

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Кафедра строительных конструкций и управляемых систем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ С.В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение эффективности строительства дымовых труб

тема

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.14 Промышленное и гражданское строительство

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель/

руководитель _____ канд. техн. наук, доцент каф. СМиТС В.Н. Шапошников
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

_____ Н.В. Привезенов
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент

_____ _____ _____
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Консультанты:

_____ _____ _____
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

_____ _____ _____
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер

_____ _____ _____
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Студенту Привезенову Николаю Валентиновичу
фамилия, имя, отчество

Группа ЗСФ19-01М Направление (специальность) 08.04.01
номер код

Строительство

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Повышение эффективности строительства дымовых труб

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР В.Н. Шапошников канд. техн. наук, доцент каф. СМиТС
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР законодательные и нормативно-правовые акты Российской Федерации, официальные статистические данные, отражающие состояние и динамику развития инвестиционно-строительной сферы, методические материалы министерств и ведомств, материалы периодической печати и научно-практических конференций, данные статистической отчетности строительных предприятий и других субъектов хозяйствования, информационные ресурсы сети Интернет.

Перечень разделов ВКР Введение, 1. Обзор современного состояния вопроса, 2. Оценка влияния замены разделительной стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием, Заключение, Список использованных источников, Приложения

Перечень графического материала 15-20 слайдов делающие полное отображение о ходе и итогах исследования

Руководитель ВКР _____
подпись

В.Н. Шапошников
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению _____
подпись

Н.В. Привезенов
инициалы и фамилия студента

« _____ » _____ 20 ____ г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Повышение эффективности строительства дымовых труб» содержит 94 страницы текстового документа, 10 приложений, 62 информационных источника, 18 листов графического материала.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ ДЫМОВАЯ ТРУБА, МОНОЛИТНАЯ ФУТЕРОВКА, СТЕКЛОТКАНЬ, ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ, ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ, ДЕФЕКТЫ И РАЗРУШЕНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ.

Объектом исследования является эффективность применения стеклоткани с термостойким покрытием в качестве разделительного материала бетона монолитной футеровки и несущего бетона железобетонного ствола при строительстве дымовых труб.

Цель магистерского исследования - выявление целесообразности применения авторской технологии возведения железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой. Суть отличия инновационной технологии от традиционной заключается в замене стальной сетки, служащая разделительным элементом между бетоном монолитной футеровки и несущим бетоном железобетонного ствола дымовой трубы, на стеклоткань с термостойким покрытием. В качестве термостойкого покрытия в работе рассмотрено покрытие типа «Броня».

Задачи исследования: выявить и проанализировать изменения эксплуатационных показателей и срока эксплуатации железобетонных дымовых труб при внедрении авторской технологии.

Научная новизна заключается в том, что: выполнен комплексный научный анализ эффекта от реализации, предложенной автором технологии возведения железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой.

В результате проведенного исследования выявлено влияние внедрения авторской технологии на риски преждевременного выхода из эксплуатации; сроки межремонтной работы; распределение температурных полей и термических напряжений; стабильность теплового режима работы; диффузию газов; химическую защиту несущего железобетона; коррозию; образование и развитие трещин; трудоемкость, материалоемкость и экономику строительства дымовых труб с монолитной футеровкой.

Выполнено обоснование целесообразности и эффективности применения авторской технологии по замене разделительного элемента несущего бетона и бетона футеровки ствола железобетонной дымовой трубы с монолитной футеровкой с стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием. Сделаны предложения по дальнейшему развитию исследования и рекомендации по внедрению в строительство.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Обзор современного состояния вопроса.....	12
1.1. Классификация промышленных дымовых труб.....	14
1.2. Определение технического состояния промышленных дымовых труб	15
1.3. Дефекты и повреждения дымовых труб.....	20
1.4. Причины образования дефектов и разрушений дымовых труб.....	21
1.5. Описание и обоснования применения предлагаемой технологии при строительстве дымовых труб.....	24
Выводы по разделу.....	27
2. Оценка влияния замены разделительной стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием.....	28
2.1. Физико-химические свойства дымовых газов и воздуха.....	28
2.2. Климатические условия.....	32
2.3. Физико-химические свойства материалов конструкции.....	33
2.4. Вычисления температурных полей.....	33
2.5. Оценка изменения распределения температурного поля по толщине железобетонной стенки дымовой трубы.....	35
2.6. Оценка влияния на несущую способность дымовой трубы.....	45
2.7. Оценка экономической эффективности.....	48
Выводы по разделу.....	53
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	57
Приложение А Доли крупнейших компаний электроэнергетики России в генерации электроэнергии.....	63
Приложение Б Общий порядок проведения комплексных обследований дымовых труб.....	64
Приложение В Технические характеристики дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1.....	65
Приложение Г Методики проведения теплотехнических расчетов программного комплекса «СТЕНА».....	69
Приложение Д Описание и технические характеристики керамического теплоизоляционного покрытия серии «Броня».....	72
Приложение Е Результаты расчётов программы «СТЕНА» для существующей дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1.....	74
Приложение Ж Результаты расчётов программы «СТЕНА» для моделируемой дымовой трубы.....	79
Приложение И Сводные данные по расчетам температурных полей.....	84
Приложение К Результаты расчетов площади под устройство слоя из стеклоткани и объема бетона футеровки для конической части дымовой трубы	89
Приложение Л Итоги вычислений затрат на приобретение материалов.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Строительство дымовых труб для большинства европейских стран и России началось в 19 веке, как следствие развития промышленности и строительства заводов [1; 2, с. 4].

Первые дымовые трубы конструктивно были связаны в единое целое с топочным агрегатом и предназначались только для создания естественной тяги, создающей разрежение в топочном агрегате, которое в свою очередь обеспечивало вовлечение необходимого притока воздуха в рабочее пространство печи или топки для улучшения горения топлива [3]. Требуемое разрежение создавалось путем подбора диаметра и высоты дымовой трубы [2, с. 4]

С ростом объемов производства, усложнением технологической цепочки отведения продуктов сгорания топлива (совершенствование конструкций котельных установок, применение газоочистных устройств, водяных экономайзеров и воздухоподогревателей) и в целях повышения эффективности сжигания значительного количества топлива, стала применяться конструкция отдельно стоящих труб с применением вентиляторов-дымососов, создающих принудительную тягу. Таким образом, высота труб, создающая необходимое разрежение в топках котлоагрегатов с принудительной тягой, стала не принципиальной [3].

Первоначально высота дымовых труб определялась типом промышленного завода, топографией, направлением ветра и другими параметрами. Поэтому высоты дымовых труб варьировались от нескольких метров до ста метров, и больше [1]. Далее она стала определяться способностью эвакуации топочных газов, в том числе содержащихся в них вредных примесей в верхние слои атмосферы. Данные мероприятия необходимы для рассеивания продуктов сгорания топлива над большей территорией - снижения предельно допустимых концентрации вредных веществ в приземных слоях атмосферы, что является очень важным фактором для качества и продолжительности жизни населения [3].

В нашей стране долгие годы определяющими факторами строительства были высокие темпы строительства и снижение его стоимости, оставляя без должного внимания вопрос повышения сроков эксплуатации и безремонтной работы. Ситуация ухудшилась с распадом СССР, в результате которого в десятки раз сократилось промышленное производство в стране, большинство предприятий было разграблено и приватизировано. Новые собственники, не заботясь о безопасности производства, которое напрямую зависит от технического состояния эксплуатируемого оборудования, в погоне за прибылью, стали нарушать технологию производства, сюда же относятся и модернизация, которая проводилась без учёта технологии производства и аспектов работы оборудования. Например, значительное сокращение потребления электроэнергии промышленными предприятиями и перевод основного котельного оборудования тепловых электростанций на газовое

топливо (вместо проектного угля и мазута) кардинально изменили режим работы дымовых, что послужило причиной многим авариям [2, с. 3; 4].

Несмотря на экономический кризис, продолжающийся с 2008 года и внешнюю политику руководства страны, которые привели к обострению ситуации и финансовому упадку в нашей стране, по мнению представителей крупного, среднего и малого бизнесов, создаются благоприятные условия для ведения бизнеса [5]. Так, например, за последние 15 лет, к 2020 году построены и введены в эксплуатацию: Егорлыкская ГЭС-2 в Ставропольском крае – 14,2 МВт, Усть-Среднеканская ГЭС в Магаданской области – 168 МВт, Зарамагские ГЭС – 356 МВт, Нижне-Бурейская ГЭС - 320 МВт, Сахалинская ГРЭС-2 – 120 МВт, ТЭЦ в г. Советская Гавань – 126 МВт, ТЭЦ «Восточная» в г. Владивостоке – 139,5 МВт, Якутская ГРЭС-2 – 193 МВт; проведены ремонтные и восстановительные работы на Богучанской ГЭС – 3000 МВт, Ирганайской ГЭС, Гоцатлинской ГЭС, Зеленчукской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС – 1920 МВт, Баксанской ГЭС, Жигулевской ГЭС; Волжской ГЭС, Саратовской ГЭС, Новосибирской, Чебоксарской ГЭС [6]. И это данные только по одной генерирующей компании России – ПАО «РусГидро», с установленной мощностью 39,4 ГВт, что составляет порядка 16% от общей электрической мощности в России. Распределение между крупнейшими электроэнергетическими компаниями России по установленной мощности и объему выработки электроэнергии представлено в приложении А [7].

Также о незначительном экономическом росте свидетельствуют статистические данные, согласно которым возросло фактическое потребление электроэнергии за счет увеличения потребления электроэнергии промышленными предприятиями металлургической и деревообрабатывающей промышленностями, объектами нефте-газопроводного и железнодорожного транспорта. Другими словами развиваются сферы деятельности, способствующие разработке и экспорту полезных ископаемых из нашей страны за рубеж [8].

В настоящее время основу генерации энергетической мощности Российской Федерации составляют тепловые электростанции, процент которых от общей установленной мощности более 68% [9, с. 4]. Для отвода образующихся продуктов сгорания топлива необходим комплекс отведения дымовых газов, включающий в себя систему очистки, транспортировочную сеть в виде газоходов и дымовую трубу. Причем, тепловые электростанции не единственные предприятия, которые требуют устройства дымовых труб. Так, например, их устройство необходимо для работы атомных электростанций (для вывода радиоактивных инертных газов, которые не улавливаются фильтрами) [10], составляющих 10,7% в структуре генерирующих мощностей электростанций России [9, с. 4]. Также их сооружение необходимо для всех видов производств, в основе которых лежат высокотемпературные процессы (металлургическое, нефтехимическое, химическое, производство строительных материалов и некоторых видов изделий). Таким образом, почти 80%

электростанций и львиная доля производственных предприятий, для осуществления производственного цикла требуют наличия дымовых труб.

Согласно представленному анализу [9, с. 16-17] более 60% основного оборудования электростанций, работающих на жидком и твёрдом топливе, характеризуются высоким физическим износом, а продолжительность его эксплуатации составляет более 35 лет. И более 53% работающих на них железобетонных монолитных труб по состоянию на 2020 год выработали свой нормативный срок эксплуатации в 50 лет [11, с. 16-17].

При этом относительно недавние изменения нормативно-правовой документации предполагают применение при проектировании и строительстве самых современных технологий из доступных [9, с. V].

С учётом важности наличия дымовой трубы для осуществления непрерывного технологического цикла, и ограничения рекомендуемого срока эксплуатации, позволяющего безопасно эксплуатировать дымовую трубу, в 50 лет [4, 12], а также принимая во внимание анализ и прогноз развития мирового энергопотребления к 2040 году [13, с. 23-24; 14], тематика интенсификации сроков строительства, снижения затрат на само строительство и затрат на проведение капитального ремонта, а также увеличение сроков эксплуатации и межремонтных сроков остается актуальной. Рассматривая данную тему следует принимать во внимание не только инновации в сфере применения современных строительных материалов, но и совершенствования конфигураций [15, 16] и самих строительных технологий [17, 18].

