирования

| № пп | Название метода         | Затраты труда, чел.час | Расход электроэнергии, кВт*ч | Температура применения, °С | Средняя температура бетонной смеси, °С | Температура греющего элемента, °С | КПД метода |
|------|-------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|--|-----------------------------------|------------|
| 1    | Метод "термоса"         | 0,9                    | 10                           | -15                        | 35                                     | -                                 | -          |
| 2    | Противоморозные добавки | 0,13                   | 0                            | -25                        | 20                                     | -                                 | -          |
| 3    | "Термос"+ добавки       | 1,03                   | 10                           | -40                        | 20                                     | -                                 | -          |
| 4    | Нагревательные провода  | 3,03                   | 100                          | -40                        | 60                                     | 80                                | 0,75       |
| 5    | Электродный прогрев     | 4,07                   | 95                           | -40                        | 60                                     | 70                                | 0,86       |
| 6    | Индукционный прогрев    | 22,5                   | 150                          | -15                        | 45                                     | 100                               | 0,45       |
| 7    | Инфракрасный обогрев    | 5,25                   | 160                          | -20                        | 40                                     | 90                                | 0,44       |
| 8    | Греющая опалубка        | 1,6                    | 120                          | -30                        | 55                                     | 90                                | 0,61       |
| 9    | Термоматы               | 0,7                    | 75                           | -20                        | 40                                     | 70                                | 0,57       |







## Выводы по главе 2

1. Выполнен анализ существующих методов зимнего бетонирования, показавший, что их эффективность определяется конструктивными особенностями сооружения, температурой наружного воздуха, теплопотерями и сроками набора прочности бетона.

2. Установлено, что при возведении зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период возникают сложности, связанные со значительной площадью охлаждения, наличием пустот и необходимостью обеспечения равномерного температурного режима твердения бетона.

3. Выявлено, что применение пассивных методов зимнего бетонирования, включая метод «термоса» и использование только противоморозных добавок, не всегда обеспечивает достижение требуемой прочности бетона в нормативные сроки при устройстве перекрытий.

4. Проведенный анализ методов искусственного электрообогрева показал, что инфракрасный нагрев, греющая опалубка и прогрев греющими проводами имеют ряд ограничений, связанных с трудоемкостью устройства, особенностями монтажа и сложностью обеспечения равномерного прогрева пустотных монолитных перекрытий.