Цели и постановка задач исследования:

Исследование в данной работе нацелено на выявление целесообразности изменения технологии возведения железобетонных дымовых труб в части замены стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием, в качестве разделительного элемента бетона футеровки и тяжелого бетона железобетонного ствола дымовой трубы. В настоящее время для сокращения времени строительства дымовых труб с монолитной футеровкой, как для строительства методом подъемно-переставной опалубки (дымовая труба на Красноярской ТЭЦ-1, дата ввода в эксплуатацию 26.10.2020 г.), так и для строительства методом скользящей опалубки (дымовая труба на Сахалинской ГРЭС-2, дата ввода в эксплуатацию 25 ноября 2020 г.) – используется металлическая сетка с мелкой ячейкой. Данная сетка служит разделительным и упрочнительным элементом между основным бетоном и бетоном футеровки при практически одновременной укладке бетонной смеси футеровки и бетона несущего ствола дымовой трубы.

Достижение поставленной цели работы предопределило постановку и решение следующих задач: выявить изменения эксплуатационных показателей железобетонных дымовых труб при замене сетки из стали на стеклоткань с термостойким покрытием в качестве разделительного элемента бетона футеровки и тяжелого бетона железобетонного ствола дымовой трубы; проанализировать данные изменения и обосновать целесообразность изменения

технологии возведения дымовых труб в части замены разделительного элемента на стеклоткань с термостойким покрытием.

Автор работы полагает, что замена стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием может способствовать снижению теплопроводности от бетона футеровки к бетону ствола дымовой трубы, увеличению защиты бетона ствола дымовой трубы от агрессивных сред, увеличению прочности бетона и как следствие увеличению долговечности конструкции.

Объект исследования: эффективность применения стеклоткани с термостойким покрытием в качестве разделительного материала бетона монолитной футеровки и тяжелого бетона железобетонного ствола при строительстве дымовых труб.

Предмет исследования: изменения эксплуатационных характеристик и срока эксплуатации дымовой трубы при внедрении авторской технологии на примере оценки изменения распределения температурного поля по толщине железобетонной стенки дымовой трубы.

Научная новизна: Выполнен комплексный научный анализ эффекта от реализации, предложенной автором технологии возведения промышленных железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой.

Суть отличия инновационной технологии от традиционной заключается в замене стальной сетки, которая служит разделительным элементом между бетоном монолитной футеровки и несущим бетоном железобетонного ствола дымовой трубы, на стеклоткань с термостойким покрытием. В качестве термостойкого покрытия в работе выбрано покрытие типа «Броня».

Научно-практическая значимость:

- результаты могут использоваться при проектировании дымовых труб в целях снижения трудоёмкости работ, повышения организации строительного производства, сокращения сроков и затрат на строительство, увеличения долговечности конструкций дымовых труб;

- выводы и результаты работы могут применяться в качестве материала для изучения недостатков при строительстве дымовых труб;

- материалы и обобщения, содержащиеся в диссертации, могут оказаться полезны для более глубокого исследования вопроса применения стеклоткани, в качестве разделительного элемента бетона футеровки и основного бетона железобетонной стенки ствола дымовой трубы. Например, работа открывает новые направления в исследовании, такие как увеличение прочности бетона за счет применения стеклоткани с утком (поперечные волокна ткани) из углеволокна.

- итоги работы могут служить основой более детального экономического анализа эффективности предлагаемой технологии;

- результаты могут быть применены для дальнейшего изучения и последующего внедрения указанной в работе технологии в строительство дымовых труб, как со схожими эксплуатационными характеристиками, так и для дымовых труб, работающих с более агрессивными дымовыми газами.

Краткое описание и структура работы:

Структура диссертационной работы отвечает основной цели и предмету исследования и включает в себя: введение, две основные главы, включая выводы по исследованию, библиографический список и приложения.

Во введении представлена краткая историческая справка по развитию строительства дымовых труб, сформулированы цели и задачи исследовательской работы, выделены научная новизна и научно-практическая значимость работы, приведено краткое описание и структура диссертации.

В первой главе работы представлены общие данные о классификации дымовых труб, порядке и последовательности определения их технического состояния, причинах образования дефектов и разрушений. Указаны основные методики строительства дымовых труб.

Показана важность выполнения расчётов температурно-влажностного режима эксплуатации дымовой трубы, а также оценка возможности появления различных видов дефектов и разрушений, в случае отклонения от проектного режима эксплуатации.

Представлено описание и сделаны теоретические обоснования применения предлагаемой технологии при строительстве промышленных дымовых труб. Сформулированы основные цели и задачи исследовательской работы.

Во второй главе сделаны предварительные расчёты и определены необходимые параметры для осуществления теплотехнического расчёта (объем, состав и физико-химические свойства дымовых газов и воздуха при рабочих температурах котельного оборудования, характерные параметры наружного воздуха для климатического района строительства, физико-химические свойства материалов и геометрия конструкции).

Выполнен вычислительный эксперимент и представлена оценка результатов сравнительного анализа распределения температурных полей по внутренней стенке дымовой трубы на всей ее высоте для четырех режимов работы двух дымовых труб.

В качестве рассматриваемых дымовых труб взяты: существующая дымовая труба на Красноярской ТЭЦ-1 и моделируемая дымовая труба. Моделируемая дымовая труба отличается от существующей уменьшенной толщиной монолитной футеровки и замененной стальной сеткой на стеклоткань с термостойким покрытием.

Приведены методика и алгоритм проведения выполненных расчетов. Выполнено подтверждение снижения теплопроводности футеровки дымовой трубы при использовании стеклоткани с термостойким покрытием.

По результатам теплотехнических расчётов построены графики зависимостей распределения температурных полей по толщине и высоте дымовой трубы с учётом различности режимов эксплуатации в разные периоды года и колебаний нагрузок.

Также сделаны выводы по влиянию впервые предложенной технологии на эксплуатационные характеристики и жизненный цикл сооружения, а именно:

- увеличение долговечности конструкции дымовой трубы за счёт ликвидации возможных разрушений при нарушении режимов эксплуатации дымовой трубы и коррозии на границе футеровка-несущий бетон, а также становления более эффективного теплового режима работы дымовой трубы;

- увеличения защиты бетона ствола дымовой трубы от воздействия агрессивной среды за счёт высоких показателей химической стойкости волокон стеклоткани и термостойкого покрытия, а также низкого коэффициента паропроницаемости термостойкого покрытия;

- повышения несущей способности за счёт минимизации термических напряжений, приводящих к образованию трещин, и свойств стеклоткани;

Проведена оценка экономического эффекта замены стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием.

В заключении работы сделаны выводы по проделанной работе и предложения по дальнейшему направлению исследования.

В списке использованных источников указаны библиографические ссылки на 62 информационных источника, использованных при написании работы.

1. Обзор современного состояния вопроса

Строительство промышленных дымовых труб ведется уже более трех веков [1] и имеет различные направления в развитии, как в применении инновационных материалов [2] и конфигураций [15, 16, 19], так и самих строительных технологий [17, 18]. Несмотря на достаточную изученность вопросов, касаемых технологии возведения промышленных дымовых труб, для каждого типа дымовых труб [2, 20, 21] с учетом постоянно меняющейся технологии производственного цикла, в которой участвует дымовая труба, изменяются и требования к дымовым трубам.

Так, например, согласно данным [9, с. 19; 22, с. 3] развитие тепловых электростанций, являющихся одним из промышленных предприятий, которые не могут нормально функционировать без дымовой трубы, направлено на уменьшение загрязнения атмосферы и организацию эффективного низкотемпературного сжигания различных видов топлива. В частности на изменение самого подхода к процессам сжигания топлива (сжигание различных видов биомассы в котлах с кипящим слоем, сжигание топлива в связанных между собой аппаратах с кипящим слоем и циркулирующим кипящим слоем, сжигание топлива в циркулирующем кипящем слое), таким образом сочетаются выработка тепла и электроэнергии, снижение вредных выбросов, в том числе CO_2 с получением полезных продуктов (синтетических газов, смол, моторного топлива) [22].

Изменение установленной мощности предприятия, переход на другой вид топлива или иная причина изменения объемов отводимых газов или температурно-влажностного режима работы котлоагрегатов влекут нарушение проектного режима работы дымовой трубы, как следствие, могут появляться различные дефекты в конструкциях дымовой трубы. Так как они эксплуатируются при воздействии постоянно меняющихся динамических и статических нагрузок возникают переменные критические напряжения, которые вызывают деформации, образование трещин, нарушение целостности и другие дефекты. Как следствие возрастает аварийность сооружений промышленных дымовых труб, большинство из которых уже исчерпали, заложенный проектом ресурс в пятьдесят лет [23].

Анализ аварий и катастроф, связанных с обрушением дымовых труб [23], показал, что главными причинами возникновения дефектов и, в конечном счёте, разрушений конструкций дымовых труб служат следующие причины:

- отклонение от проектного режима эксплуатации;
- отсутствие должного и своевременного контроля состояния конструкций;
- несвоевременное устранение выявленных дефектов;
- эксплуатация в аварийном состоянии.

Основной механизм разрушения конструкции при эксплуатации промышленных дымовых труб связан с разрушением защитной футеровки, в частности ее отслоение [24]. После чего создаются непроектные условия

работы внутренней поверхности несущего бетона ствола дымовой трубы, которая не подготовлена к контакту с отходящими газами. В результате воздействия, которых на несущий ствол дымовой трубы приводит к образованию:

- критических температурных полей, вызывающих напряжения сжатия и растяжения, способствующих образованию и развитию трещин;
- коррозии арматуры, за счёт которой происходит увеличение объема и разрушение несущего бетона;
- процессов карбонизации и сульфатации кальция в несущем бетоне, что нарушает его структуру и изменяет плотность, вызывая асимметрию массы относительно оси дымовой трубы [23];

В конечном итоге данные воздействия приводят к значительному снижению срока эксплуатации промышленной дымовой трубы и преждевременному разрушению.

По мнению большинства специалистов, в том числе и из числа руководства ФС РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору [3], дымовые промышленные трубы должны являться объектами особого внимания надзорных органов в связи с особыми условиями их эксплуатации. Главное требование к промышленным дымовым трубам — устойчивость несущего ствола к атмосферным воздействиям, включая ветровую нагрузку, и устойчивость футеровки к агрессивному воздействию дымовых газов.

Подводя итоги - режим эксплуатации дымовой трубы, важным составляющим которого является температурно-влажностный режим работы, во многом определяет выбор типа и конструкции промышленной дымовой трубы. Наряду с температурно-влажностным режимом работы, при учёте климатических особенностей района строительства, в том числе по ветровым нагрузкам, а также пользуясь принципом внедрения современных технологий, производят подбор материалов для несущих и ограждающих конструкций дымовой трубы.

Изучение вопроса распределения температуры по толщине стенки промышленной дымовой трубы на всей её высоте является очень важным и обязательным этапом проектирования. Так как позволяет более детально отразить работу конструкции в заданных параметрах работы, а также предсказать возможные причины возникновения разного рода дефектов и разрушений, более грамотно подобрать современные материалы для создания необходимого запаса прочности для преодоления разрушающих нагрузок, возникающих при отклонении от проектного режима работы дымовой трубы. Более того, необходимо проводить детальный сравнительный анализ не только по режимам работы конструкции в зависимости от режима работы основного котельного оборудования и времени года, но и учитывать возможность применения различных видов конструкций, технологий возведения, материалов и экономии затрат на строительство.

С учётом широкого различия производств, постоянно меняющейся технологии производства и необходимостью строительства замещающих,

отработавших свой срок дымовых труб, вопрос изучения температурных полей, позволяющий прогнозировать возникновение термических напряжений, наряду с применением современных материалов остается актуальным до настоящего времени.

1.1. Классификация промышленных дымовых труб

В соответствии с классификацией Госгортехнадзора РФ основные типы промышленных дымовых труб описаны в таблице 1.1 [25].

Таблица 1.1 – Описание основных типов промышленных дымовых труб

Тип дымовой трубы	Особенности конструкций
Железобетонные	кирпичная футеровка, с возможной частичной теплоизоляцией или воздушным неветилируемым зазором
	кирпичная футеровка с минераловатной тепловой изоляцией, прижимной стенкой;
	кирпичная кислотостойкая футеровка с теплоизоляцией из минеральной ваты, прижимной стенкой и неветилируемым зазором;
	футеровка из монолитного полимерного бетона;
	с вентзазором несущего ствола и футеровки;
	с отдельными внутренними стальными газоотводящими стволами и наружной теплоизоляцией;
	с отдельными внутренними газоотводящими стволами из композитных материалов
Сборные из специального вида бетона	
Кирпичные	кирпичная футеровка и дополнительная теплоизоляция в нижней части конструкции;
	кирпичная футеровка и дополнительная теплоизоляция в нижней части конструкции, неветилируемый воздушный зазор;
	кирпичная кислотостойкая футеровка и дополнительная теплоизоляцией по всей высоте конструкции;
Металлические	самонесущие;
	самонесущие с внутренним отдельным газоотводящим стволом;
	с несущей металлической башней;
	многоствольные с центральной несущей решетчатой металлической башней;
Композитные	стеклопластиковые, сборные, на болтовом соединении;
	углестеклопластиковые, сборные, на болтовом соединении;
	стеклофаолитовые и фаолитовые, сборные, на болтовом соединении;

1.2. Определение технического состояния промышленных дымовых труб

Повреждение конструкции дымовой трубы бывает неочевидным, ввиду того, что доступ к поврежденным участкам может быть затруднен или повреждение может быть незаметным до тех пор, пока оно не станет серьезным. Пренебрежение техническим обслуживанием может привести к необходимости дорогостоящего аварийного ремонта и даже может привести к разрушению конструкции.

Обследование состояния промышленных дымовых труб проводят с целью установления технического состояния конструкций, является составной частью экспертизы промышленной безопасности и в соответствии с требованиями Госгортехнадзора РФ должно осуществляться специализированными организациями [25].

Цель обследования дымовых труб – своевременное выявление дефектов и повреждений, влияющих на безопасность дальнейшей эксплуатации, причин их появления; определение локализации, для разработки мероприятий по устранению дефектов/повреждений и для обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности.

Обследования подразделяются на периодические, внеплановые и плановые [25]. Обследования реализовывают в соответствии с требованиями таблицы 1.2.

Таблица 1.2 – Требования к осуществлению обследований дымовых труб

Обследование	Частота выполнения или условия выполнения
1	2
Плановые (с выполнением требований полной комплексной программы)	спустя год эксплуатации
	раз в пять лет
Внеплановые (состав работ зависит от задач исследования)	наличие сквозных повреждений внутренних газоотводящих стволов или намокание стволов с внутренней стороны;
	повреждения кладки ствола в сторону внутренней поверхности свыше 15% толщины стены на 1/8 и более периметра ствола;
	повреждения защитного слоя бетона ствола дымовой трубы с наличием деформаций вертикальных стержней арматуры свыше 30 мм на участке в один метр по окружности;
	наличие трещин раскрытие, которых свыше 5 мм, разрушение защитного слоя бетона с его отслоением на участке свыше 10% отдельной взятой секции бетонирования;
	наличие крена дымовой трубы сверх допустимого значения;
	после критических отклонений от проектного режима эксплуатации (газовый "хлопок", существенный прирост температуры дымовых газов и других);
	наличие значительных повреждений кирпичного оголовка; фрагментарное разрушении стен железобетонного ствола дымовой трубы на участке свыше 1 м ² ;

Окончание таблицы 1.2

1	2
	наличие разрушений футеровки, сопровождающееся её обвалом;
	разрушение разделительной стенки;
	наличие повторяющихся процессов намокания/обледенения внешней поверхности ствола дымовой трубы;
	наличие прогаров в металлической стене трубы;
	до процесса консервации дымовой трубы;
	перед пуском после расконсервации дымовой трубы;
	для выявления потребности в реконструкции;
	в случае потребности наличия заключения технического состояния
Периодически (состав работ зависит от задач исследования)	осмотр конструкций, в том числе инструментальный, изучение проектной, технологической и исполнительной документации
	состав работ по неполной комплексной программе без проведения замеров параметров дымовых газов и без осмотра внутренней поверхности дымовой трубы

Общий порядок проведения комплексных обследований представлен в приложении Б [25, 26].

На начальном этапе, организация, осуществляющая обследование анализирует имеющуюся документацию (проектную, исполнительную, эксплуатационную, материалы предыдущих осмотров и обследований), а также проводят визуальный осмотр конструкций трубы, с использованием технических средств – до подъема людей на трубу.

Также до подъема людей на трубу определяется отклонение от вертикали [26]. Отклонения определяют с применением геодезических методов: отдельных направлений; координатного; вертикального проектирования; проецирования; направления с одного пункта; зенитных расстояний; малых углов; высокоточного нивелирования; стереофотограмметрического [25, 27]. Для определения крена рекомендуется [26] использовать первые четыре способа.

При выявлении в ходе обследования крена или осадки, значения которых превосходят допустимые пределы – осуществляют обследование фундамента и проводят исследование характеристик грунтов основания трубы.

Раз в пятилетие, или в случае потребности производят обследование с помощью тепловизора, которое позволяет выявить сложно обнаружимые дефекты, такие как мелкие трещины или локальные повреждения в футеровке.

Потребность проведения тепловизионного осмотра появляется в следующих случаях:

- превышение проектной температуры поверхности оболочки трубы;
- существенное снижение температуры дымовых газов ниже проектного значения;
- появление влаги на внешней поверхности ствола дымовой трубы;
- установление действительного технического состояния конструкций;
- несоответствие вентиляционной системы, установленным проектом, параметрам для дымовых труб с противодавлением;

- выполнение строительно-монтажных работ по конструкциям ствола дымовой трубы.

Только после выполнения осмотра конструкций с земли и при помощи технических средств по требованию Госгортехнадзора [25] приступают к осмотру всех элементов дымовой трубы с осуществлением подъема на саму конструкцию, как с применением специальных технических средств, так и при помощи стационарных конструкций. В ходе проводимого осмотра производится полная диагностика состояния несущих конструкций дымовой трубы, по результатам которой оформляется карта дефектов, содержащая в себе помимо подробного описания всех обнаруженных дефектов их точное месторасположение относительно конструкций дымовой трубы. Также в карте дается подробная оценка состояния всех типов конструкций дымовой трубы. Описание основных типов и характеристик встречающихся дефектов для разных видов промышленных дымовых труб представлено в действующей нормативно-технической документации.

Одновременно с осмотром несущих конструкций дымовой трубы проводят осмотр металлических конструкций. Который включает:

- внешний осмотр несущих элементов;
- проверку неразрушающим контролем, с обязательным контролем дефектов выявленных внешним осмотром (ультразвуковая толщинометрия, ультразвуковая дефектоскопия, цветная дефектоскопия);
- проверку качества соединений элементов (сварные, болтовые, шарнирные соединения), в том числе усилия затяжки болтов;
- замеры остаточных деформаций оболочек, стоек, балок и отдельных поврежденных элементов;
- анализ уровня коррозии металла;
- состояние антикоррозионного покрытия.

Следующим этапом обследования является внутренний осмотр, заключающийся в обследовании футеровки и газоотводящего ствола трубы. При отсутствии технологической возможности остановки производственных процессов, задействующих дымовую трубу, диагностика футеровки осуществляется при действующем оборудовании с применением специализированного диагностического комплекса [23, 25].

На полностью отключенной дымовой трубе диагностика внутренней поверхности производится с применением специальной оснастки. Осуществление контроля начинается с оголовка дымовой трубы, опускаясь к основанию трубы, для обеспечения безопасности нахождения персонала и производства работ по демонтажу методом сброса вниз отслаивающихся или нависающих участков футеровки дымовой трубы.

Контроль состояния внешней поверхности внутренних газоотводящих стволов проводят с внутренних конструкций и перекрытий. Осуществляется оценка состояния внутренней поверхности несущего ствола; рабочих швов секций бетонирования; конструкций самих газоотводящих стволов; стыков;

упоров; компенсаторов; сварных швов; перекрытий; уровень коррозии металла лестниц и площадок.

При проведении обследований промышленных дымовых труб в комплекс работ также включают дополнительные работы, прописанные в инструкции по эксплуатации, которая составляется исходя из технологических и конструктивных особенностей, а также с учётом среды работы дымовой трубы.

Выбор методик осуществления контроля, в том числе определение мест и количество замеров зависят от результатов внешнего осмотра конструкций, срока и характера эксплуатации и прописываются в программе проведения обследований. Взятие кернов и других проб материалов проводится не менее чем на трех разных высотных участках. Все проводимые испытания осуществляются и оформляются в соответствии с требованиями действующих нормативных актов.

Определение параметров дымовых газов (температура, влажность, зольность, содержание кислотных соединений, аэродинамические показатели) осуществляется в предусмотренных проектом точках (специальные проемы под оборудования контроля состояния уходящих газов; заделанные по окончанию строительства аварийные выходы; места взятия кернов, люки газоходов). По результатам замеров оформляются режимные карты работы дымовой трубы.

При выявлении в ходе проведения обследования дефектов, разрушений, деформаций, которые создают опасность обрушения конструкции экспертная организация, проводившая обследование, незамедлительно и в письменной форме уведомляет представителей Заказчика и федерального органа исполнительной власти – Федерального горного и промышленного надзора России [25].

Результаты всех проведенных замеров и обследований, также как карта расположения выявленных дефектов, являются приложениями к акту технического обследования дымовой трубы, который после проведения обследования подписывается экспертной организацией, осуществлявшей проведение обследования, и передается Заказчику [25, 26]. Также Заказчику направляется технический отчет, содержащий общую оценку технического состояния конструкций и рекомендации по проведению восстановительных работ и эксплуатации дымовой трубы [26].

Работы по техническому обслуживанию труб, требующиеся для сохранения их работоспособного состояния в условиях фактического производственного процесса также являются и периодические обследования. Они служат для выявления различного рода разрушений и дефектов, а также своевременного их устранения.

Периодические обследования могут включать разные по типу и периодичности обследования:

– мониторинг осадки и крена дымовых труб необходимо осуществлять геодезическими способами с применением приборов, внесенных в национальный реестр соответствия средств измерений и осуществляться дважды в год первые два года эксплуатации; при достижении стабилизации

(осадка составляет менее одного миллиметра в год) контроль выполняется раз в год в течении двух лет и далее раз в пять лет;

Показатели определения крена и осадок оформляют в виде исполнительной геодезической схемы и прикрепляют к паспорту дымовой трубы.

В соответствии с требованиями правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб [26] предельно-допустимые отклонения вертикальной оси ствола дымовой трубы на уровне верхнего среза должно быть меньше, мм:

250	при высоте трубы	30 м
350		40
450		60
550		80
650		100
700		120-300

Отклонения оси монолитных железобетонных труб от вертикали должны быть в пределах [28]:

0,002 от высоты (но менее 150 мм) при высоте трубы до 100 м ;

0,0015 (но менее 200 мм) при высоте трубы свыше 100 м .