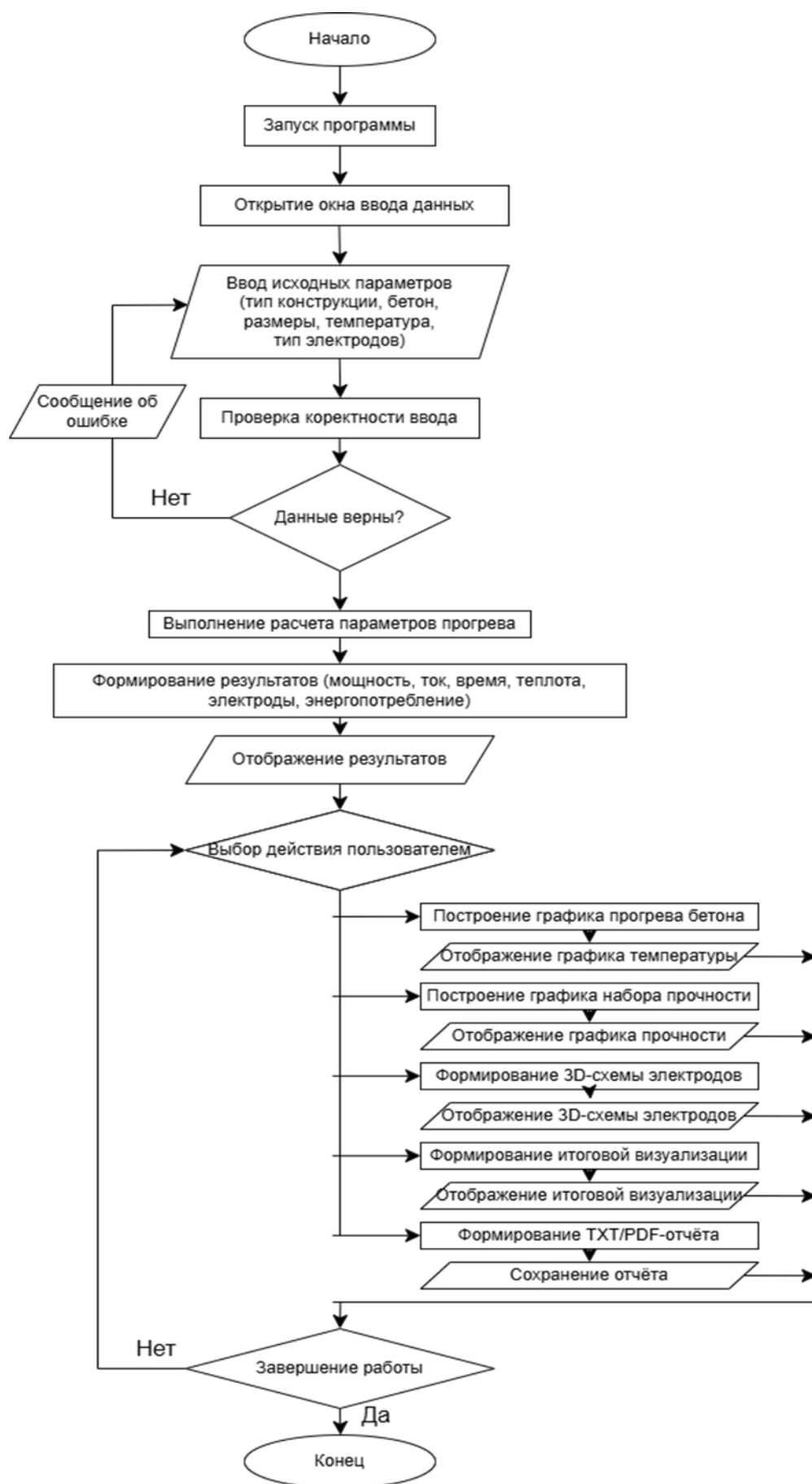
5. Установлено, что наиболее рациональным методом тепловой обработки

бетона при возведении пустотных монолитных перекрытий является электродный прогрев, позволяющий обеспечивать внутренний нагрев бетонной смеси, регулирование температурного режима и ускорение набора прочности.

6. Рассмотрены нормативные документы и методические рекомендации по расчету параметров электродного прогрева, определены основные расчетные зависимости для выбора параметров конструкции, мощности прогрева, схемы размещения электродов, продолжительности выдерживания и энергозатрат.

7. Полученные результаты анализа и расчетные зависимости являются основой для автоматизации расчета параметров электродного прогрева бетона и разработки программного обеспечения, предназначенного для применения при проектировании зданий с пустотными монолитными перекрытиями в зимний период.

В третьей главе, для решения проблем применения метода электродного прогрева поставлена задача разработать программное обеспечение, предназначенное для автоматизации инженерных расчетов параметров электродного прогрева бетона. Программа позволяет выполнять расчет основных параметров, подбирать схему расположения электродов, моделировать температурный режим и оценивать процесс набора прочности бетона. Проведено тестирование разработанного программного обеспечения на корректность расчетов и работоспособность основных функций системы.



## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3D схема электродов | Итоговая визуализация

Тип конструкции  
Плита

Тип электродов  
Стержневые

Класс бетона  
B20

Объем бетона (м³)  
20

Длина конструкции (м)  
5

Ширина конструкции (м)  
2

Высота/толщина конструкции (м)  
2

Шаг электродов (м)  
1

Температура воздуха (°C)  
-10

Рассчитать

График температуры

График прочности

3D схема электродов

Итоговая визуализация

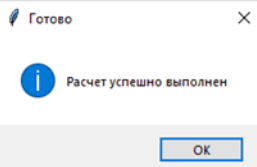
Сохранить TXT

Экспорт PDF

## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3D схема электродов | Итоговая визуализация