– ежегодный осмотр, после завершения зимнего периода. Включает в себя внешний осмотр и инструментальный контроль сопротивления контура заземления молниезащиты, осмотр межтрубной зоны и внутренней поверхности несущего ствола для дымовых труб с отдельными газоотводящими стволами.

– ночной ежегодный осмотр стальных труб, включающий в себя внешний осмотр наружной поверхности с назначением выявления прогаров кожуха.

– обследование конструкций и соединений молниезащиты дымовой трубы осуществляется каждые пять лет или при значении сопротивления контура заземления молниезащиты свыше пятидесяти Ом.

– ежедневный осмотр работы заградительных огней при их включении;

– внеплановый осмотр, при остановке дымовой трубы для ремонта котельного оборудования, включающий в себя осмотр состояния внутренней поверхности ствола дымовой трубы без осуществления подъема, но с использованием осветительной техники и оптических средств.

Плановые обследования промышленных дымовых труб проводятся по полной комплексной программе в случае отсутствия выявления дефектов, повреждений и разрушений при наружных осмотрах. Период выполнения плановых обследований для сборных железобетонных и металлических труб – десять лет; кирпичных – двадцать лет; железобетонных - пятнадцать лет; с отдельными стволами в шахте – пять лет [26].

Внеплановый осмотр осуществляется при повреждениях, вызванных природными катаклизмами или аварией на производстве.

1.3. Дефекты и повреждения дымовых труб

Промышленные дымовые трубы по их техническому состоянию оцениваются в зависимости от наличия и характера дефектов и повреждений. Устанавливаются следующие типы технического состояния:

- исправное – когда все элементы конструкции трубы полностью отвечают указаниям проектной и нормативно-технической документации;
- работоспособное – когда существуют незначительные отклонения от указаний проектной и нормативно-технической документации, при этом отсутствует угроза нарушения технологических процессов работы предприятия и гарантирована безопасная эксплуатация дымовой трубы;
- ограниченно работоспособное – когда допустимо эксплуатировать дымовую трубу с точным соблюдением установленных пределов по нагрузкам и выполнением комплекса восстановительных работ по ликвидации обнаруженных повреждений и дефектов;
- неработоспособное – состояние, при котором создается угроза утраты несущей способности дымовой трубы или её отдельных элементов. Последующая эксплуатация дымовой трубы не допустима;
- предельное состояние – полное отсутствие возможности последующего восстановления и эксплуатации [25, 26].

Дефекты промышленных дымовых труб – это несоответствия качества, размеров, формы материалов из которых состоит дымовая труба или отдельных конструктивных элементов, указаниям в проектной, рабочей или нормативной документации. Такие несоответствия могут появиться при выполнении строительно-монтажных работ, производстве отдельных конструктивных элементов или на стадии подготовки проектной документации. Делятся дефекты на два вида скрытые (обнаружение которых затруднительно без применения специальных средств) и видимые (обнаружимые невооруженным глазом). Обнаруженные при проведении обследования дымовой трубы дефекты указывают в карте дефектов, при этом маркировка и изображения дефектов выполняются в строгом соответствии с указаниями нормативно-технической документации.

Несоответствие формы, качества или размеров дымовой трубы, которые образовались в процессе эксплуатации, указаниям проектной или нормативно-технической документации называют повреждениями.

Маркировка и подробное описание главных типов повреждений и дефектов изложены в Постановлении Госгортехнадзора РФ от 18.06.2003 №95 [25].

В зависимости от влияния различного рода несоответствия на надежность дымовых труб выделяют нижеуказанные категории опасности:

- "А" – несоответствия данной категории несут опасность полной деструкции главных несущих конструкций;
- "Б" – несоответствия данной категории не несут опасности разрушения дымовой трубы, однако их дальнейшее развитие может спровоцировать выход

из строя других элементов конструкции и создать угрозу несущей способности конструкции;

- "В" - несоответствия данной категории носят изолированный характер и при дальнейшем прогрессировании не создадут угрозу воздействия на главные несущие конструкции дымовой трубы.

Несоответствия категории «В» и определенные дефекты категории «Б» могут быть ликвидированы по документации, которую разработала непосредственно эксплуатирующая организация. Несоответствия категорий «А» и «Б», которые при прогрессировании могут создать угрозу несущей способности конструкции дымовой трубы, необходимо устранять исключительно по указаниям проектной, согласованной Госгортехнадзором России [25].

1.4. Причины образования дефектов и разрушений дымовых труб

Повреждения и разрушения конструкций труб происходят в результате несоответствий условий эксплуатации проектным решениям и являются следствием следующих основных воздействий:

- механических [25, 26];
- химических [25, 26];
- комбинированных [25].

Механические воздействия

К механическим воздействиям относят силовые и температурно-влажностные воздействия, которые могут быть вызваны как воздействием природных сил (стихийные бедствия, удар молнии, и тому подобное), так и иметь техногенный характер, обусловленный резким изменением проектного режима эксплуатации (взрыв газо-воздушной смеси в зоне розжига, возгорания и тому подобное).

К механическим факторам также относятся истирание (абразивное разрушение поверхности бетона за счет постоянного воздействия твердых частиц) и эрозия (разрушения вызванные ветром, водой, обледенением и сопровождающаяся сносом материала с поверхности бетона и оголением заполнителя).

Силовые воздействия вызывают разрушения, которые появляются в виде локальных дефектов (трещин, сколов, деформаций арматуры и тому подобное) и больших смещений элементов конструкции (искривление несущего ствола, деформации металлоконструкций и тому подобное).

Температурно-влажностные воздействия вызывают разрушения, которые определяются возникновением закономерной последовательности горизонтальных и вертикальных трещин, отслоением футеровки, появление конденсата, в том числе на наружной поверхности дымовой трубы и его замерзание в зимний период с видимым оледенением.

.Самые восприимчивые участки дымовой трубы к влиянию температурно-влажностных воздействий являются оголовки и пояса «точки росы».

Вершина дымовой трубы, называют её оголовком, нуждается в особой защите, т.к. работает на стыке двух различных воздействий. С одной стороны воздействие охлажденных дымовых газов, которые конденсируясь, приводят к попеременному замораживанию/оттаиванию и эрозии бетона. С другой стороны воздействие атмосферных осадков на футеровку и окутывание оголовка дымовой трубы [26, 16].

Современная тенденция по существенному понижению температуры дымовых газов за счет утилизации тепла и ужесточению стандартов в области экологии привела к потребности инсталляции оборудования по созданию положительного давления. За счёт создания, которого многократно увеличивается фильтрация конденсата через стенку дымовой трубы, провоцирующая процессы выветривания, выщелачивания и кристаллизации солей [26].

Химические воздействия

С точки зрения химии бетон - щелочная композиция со значением водородного показателя рН 11-12. Такой уровень водородного показателя в бетоне обусловлен наличием свободной извести и гидроксидов щелочных металлов. Гашённая известь является второстепенным продуктом, образующимся в процессе гидратации силикатов и алюмосиликатов цемента при твердении бетона. Он частично растворим в воде (около 1,3 г/л), но если через бетонную стенку трубы будет постоянно фильтроваться вода, процесс растворения и выведения свободной извести заметно возрастает, что провоцирует постепенное разрушение цементного камня и снижение механических свойств бетона.

За счет капиллярно-пористой структуре и щелочному характеру бетона наиболее опасными являются агрессивные среды на основе кислотных оксидов: растворы кислот; газы кислотных оксидов; растворимые соли; дистиллированная вода.

Кислые растворы разрушают плотную пленку карбоната кальция на поверхности бетона, которая является следствием карбонизации свободной извести. Разрушение этой пленки способствует проникновению кислот во внутренние поры бетона.

Активный оксид кальция, находящийся в бетоне вступает в реакцию с кислотами, образуя соли этих кислот. Как следствие химическое равновесие сдвигается, провоцируя повышение сольволиза водой гидроалюминатов и гидросиликатов кальция. Гидролиз увеличивает объем извести, и вышеуказанный процесс повторяется, что ведет к значительной трансформации структуры цементного камня. Природа подобного разрушения бетона свойственна кислотам, которые вступают в реакцию с известью с получением растворимых в воде солей. Разрушение бетона усложняется для растворов солей, которые обладают кислым характером и способны нейтрализовать оксид

кальция и растворять углекислотные соли кальция. Насыщая поры бетона подобными солевыми растворами, вода со временем испаряется, оставляя в порах гигроскопичные кристаллы солей. При проникновении воды кристаллы солей преобразуются в кристаллогидраты с различным содержанием гидратной воды. Как правило, реакции гидратации кристаллов кислых солей и кристаллизации этих кристаллов сопровождаются увеличением объема. Поэтому подобное воздействие на бетон оказывает разрывающее изнутри воздействие с образованием микротрещин как во внутренней части конструкции, так и на ее поверхности.

Растворы сульфатов также чрезвычайно агрессивно воздействуют на бетон. Химические реакции активного оксида кальция и сульфатов щелочных металлов протекают с образованием гипса (CaSO_4), который взаимодействует с соединениями алюминия в цементном камне с получением пористого и неплотного материала – этtringита ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot30\text{H}_2\text{O}$). Реакции протекают с увеличением объема почти в 2,5 раза, что провоцирует образование трещин и разрушение бетона. Также к существенным разрушениям бетона приводит взаимодействие с диоксидом углерода, хлороводородом, нитридом водорода, сероводородом и диоксидом серы [29].

Вышеперечисленные газы, в зависимости от вида производства, являются выбросами промышленных предприятий и ТЭЦ. Они могут образовывать в дымовой трубе разную агрессивную среду, оказывающую химическое воздействие. Например, металлургическое производство, а также производства, на которых сжигают угольное топливо, нефть или природный газ в процессе технологического процесса - с продуктами сгорания выбрасывают в атмосферу соединения серы, которые в случае приближения температуры на внутренней поверхности стенки дымовой трубы к температуре точки росы газа, образуется конденсат из серной кислоты. А при существенном перепаде температур дымовых газов и наружного воздуха, происходит миграция влаги, содержащей кислоту, через стенку дымовой трубы, вызывая коррозию арматуры и цементного камня. Особенно это опасно для производств на которых в качестве топлива используется мазут [30].

По мнению авторов [25, 26] длительное воздействие технологической и окружающей сред вызывают наибольшее число повреждений промышленных дымовых и вентиляционных труб [25, 26].

Комбинированные воздействия

Воздействия, включающие в себя суммарное действие нескольких факторов.

Оценка напряженно-деформированного состояния ствола дымовой трубы, проведенная С. Г. Деркач, В. М. Жоровым, Е. А. Подлесняк [31] и осуществленная с условием упругого поведения бетона, характеризует самые нагруженные элементы в железобетонном стволе дымовой трубы – диаметрально-расположенные образующие ствола с подветренной и подветренной сторон. При этом наибольшие сжимающие напряжения возникают с подветренной стороны и воспринимаются бетоном, наибольшие

растягивающие напряжения – с наветренной стороны и воспринимаются вертикальной арматурой. Результаты экспертиз промышленной безопасности состояния железобетонных дымовых труб в I ветровом районе показали, что напряжения от температурного воздействия составляет почти пятьдесят процентов от общего напряжения в бетоне ствола дымовой трубы; от веса и ветра – двадцать и тридцать процентов от общего напряжения в бетоне ствола дымовой трубы соответственно. Для ветровых районов II-VII, для которых присущи более высокие значения ветрового давления [32], процентное соотношение от суммарного напряжения в бетоне ствола изменится в сторону увеличения ветровой нагрузки. Поэтому одним из показателей, влияющих на разрушение дымовых труб, который необходимо учитывать при проектировании – ветровая нагрузка [4, 33, 34].

Подводя итог, дозволительно утверждать, что главное требование безопасной эксплуатации промышленных дымовых труб – строго придерживаться требований проектной документации по соблюдению температурного и влажностного режимов работы дымовой трубы. Также на особом контроле должны находиться:

- режимы работы основного котельного оборудования для исключения неполного сжигания топлива и возможности горения в дымоходах или дымовой трубе;

- состояние конструкций от котлоагрегатов до дымовой трубы, для исключения поступления воздуха из внешней среды

1.5. Описание и обоснования применения предлагаемой технологии при строительстве дымовых труб

Стеклоткань при строительстве дымовых труб использовалась и ранее [35, с. 193; 36, с. 216; 37 с. 199] для изоляции внутренней поверхности при помощи эпоксидного лака, однако на сегодняшний день данная технология не имеет широкого применения, и стеклоткань используется в основном при изготовлении стеклопластиковых дымовых труб [38].

Большее применение стеклоткань получила при изготовлении текстиль-бетона, относительно нового композиционного материала, состоящего из мелкозернистого бетона и армирующей текстильной сетки. Благодаря сочетанию свойств бетона и текстильной сетки композит обладает уникальными возможностями и открывает новые направления в строительстве. Основными его преимуществами являются: легкость, высокий предел прочности при изгибе, высокая несущая способность, устойчивость к образованию трещин, лёгкость при обращении с полотнами, отсутствие коррозии и увеличенная долговечность конструкции [39-41].

Применение стеклоткани и углеткани за счёт придания армируемым композитам таких свойств как коррозионная стойкость, легкость, высокая прочность, стабильность размеров, минимальное поглощение влаги, возможность изготовления изделий сложной формы – получили широкое

распространение при создании полимерных композитов в аэрокосмической промышленности [42, с. 9].

Воздействие на железобетонную дымовую трубу силы тяжести, тектонической активности, ветра и атмосферных факторов, наряду с термическим воздействием от дымовых газов, может привести к существенным деформациям и разрушению конструкций дымовой трубы [1, 43].

Автор работы полагает, что замена стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием может способствовать снижению теплопроводности от бетона футеровки к бетону ствола дымовой трубы, увеличению защиты бетона ствола дымовой трубы от агрессивных сред, уменьшению массы конструкции, увеличению прочности бетона, увеличению стойкости к образованию трещин и, как следствие, увеличению долговечности конструкции.

Данные предположения основаны ряде факторов.

Во-первых, применяемая на сегодняшний день стальная сетка для разделения несущего бетона и бетона футеровки железобетонного ствола дымовой трубы, как для метода подъемно-переставной опалубки, так и для метода скользящей опалубки, выполняет только две функции: разделение (причем весьма условное, т.к. через стальную сетку с ячейкой 5 мм не может проходить только заполнители с меньшим размером зерна) двух бетонов и упрочнение. Замена на стеклоткань позволяет уменьшить смешивание растворов двух бетонов на границе несущий бетон–бетон футеровки, при этом позволяет, за счёт небольших отверстий, создать небольшую зону смешения двух бетонов, обеспечивая тем самым лучшее их сцепление. Также за счёт хорошей адгезии стеклоткани к бетону создается надежное соединение. При этом стеклоткань по сравнению со стальной сеткой, обладает более высокими показателями устойчивости на разрывную нагрузку, следовательно, создает большее упрочнение. Также стеклоткань, за счёт высокой химической стойкости обеспечивает дополнительную химическую защиту железобетонного ствола дымовой трубы при возможной конденсации кислотных газов. Замена стальной сетки на стеклоткань позволяет устранить ещё одно возможное разрушение дымовой трубы связанное с коррозией стальной сетки. Промышленные дымовые трубы часто подвергаются сильному воздействию кислот, образующихся в результате конденсации дымовых газов. Конденсат влияет на внутреннюю часть теплоизоляции и проникает в наружную стенку дымовой трубы. Это одна из причин быстрой коррозии бетона и арматурной стали. На стадии монтажа, когда из-за трудоемкости работ по очистки стальной сетки от ржавчины остатки ржавчины на стальной сетке остаются в теле бетона, а также на стадии эксплуатации, когда в зоне стальной сетки может конденсироваться влага создается опасная ситуация коррозии стали. В конечном итоге это может привести к увеличению объема за счёт образования ржавчины и созданию разрывных напряжений, которые разрушают футеровку на границе несущий бетон-бетон футеровки, оголяя, таким образом, несущий бетон железобетонного ствола дымовой трубы. Разрушение

теплоизоляционного слоя приводит к повышению температуры в железобетонной стене дымовой трубы и создает значительные колебания температурных полей. Что в свою очередь способствует значительному увеличению внутренних сил, которые увеличивают растягивающие и сдвиговые напряжения [44]. Рост внутреннего напряженного состояния приводит к появлению новых трещин в стене, в которые проникает кислотный конденсат, интенсивно разрушая бетон и арматуру [43, 44]. Железобетону характерно образование трещин в областях конструкции, где действуют напряжения растяжения, в том числе при эксплуатационном режиме работы. По мнению В.Н. Байкова и Э.Е. Сигалова [45, с. 4] при воздействии агрессивной среды, режиме работы с повышенной влажностью или опасностью развития коррозии арматуры - необходимо предотвратить образование трещин или ограничить ширину их раскрытия. Стеклоткань способствует снижению процессов образования трещин лучше стальной сетки, поэтому эффект от упрочнения при замене стальной сетки на стеклоткань будет выше. Также с учётом низкой плотности стеклоткани снижается материалоемкость выполняемых работ.

Во-вторых, применение материалов с более низким коэффициентом теплопроводности, каким в данной работе является тепловая изоляция покрытия «Броня», коэффициент теплопроводности которой в 450 раз меньше коэффициента теплопроводности полимерцементного керамзитобетона, позволит уменьшить массу конструкции дымовой трубы за счёт уменьшения слоя монолитной футеровки. А также может уменьшить потери теплоты от конструкций дымовой трубы и снизить падение температуры по высоте дымовой трубы, что в свою очередь снизит нагрузку на дутьевые агрегаты котельной установки за счёт увеличения тяги. Стабилизация температуры по высоте дымовой трубы также может снизить температурные напряжения на ствол дымовой трубы, что позволит продлить срок эксплуатации конструкции.

В-третьих, за счёт низкой паропроницаемости тепловой изоляции «Броня» может быть снижен риск диффузии газов к несущему бетону

Таким образом, вопрос применения, предлагаемой автором, технологии является интересным для изучения, а в случае успеха будет иметь высокую практическую значимость в области проектирования и нового строительства железобетонных промышленных труб.

Предлагаемая автором технология выполнения работ на строительной площадке предполагает следующую последовательность действий:

- выставление внешней опалубки;
- армирование по слою несущего бетона;
- монтаж стеклоткани (крепление осуществляется при помощи вязальной проволоки к кольцевой и вертикальной рабочей арматуре, с обеспечением перехлеста между уровнями в 300 мм);
- послойное нанесение жидкого термостойкого покрытия «Броня» (полимеризуясь, покрытие скрывает отверстия в стеклоткани, вязальную проволоку и объединяет высотные слои стеклоткани);

- выставление внутренней опалубки;
- укладка бетона, с опережением укладки бетона футеровочного слоя в 20 см.

Для метода возведения скользящей опалубкой требуется проведение дополнительных исследований и испытания на опытных образцах возможности начала укладки бетона до полного высыхания и полимеризации жидкого теплоизоляционного покрытия «Броня».

Выводы по разделу

В настоящем разделе представлен обзор классификации дымовых труб, рассмотрены порядок и последовательность оценки их технического состояния. Сделан обзор возможных дефектов и разрушений дымовых труб, а также причин их появления. Выполнено описание и обоснование применения новой технологии возведения железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой в соответствии с объектом исследования. Согласно предложенной технологии осуществляется замена традиционно используемой в настоящее время стальной сетки, которая служит разделительным элементом между бетоном футеровки и несущим бетоном, при практически одновременной укладке бетонов, на стеклоткань с термостойким покрытием.

Показана важность выполнения расчетов температурного и влажностного режима эксплуатации дымовой трубы, а также возможность появления различных видов дефектов и разрушений, в случае отклонений от проектных характеристик. Выдвинуты предположения о повышении эксплуатационных характеристик и жизненного цикла при внедрении предложенной автором технологии в строительство.

Сделан вывод об актуальности выполняемой работы, научной новизне и её научно-практической значимости.

2. Оценка влияния замены разделительной стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием

Для сокращения времени строительства дымовых труб с монолитной футеровкой, как для строительства методом подъемно-переставной опалубки и методом скользящей опалубки в настоящее время используется металлическая сетка с мелкой ячейкой. Данная сетка служит разделительным элементом между основным бетоном и бетоном футеровки при практически одновременной укладке бетонной смеси футеровки и бетона несущего ствола железобетонной дымовой трубы.

Целью настоящего раздела является расчёт температурных полей железобетонной дымовой трубы при изменении технологии возведения дымовой трубы. Суть изменений заключается в замене стальной сетки, разделяющей основной бетон и бетон футеровки, на стеклоткань с термостойким покрытием и уменьшением толщины футеровочного бетона. Также целью данного раздела является оценка влияния данного изменения на перепад температуры в стволе дымовой трубы и несущую способность дымовой трубы.

Теплотехнический расчёт дымовой трубы осуществляется исходя из объема, состава и физико-химических свойств дымовых газов и воздуха при заданных температурах; климатического района строительства, физико-химических свойств материалов и геометрии конструкции.

За основу сравнения принята новая дымовая труба Красноярской ТЭЦ-1, технические и геометрические характеристики которой представлены в приложении В.

2.1. Физико-химические свойства дымовых газов и воздуха

С учетом того, что в качестве сравнения взята дымовая труба на Красноярской ТЭЦ-1 - для определения физико-химических свойств дымовых газов, в качестве продукта горения, рассматривается бурый уголь Ирша-Бородинского месторождения [46]. Расчётные характеристики данного угля указаны в таблице 2.1 [47, с. 160].