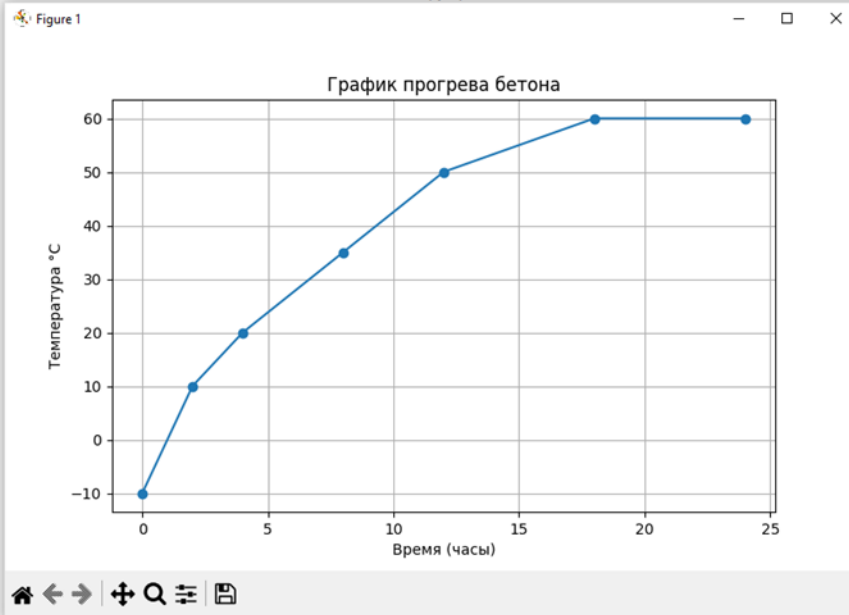
| Параметр              | Значение        |
|-----------------------|-----------------|
| Тип конструкции       | Плита           |
| Тип электродов        | Стержневые      |
| Класс бетона          | B20             |
| Объем бетона (м³)     | 20.0            |
| Размеры (м)           | 5.0 × 2.0 × 2.0 |
| Температура воздуха   | -10.0 °C        |
| Масса бетона          | 48000.0 кг      |
| Количество теплоты    | 2822400.0 кДж   |
| Мощность              | 98000.0 Вт      |
| Сила тока             | 257.89 А        |
| Время прогрева        | 28.8 ч          |
| Количество электродов | 10 шт           |
| Шаг электродов        | 1.0 м           |
| Энергопотребление     | 2822400.0 Вт·ч  |



## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3D схема электродов | Итоговая визуализация

Тип конструкции



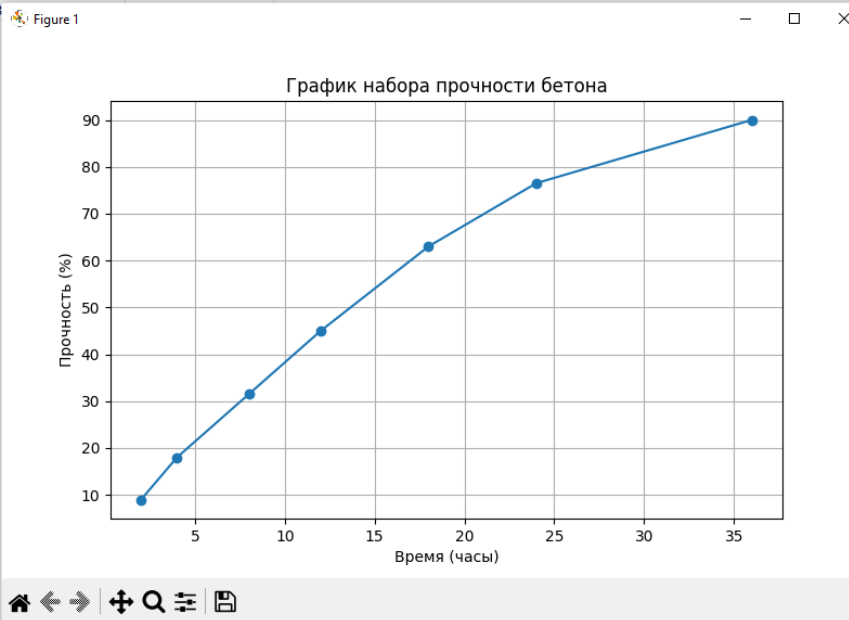
Итоговая визуализация

Сохранить TXT

Экспорт PDF

## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3



3D схема электродов

Итоговая визуализация

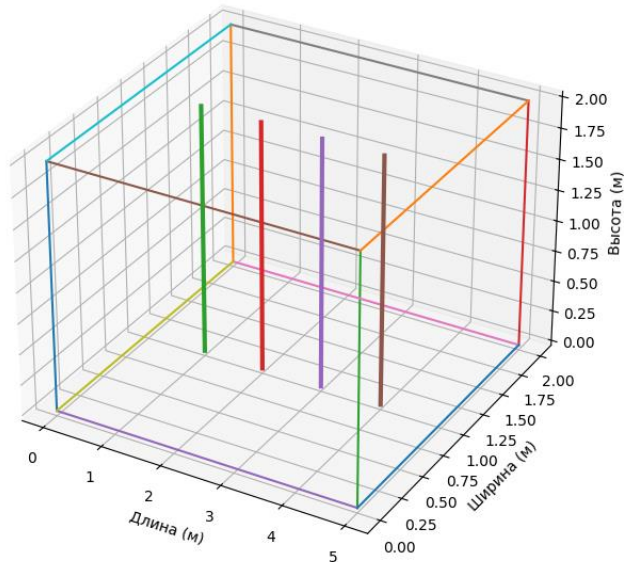
Сохранить TXT

Экспорт PDF

## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3D схема электродов | Итоговая визуализация

Конструкция: Плита  
 Тип электродов: Стержневые  
 Шаг электродов: 1.0 м  
 Количество электродов: 4



## Автоматизация расчета параметров электродного прогрева бетона

Ввод данных | Результаты | 3D схема электродов | Итоговая визуализация

### Итоговые параметры электродного прогрева

| Параметр            | Значение        |
|---------------------|-----------------|
| Тип конструкции     | Плита           |
| Тип электродов      | Стержневые      |
| Класс бетона        | B20             |
| Объем бетона (м³)   | 20.0            |
| Размеры (м)         | 5.0 × 2.0 × 2.0 |
| Температура воздуха | -10.0 °C        |
| Масса бетона        | 48000.0 кг      |
| Количество теплоты  | 2822400.0 кДж   |
| Мощность            | 98000.0 Вт      |
| Сила тока           | 257.89 А        |

### Набор прочности бетона

| Время (ч) | Прочность (%) | Энергия        |
|-----------|---------------|----------------|
| 2         | 9.0           | 196000.0 Вт·ч  |
| 4         | 18.0          | 392000.0 Вт·ч  |
| 8         | 31.5          | 784000.0 Вт·ч  |
| 12        | 45.0          | 1176000.0 Вт·ч |
| 18        | 63.0          | 1764000.0 Вт·ч |
| 24        | 76.5          | 2352000.0 Вт·ч |
| 36        | 90.0          | 3528000.0 Вт·ч |

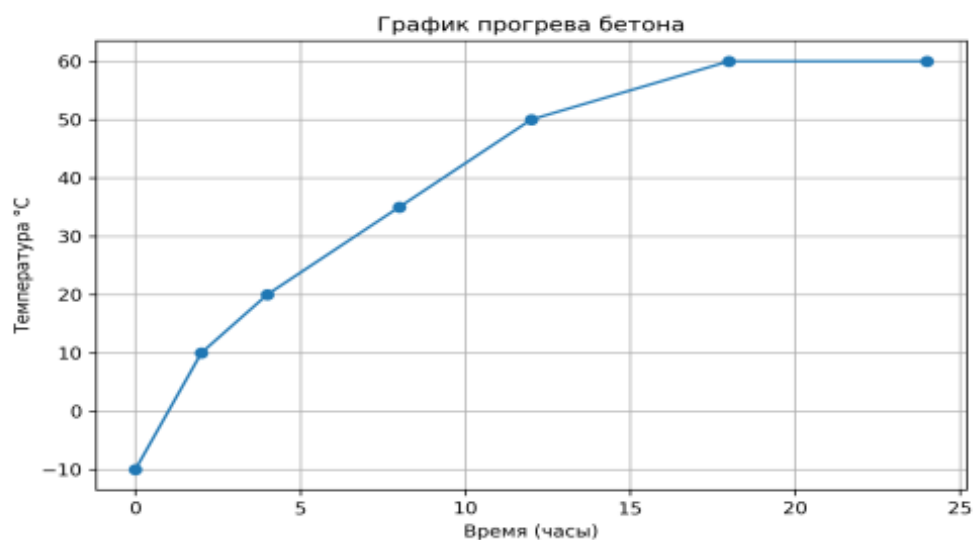
## Результаты расчета электродного прогрева бетона