Таблица 2.1 – Характеристики угля Ирша-Бородинского месторождения

Бассейн	Марка топлива	Рабочая масса топлива*, состав в %						
		влага (W^p)	зольность, (A^p)	сера (S^p)	углерод (C^p)	водород (H^p)	азот, (N^p)	кислород, (O^p)
Ирша-Бородинский	Б2	33	6	0,2	43,7	3	0,6	13,5

* указана масса, отнесенная к рабочей массе топлива (индекс «р»)

Расчёт процесса горения топлива осуществлялся в соответствии с [48]. Количественные соотношения реагентов и продуктов химической реакции горения угля Ирша-Бородинского месторождения представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Стехиометрические уравнения горения угля

Элемент	Продукты горения, на один кмоль	Количество кислорода на один кг. угля
Углерод	$2C + O_2 = 2CO,$ $24\text{кг } C + 32\text{кг } O_2 = 56 \text{ кг } CO$	$(4/3)C^p$
	$C + O_2 = CO_2,$ $12\text{кг } C + 32\text{кг } O_2 = 44 \text{ кг } CO_2$	$(8/3)C^p$
Водород	$2H_2 + O_2 = 2H_2O,$ $4\text{кг } H_2 + 32\text{кг } O_2 = 36\text{кг } H_2O,$	$8H^p$
Сера (горючая)	$S + O_2 = SO_2,$ $32\text{кг } S + 32\text{кг } O_2 = 64 \text{ кг } SO_2$	S^p

Масса кислорода (кг), необходимая для полного сгорания одного килограмма угля по рабочей массе определяется из условия полного сжигания угля и стехиометрическим уравнениям горения:

$$((8/3)C^p + 8H^p + S^p - O^p) / 100 \quad (2.1)$$

Разделив уравнение (2.1) на плотность кислорода при нормальных условиях ($1,429 \text{ кг/м}^3$) получим объемное количество кислорода, необходимого для сжигания одного килограмма топлива:

$$V_{O_2} = 0,01(1,866C^p + 5,56H^p + 0,75S^p - 0,7O^p) \quad (2.2)$$

Подставляя данные из таблицы 2.1 в формулу (2.2) получим объемное количество кислорода, необходимого для сжигания одного килограмма угля Ирша-Бородинского месторождения:

$$V_{O_2} = 0,01 * (1,866 * 43,7 + 5,56 * 3 + 0,75 * 0,2 - 0,7 * 13,5) = 0,89, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретический расход окислителя на полное сгорание угля определяется из условия содержания кислорода в окислителе по формуле:

$$V_{OK} = 100V_{O_2} / O_{2OK} \quad (2.3)$$

где O_{2OK} – объемное содержание кислорода в воздухе, %

$$V_{OK} = 100 * 0,89 / 21 = 4,24, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем теоретически необходимого воздуха для сжигания одного килограмма топлива определяется по формуле:

$$V_0 = 0,0889 (C^p + 0,375S^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p \quad (2.4)$$

Подставляя данные из таблицы 2.1 в формулу (2.4) получим объем теоретически необходимого воздуха для сжигания одного килограмма угля Ирша-Бородинского месторождения:

$$V_0 = 0,0889 (43,7 + 0,375 \cdot 0,2) + 0,265 \cdot 3 - 0,0333 \cdot 13,5 = 4,24, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительный расход воздуха на один килограмм твердого топлива определяется из выражения:

$$V_B = \alpha_T V_0 \quad (2.5)$$

где α_T - коэффициент избытка воздуха в топке.

Подставляя в формулу (2.5), рассчитанное ранее, значение объема теоретически необходимого воздуха для сжигания одного килограмма угля, с учетом того, что для топочных камер котлов Красноярской ТЭЦ-1 в среднем коэффициент избытка воздуха равен 1,4 [49, с. 184], получим действительный расход воздуха на один килограмм угля Ирша-Бородинского месторождения:

$$V_B = 1,4 \cdot 4,24 = 5,94, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретический объем продуктов сгорания на один килограмм твердого топлива вычисляются по формуле:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} \quad (2.6)$$

где V_{RO_2} – объем газов четырехвалентных элементов, образованных от сжигания одного килограмма топлива;

V_{N_2} – объем азота, образованный от сжигания одного килограмма топлива;

V_{H_2O} – объем водяных паров, образованных от сжигания одного килограмма топлива;

Объем газов четырехвалентных элементов и объем азота, образованных от сжигания одного килограмма топлива находят из выражений (2.7), (2.8):

$$V_{RO_2} = 0,0186(C^p + 0,375S^p), \quad (2.7)$$

$$V_{N_2} = 0,79V_0 + 0,008N^p \quad (2.8)$$

Используя данные таблицы 2.1 и ранее рассчитанный объем теоретически необходимого воздуха получим объем газов четырехвалентных элементов и объем азота для сжигания одного килограмма угля Ирша-Бородинского месторождения:

$$V_{RO_2} = 0,0186 \cdot (43,7 + 0,375 \cdot 0,2) = 0,81, \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 4,24 + 0,008 \cdot 0,6 = 3,35, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Суммарный объем паров воды формируется в итоге реакции кислорода с водородом, содержащимся в топливе; выпаривания воды из топлива; влаги воздуха, поступающего для сгорания топлива, и определяется следующим выражением:

$$V_{H_2O} = 0,111N^p + 0,0124W^p + 0,016V_{OK} \quad (2.9)$$

Подставляя данные таблицы 2.1 и ранее рассчитанный теоретический расход окислителя на полное сгорание в формулу (2.9) получим полный объем водяных паров, образующихся при сжигании одного килограмма угля Ирша-Бородинского месторождения:

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot 3 + 0,0124 \cdot 33 + 0,016 \cdot 4,24 = 0,81, \text{ м}^3/\text{кг}$$

В итоге, расчетный объем продуктов горения на один килограмм угля Ирша-Бородинского месторождения равен:

$$V_r = 0,81 + 3,35 + 0,81 = 4,98, \text{ м}^3/\text{кг}$$

С учетом того, что фактический объем отводимых газов АО «Красноярская ТЭЦ-1» – 165,5 м³/с (при минимальной нагрузке) и – 274 м³/с (при максимальной нагрузке), можно найти фактический расход сжигаемого угля Ирша-Бородинского месторождения за секунду. Для перехода от нормальных условий к системным единицам, с учетом постоянства давления, используем закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.10)$$

где V_1, T_1 – объем и температура при нормальных условиях ($T_1=273$ температура при нормальных условиях в градусах Кельвина);

V_2, T_2 – объем и температура при заданных условиях;

Таким образом, объем отводимых газов за секунду для минимальной и максимальной нагрузки составляет:

$$V_{167} = 165,5 \cdot (273+167)/273 = 266,7, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_{200} = 274 \cdot (273+200)/273 = 474,7, \text{ м}^3/\text{с}$$

Разделив фактический объем отводимых газов за секунду для минимальной и максимальной нагрузки на теоретический объем продуктов

сгорания на один килограмм угля Ирша-Бородинского месторождения и умножив результат на рассчитанные объемы для одного килограмма, получим сводные данные по объемному содержанию продуктов горения угля Ирша-Бородинского месторождения для минимальной и максимальной нагрузки работы новой дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1 (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Сводные данные по расчёту объемного содержания продуктов горения угля

Режим работы	Масса сжигаемого угля за секунду, кг	Параметр, м ³ /с					
		V_O	V_B	V_{RO2}	V_{N2}	V_{H2O}	V_r
Минимальная нагрузка	53,55	227,05	318,09	43,38	179,39	43,38	266,7
Максимальная нагрузка	95,32	404,16	566,20	77,21	319,32	77,21	474,7

Физические характеристики дымовых газов усредненного состава по [50, с. 324], а для температуры минимальной нагрузки определенные методом интерполяции – представлены в таблице 2.4.

Физические характеристики сухого воздуха по [50, с. 319], а для температуры минимальной нагрузки определенные методом интерполяции – представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.4 – Физические характеристики дымовых газов усредненного состава

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг*°C)	λ , Вт/(м*°C)	$\alpha*10^6$, м ² /с	$\mu*10^6$, Па*с	$\nu*10^6$, м ² /с	Pr
0	1,295	1,042	0,0228	16,9	15,8	12,2	0,72
100	0,95	1,068	0,0313	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	0,0401	48,9	24,5	32,8	0,67
167	0,81466	1,08743	0,0372	42,927	23,147	29,0842	0,6766

Таблица 2.5 – Физические характеристики сухого воздуха

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг*°C)	λ , Вт/(м*°C)	$\alpha*10^6$, м ² /с	$\mu*10^6$, Па*с	$\nu*10^6$, м ² /с	Pr
0	1,293	1,005	0,0244	18,8	17,2	13,28	0,707
160	0,815	1,017	0,0364	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	0,0378	47,5	25,3	32,49	0,681
167	0,8024	1,01875	0,03689	45,16	24,78	30,93	0,68165
200	0,746	1,026	0,0393	51,4	26,0	34,85	0,68

2.2. Климатические условия

Для осуществления теплотехнического расчёта необходимы сведения по значениям средней температуры наружного воздуха, значениям средней скорости ветра наружного воздуха в летний и зимний период. По данным свода

правил «Строительная климатология» [51] для г. Красноярск характерны следующие климатические условия:

- минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с	1
- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	4,1
- температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98, °С	-39
- средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	25,1

2.3. Физико-химические свойства материалов конструкции

Физико-химические свойства материалов конструкции, необходимые для проведения сравнительных теплотехнических расчётов:

- коэффициент сопротивления трения [3, с. 172]	0,03
- коэффициент теплопроводности железобетона, Вт/м°С [35, с. 204]	1,68
- коэффициент теплопроводности полимерцементного керамзитобетона, Вт/м°С	0,45
- коэффициент теплопроводности теплоизоляции «Броня», Вт/м°С [52, с. 4]	0,001
- коэффициент теплопроводности стеклоткани, Вт/м°С [53]	0,04

2.4. Вычисления температурных полей

Отходящие от основного котельного оборудования дымовые газы, обладают большей, по сравнению с окружающей средой, температурой. Поэтому, с соблюдением второго Закона термодинамики, дымовые газы входят во взаимодействие со стенами дымовой трубы, направляя тепловой поток из центра дымовой трубы в сторону внешних ее стен. Установление характеристик теплового режима работы конструкций, с нахождением температур на границах разнородных материалов и является одной из первичных целей теплотехнического расчёта промышленных дымовых труб.

Определение тепловых потоков и распределение температурных полей позволяют выявить наличие и относительную величину напряжений, обусловленных неоднородностью воздействия температуры на жестко закрепленный в основании стержень, за модель которого принимают дымовую трубу при проведении расчётов.

За счёт воздействия температуры отходящих газов на внутренней поверхности стенки дымовой трубы возникают напряжения сжатия, как в направлении образующей дымовой трубы, так и по её периметру. Температурное воздействие наружного воздуха, напротив, благодаря разности температур, обуславливает появление напряжения растяжения по образующей

и периметру дымовой трубы. При этом, чем сильнее разность перепада температур наружной и внутренней стены дымовой трубы, температуры которых напрямую зависят от окружающей их среды, тем большими будут значения напряжений в элементах трубы. Другими словами градиент температуры обуславливает величину термических напряжений.

Теплотехнический расчёт промышленных дымовых труб осуществляется с рядом допущений:

- рассматривается установившийся режим работы дымовой трубы, когда температуры по периметру дымовой трубы в каждом кольцевом разрезе по всей её высоте имеют постоянное значение на внутренней поверхности;

- исключаются из рассмотрения разность температур на внешней поверхности дымовой трубы, обусловленная неравномерностью ветрового воздействия с разных сторон дымовой трубы;

- приближенный расчёт ветрового воздействия с учётом высотности;

- исключаются из рассмотрения, из-за невозможности учёта, неравномерность температуры от воздействия солнечной радиации, как по высоте, так и по периметру дымовой трубы;

Несмотря на допущения, теплотехнический расчёт связан с большим числом параметров и сопровождается массой математических расчётов, выполнять которые необходимо с применением машинных методов расчёта [54].

В настоящее время для осуществления теплотехнических расчётов промышленных дымовых труб применяют программы по одному из следующих вариантов:

- программы, осуществляющие вычисления с применением формул и алгоритмов, определенных требованиями нормативно-технической документации. Как правило, этот вариант программ является не сертифицированным, и используется для проведения ориентировочных предварительных расчётов т.к. данные программы содержат множество допусков и отступлений от реальной модели;

- программные комплексы, состоящие из совокупности отдельных блоков программ, для применения результатов которых необходимы вспомогательные расчеты. По сравнению с первым вариантом, расчёт основан на методе конечных элементов, делается меньшее количество допусков и отступлений, следовательно, позволяют более точно анализировать температурные поля, напряженно-деформированное состояние и аэродинамические показатели конструкций дымовой трубы. Такие комплексы программ в отличие от первого варианта являются сертифицированными.