Тип конструкции: Плита  
Тип электродов: Стержневые  
Класс бетона: В20  
Объем бетона (м<sup>3</sup>): 20.0  
Размеры (м): 5.0 × 2.0 × 2.0  
Температура воздуха: -10.0 °С  
Масса бетона: 48000.0 кг  
Количество теплоты: 2822400.0 кДж  
Мощность: 98000.0 Вт  
Сила тока: 257.89 А  
Время прогрева: 28.8 ч  
Количество электродов: 10 шт  
Шаг электродов: 1.0 м  
Энергопотребление: 2822400.0 Вт·ч

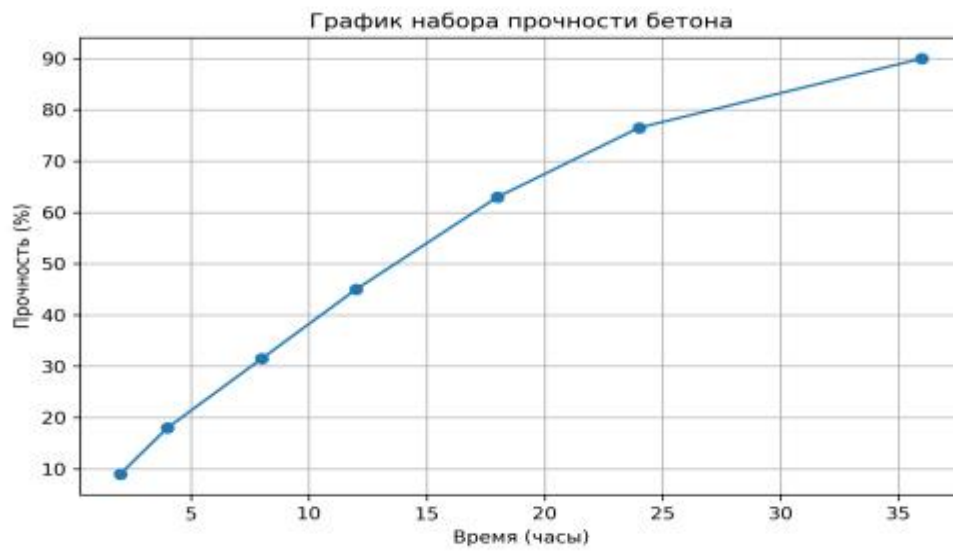
## Отчет расчета электродного прогрева бетона

Тип конструкции: Плита  
Тип электродов: Стержневые  
Класс бетона: В20  
Объем бетона (м<sup>3</sup>): 20.0  
Размеры (м): 5.0 × 2.0 × 2.0  
Температура воздуха: -10.0 °С  
Масса бетона: 48000.0 кг  
Количество теплоты: 2822400.0 кДж  
Мощность: 98000.0 Вт  
Сила тока: 257.89 А  
Время прогрева: 28.8 ч  
Количество электродов: 10 шт  
Шаг электродов: 1.0 м  
Энергопотребление: 2822400.0 Вт·ч

### График температуры

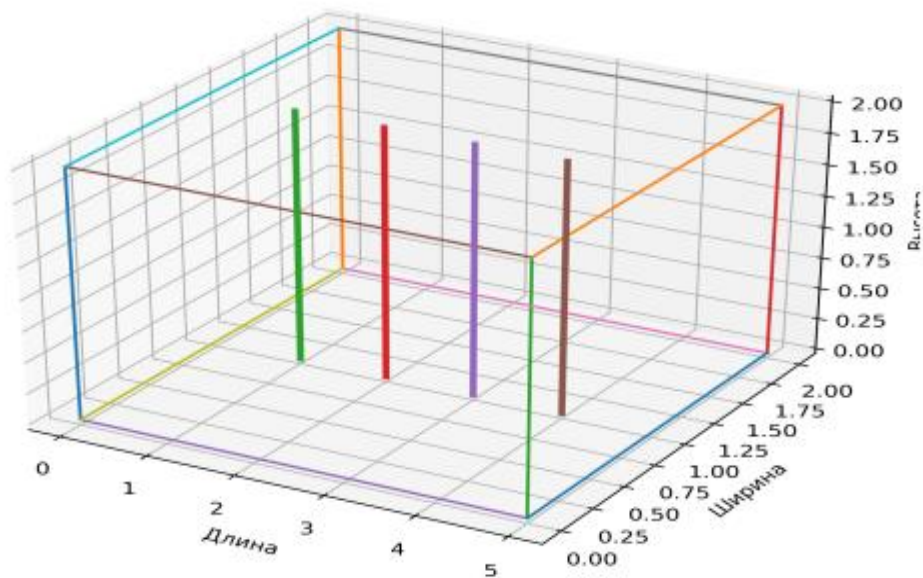


### График прочности



### 3D схема электродов

3D схема электродов



### **Выводы по главе 3**

При помощи разработанного программного обеспечения возможно выполнить ряд автоматизированных расчётов, связанных с электродным прогревом бетонных конструкций, а также осуществить визуализацию полученных результатов. В процессе работы программы реализуются следующие основные функции:

1. Определение основных параметров электродного прогрева бетонной конструкции на основании введённых исходных данных, включая объём и массу бетона, необходимое количество теплоты, мощность системы прогрева, силу тока, продолжительность прогрева и энергопотребление.

2. Подбор параметров размещения электродов, включая определение их количества и шага установки в зависимости от геометрических характеристик бетонной конструкции и условий прогрева.

3. Визуализация температурного режима прогрева бетонной смеси с отображением изменения температуры во времени, что позволяет анализировать динамику теплового воздействия на конструкцию.

4. Построение графика набора прочности бетона, обеспечивающего возможность оценки процесса твердения и изменения прочностных характеристик материала в течение периода прогрева.

5. Формирование трёхмерной схемы расположения электродов внутри бетонной конструкции, позволяющей наглядно анализировать пространственное

размещение нагревательных элементов.

6. Формирование итоговой визуализации результатов расчёта и автоматическое создание TXT- и PDF-отчётов, содержащих расчётные параметры, графики и схемы, необходимые для документирования результатов.

Проведённое тестирование показало корректность работы разработанного программного обеспечения, правильность выполнения расчётов, устойчивость пользовательского интерфейса и работоспособность модулей визуализации и формирования отчётной документации. Использование разработанной программы позволяет повысить удобство выполнения инженерных расчётов, сократить время обработки исходных данных и повысить наглядность анализа параметров электродного прогрева бетонных конструкций.

### **Выводы по диссертации**

На основании проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1. Анализ теории и практики зимнего бетонирования показал, что при возведении пустотных монолитных перекрытий требуется применение управляемых методов тепловой обработки бетона с возможностью регулирования температурного режима.

2. Установлено, что существующие нормативные методики не обеспечивают достаточной точности расчета параметров электродного прогрева при сложной геометрии конструкций и наличии пустот.

3. Показано, что электродный прогрев является наиболее эффективным методом зимнего бетонирования для рассматриваемого типа конструкций,

обеспечивая равномерный прогрев и ускоренный набор прочности бетона.

4. Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать расчет основных параметров электродного прогрева, сократить время инженерных расчетов и снизить вероятность ошибок при проектировании.

5. Использование программного комплекса повышает удобство инженерных расчетов и может быть рекомендовано для применения при проектировании и производстве бетонных работ в зимних условиях на строительных объектах.

Областью применения результатов исследования являются проектные и строительные организации, осуществляющие производство монолитных работ в зимний период, в том числе при возведении зданий с пустотными монолитными перекрытиями.

**Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Международная научно-практическая конференция «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия» стр. 191–193, 16–18 декабря 2024 года, г. Комсомольск-на-Амуре.

2. Всероссийская научно-практическая конференция «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» стр. 436–438, 7-8 октября 2025 года, г. Комсомольск-на-Амуре.