Для осуществления теплотехнических расчётов в данной работе использовался сертифицированный программный комплекс «СТЕНА», разработанная ВНИПИ "Теплопроект" (Сертификат соответствия № РОСС RU. 03 Э416.Н 0090). За доступ к программе, автор выражает признательность директору ООО «ПСФ Энерго» (промышленное оборудование) Корсунскому Александру Зиновьевичу. Методики теплотехнического расчёта данной

программы основаны на положениях освещенных [2, гл. 2.6; 21, гл. 7.2; 54, гл. 2.4;] и представлены в приложении Г.

В качестве первого варианта для расчётов, которые будут далее служить основой для сравнения, применялась существующая дымовая труба Красноярской ТЭЦ-1, конструктивные особенности и технические характеристики которой представлены в приложении В. Конструктивно данная дымовая труба представляет собой конус в нижней части и цилиндр в верхней. На всей высоте после перекрытия стенка дымовой трубы (переменного сечения) состоит из несущего железобетона В30, разделительной стальной сетки с квадратной ячейкой 5 мм, полимерцементного керамзитобетона.

Вторым вариантом для расчётов принимается моделируемая дымовая труба с геометрией по несущему железобетону В30, как у существующей дымовой трубы. Далее после стенки из железобетона идет стеклоткань, на которую послойно наносится термостойкое покрытие «Броня» в три слоя (теплопроводность каждого слоя 0,001 Вт/м°С). Первый слой которого со стороны несущего бетона имеет дополнительные антикоррозионные свойства, обеспечивая дополнительную химическую защиту. Описание и технические характеристики керамического теплоизоляционного покрытия серии «Броня» представлены в приложении Д [52]. В качестве финишного слоя в модели рассматривается полимерцементный керамзитобетон, аналогичный по составу и свойствам существующей трубы, с толщиной 50 мм по всей высоте от перекрытия дымовой трубы.

Используя данные разделов 2.1-2.3 и сведения из приложений В-Д для проведения расчётов в программе «СТЕНА» получим числовые значения распределения температурного поля по толщине железобетонной стенки дымовой трубы. Результаты расчётов программы «СТЕНА» для существующей дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1 - представлены в приложении Е, результаты расчётов программы «СТЕНА» для моделируемой дымовой трубы – представлены в приложении Ж.

2.5. Оценка изменения распределения температурного поля по толщине железобетонной стенки дымовой трубы

Для удобства представления и сравнения данных по результатам расчётов температурных полей (приложение Е, приложение Ж) принимаем условные сокращения и обозначения в соответствии с таблицей 2.6.

Таблица 2.6 – Условные обозначения и сокращения

Обозначение/сокращение	Обозначение
1	2
Обозначение данных относящихся к результатам расчётов программы «СТЕНА» для существующей дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1 (1 вариант расчётов)	1В

Окончание таблицы 2.6

1	2
Обозначение данных относящихся к результатам расчётов программы «СТЕНА» для моделируемой дымовой трубы (2 вариант расчётов)	2В
Обозначение данных относящихся к первому режиму работы дымовой трубы (зимний период, минимальная нагрузка)	1Р
Обозначение данных относящихся ко второму режиму работы дымовой трубы (зимний период, максимальная нагрузка)	2Р
Обозначение данных относящихся к первому режиму работы дымовой трубы (летний период, минимальная нагрузка)	3Р
Обозначение данных относящихся ко второму режиму работы дымовой трубы (летний период, максимальная нагрузка)	4Р
Температура дымовых газов, °С	Т газ.
Температура футеровки дымовой трубы из полимерцементного керамзитобетона по внутренней поверхности, °С	Т ф.вн.
Температура футеровки дымовой трубы из полимерцементного керамзитобетона по наружной поверхности, °С	Т ф.нар.
Температура несущего бетона дымовой трубы по внутренней поверхности, °С	Т бет. вн.
Температура несущего бетона дымовой трубы по наружной поверхности, °С	Т бет. нар.
Перепад температуры по слою несущего бетона дымовой трубы, °С	ΔТ бет.
Перепад температуры по слою футеровки дымовой трубы из полимерцементного керамзитобетона, °С	ΔТ фут.
Перепад температуры по объединенному слою, включающем термостойкое покрытие «Броня» и стеклоткань, °С	ΔТ Броня

Объединяя данные по расчётам температурных полей с учетом таблицы 2.5 получим удобное представление данных по распределению температурных полей для дальнейшего сравнения существующей и моделируемой дымовых труб. Сводные данные представлены в Приложении И.

Построив графики зависимости температуры в стенке дымовой трубы от высотной отметки дымовой трубы, на основании данных таблиц И.2 – И.5, получим графическое представление распределения температурных полей существующей и моделируемой дымовых труб для разных режимов работы (рисунок 2.1-2.4).

Как видно из представленных зависимостей характерной чертой для всех режимов нагрузки дымовой трубы, вне зависимости от времени года, термическая кривая внутренней стенки моделируемой дымовой трубы, по сравнению с существующей, стремится к вертикали. Это свидетельствует о понижении потерь тепла по высоте дымовой трубы и становлении более эффективного теплового режима при замене стальной сетки стеклотканью с термостойким покрытием. Эти выводы подтверждают и данные по падению температуры дымовых газов по ее высоте (рисунок 2.5).

Построив графики зависимости перепада температуры в стенке дымовой трубы от высотной отметки дымовой трубы, на основании данных таблиц И.6 – И.8, получим графическое представление разности температур в стенке дымовой трубы в зависимости от ее высоты (рисунок 2.6-2.7).

Как видно из представленных зависимостей характерной чертой для всех режимов нагрузки дымовой трубы, вне зависимости от времени года, термические кривые перепада температур несущего бетона и футеровки из полимерцементного керамзитобетона для моделируемой дымовой трубы – смещаются влево. Снижение перепадов температур в несущем бетоне (минимально на 19 °С в летний период эксплуатации и режиме работы с минимальной нагрузкой; максимально на 53 °С в зимний период эксплуатации и режиме работы с максимальной нагрузкой) и футеровки (минимально на 68 °С в летний период эксплуатации и режиме работы с минимальной нагрузкой; максимально на 147 °С в зимний период эксплуатации и режиме работы с максимальной нагрузкой) для моделируемой дымовой трубы обусловлено наличием термостойкого покрытия «Броня», которое, несмотря на незначительную толщину обеспечивает существенную тепловую изоляцию несущей стенки из железобетона, перепад температур по покрытию «Броня» представлен на рисунке 2.8.

Таким образом, замена стальной сетки, которая служит разделительным элементом при укладке бетона футеровки и несущего бетона ствола дымовой трубы на стеклоткань, с нанесенным на нее теплозащитным покрытием, обеспечивает:

- становление более эффективного теплового режима работы дымовой трубы (снижение падения температуры на внутренней стенке дымовой трубы по высоте, то есть увеличение тяги трубы и снижение нагрузки на дутьевые вентиляторы котла);

- уменьшение температурного перепада по футеровке и несущему бетону дымовой трубы в каждом сечении по всей высоте дымовой трубы;

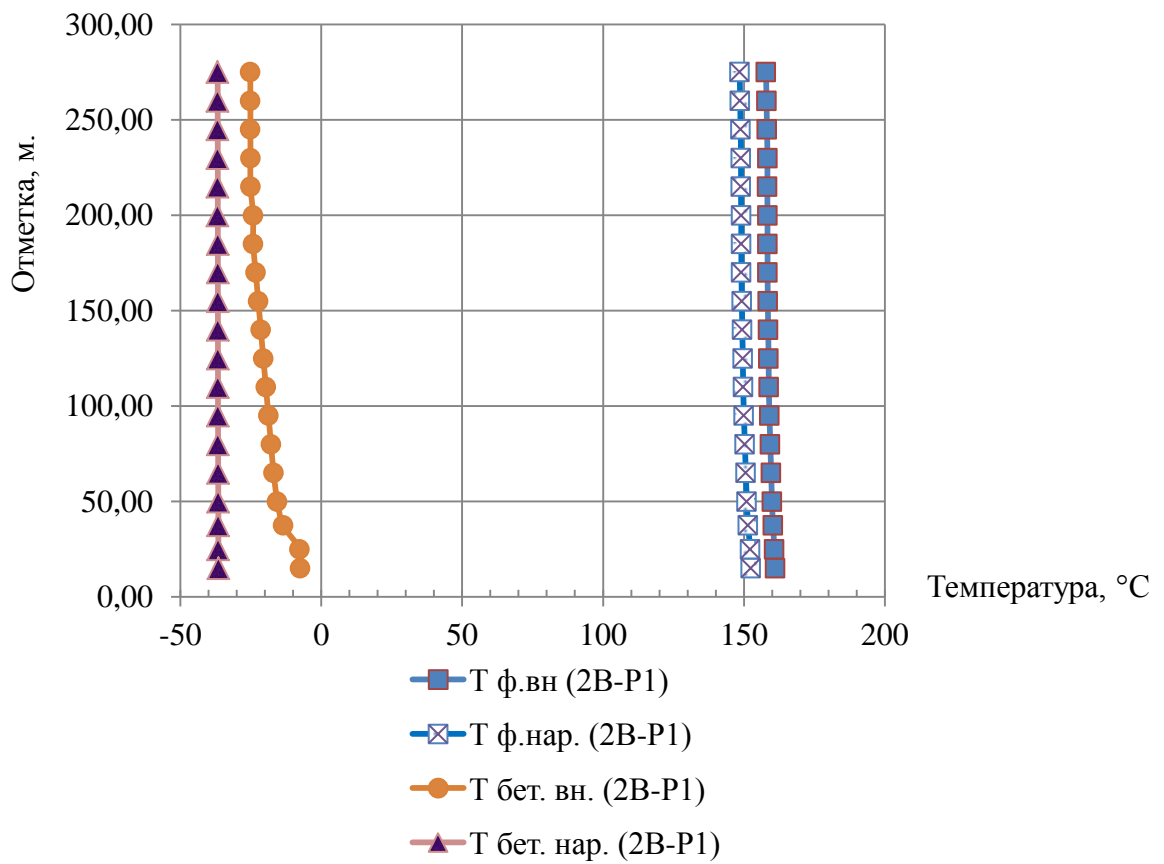
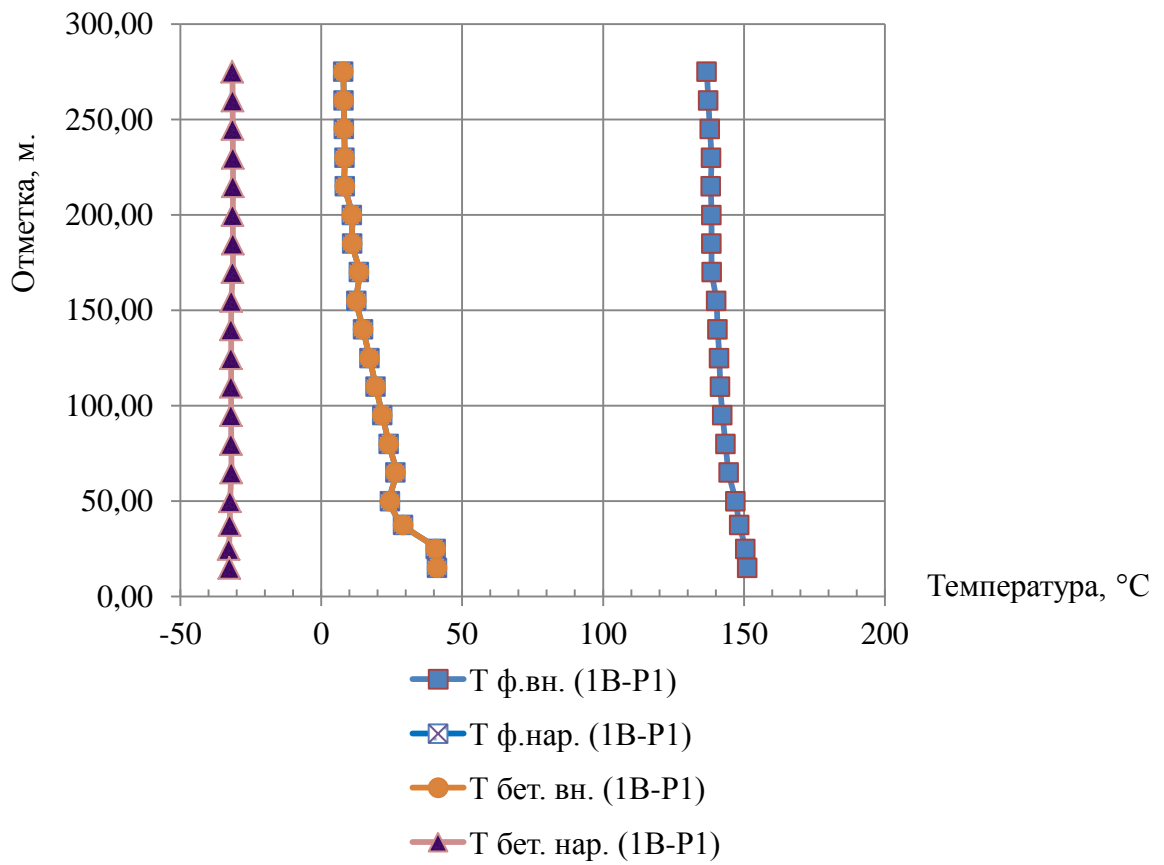


Рисунок 2.1 Распределение температурных полей по толщине и высоте дымовой трубы для зимнего режима при минимальной нагрузке

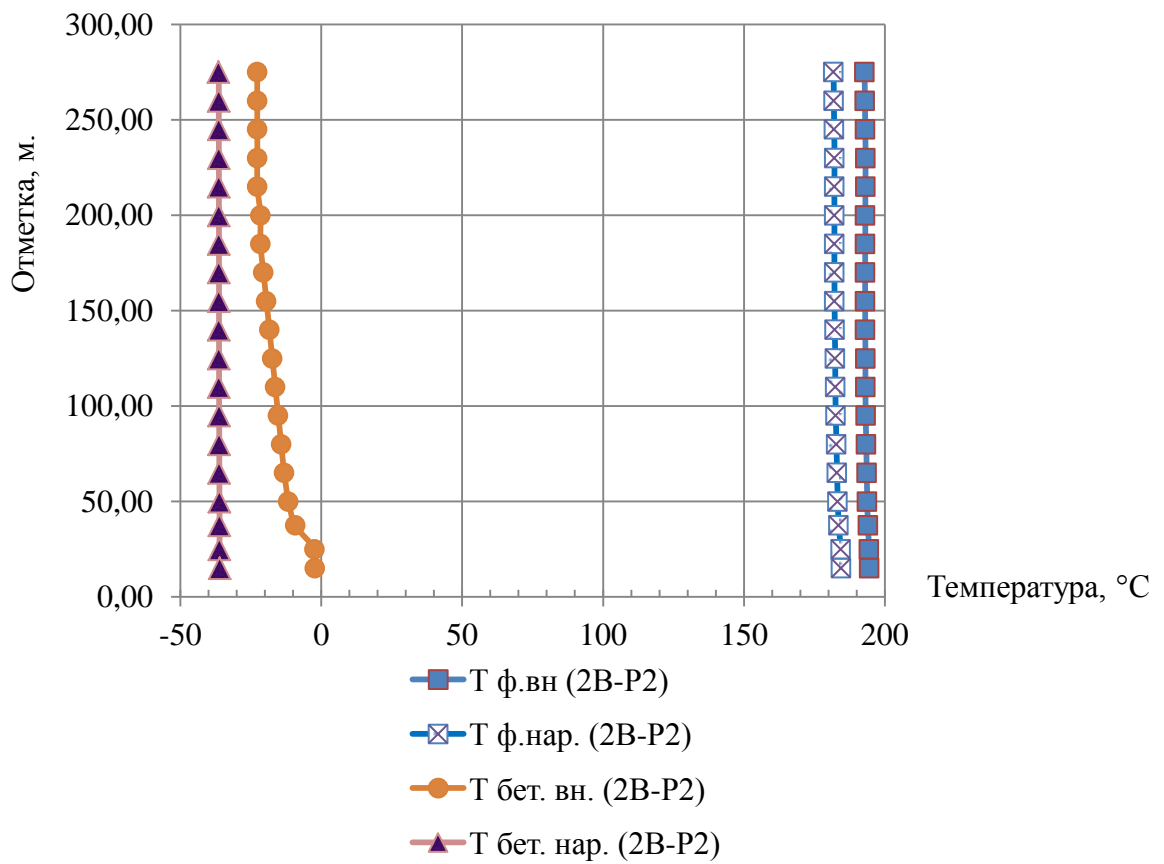
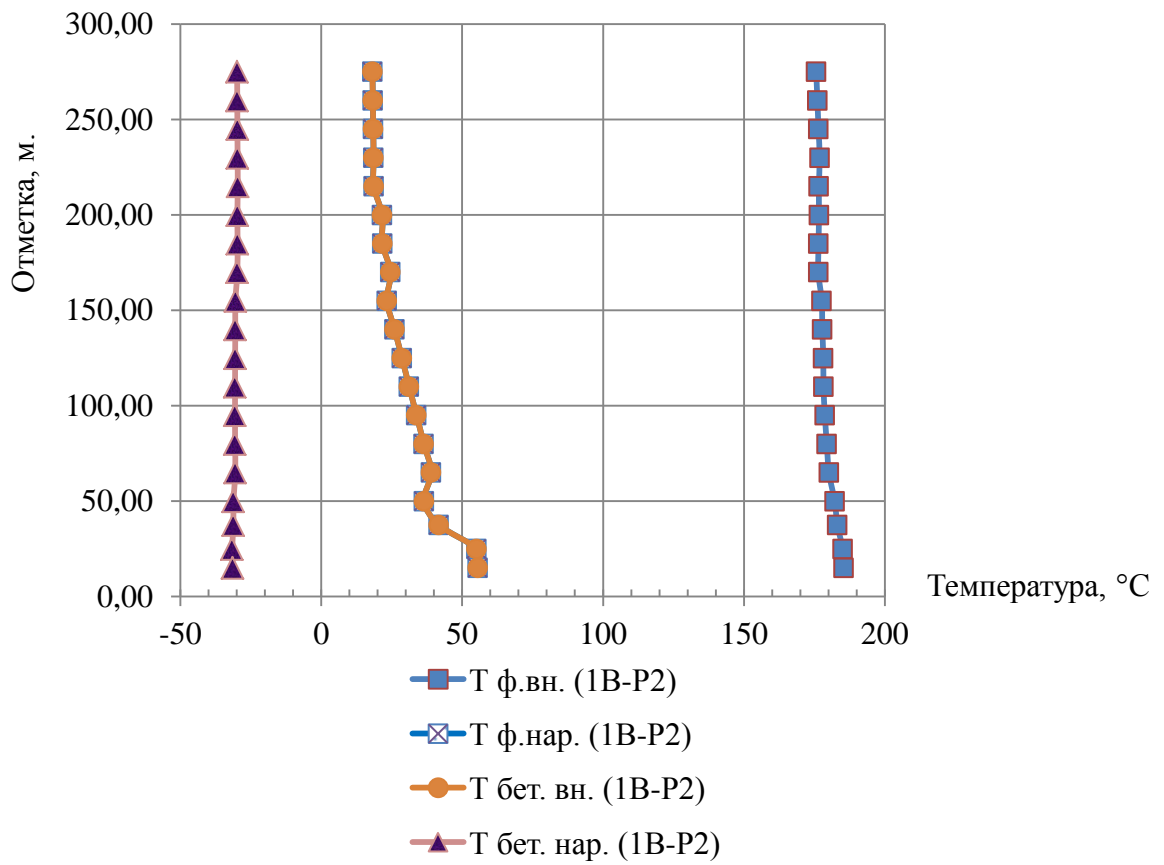


Рисунок 2.2 Распределение температурных полей по толщине и высоте дымовой трубы для зимнего режима при максимальной нагрузке

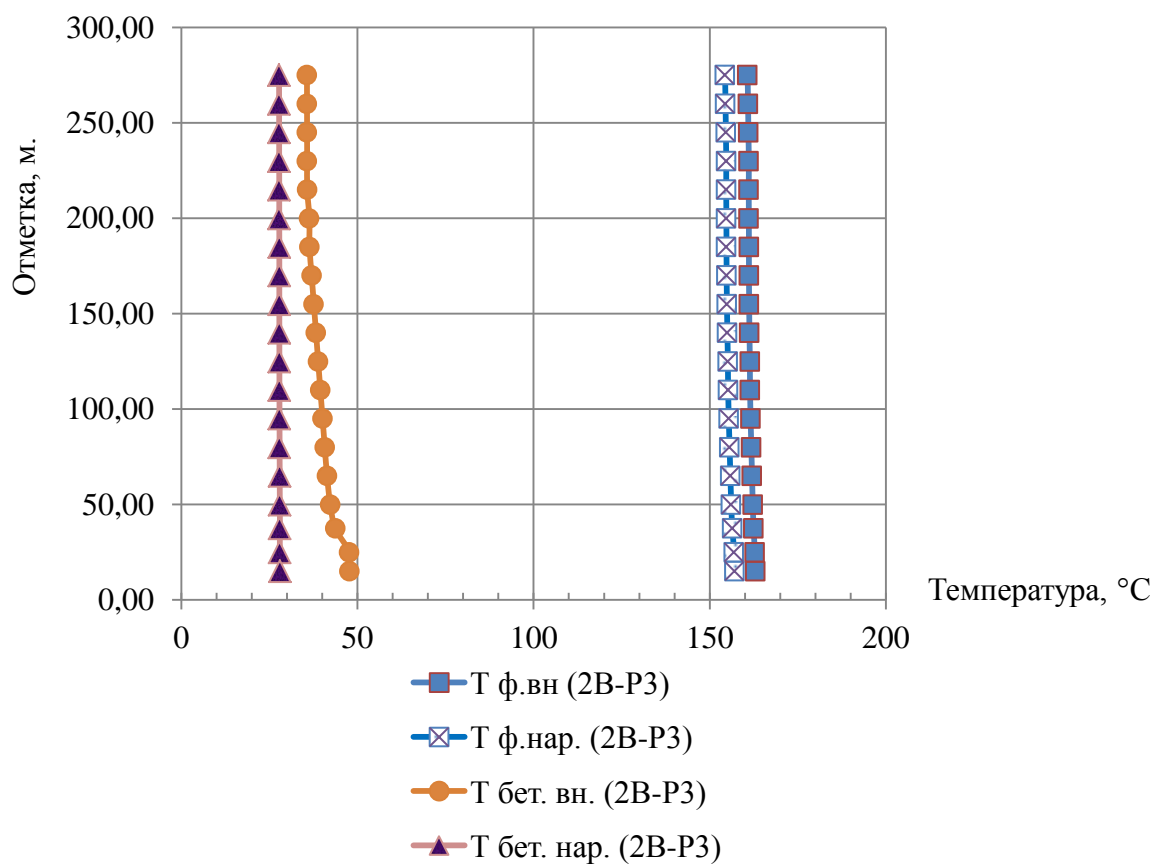
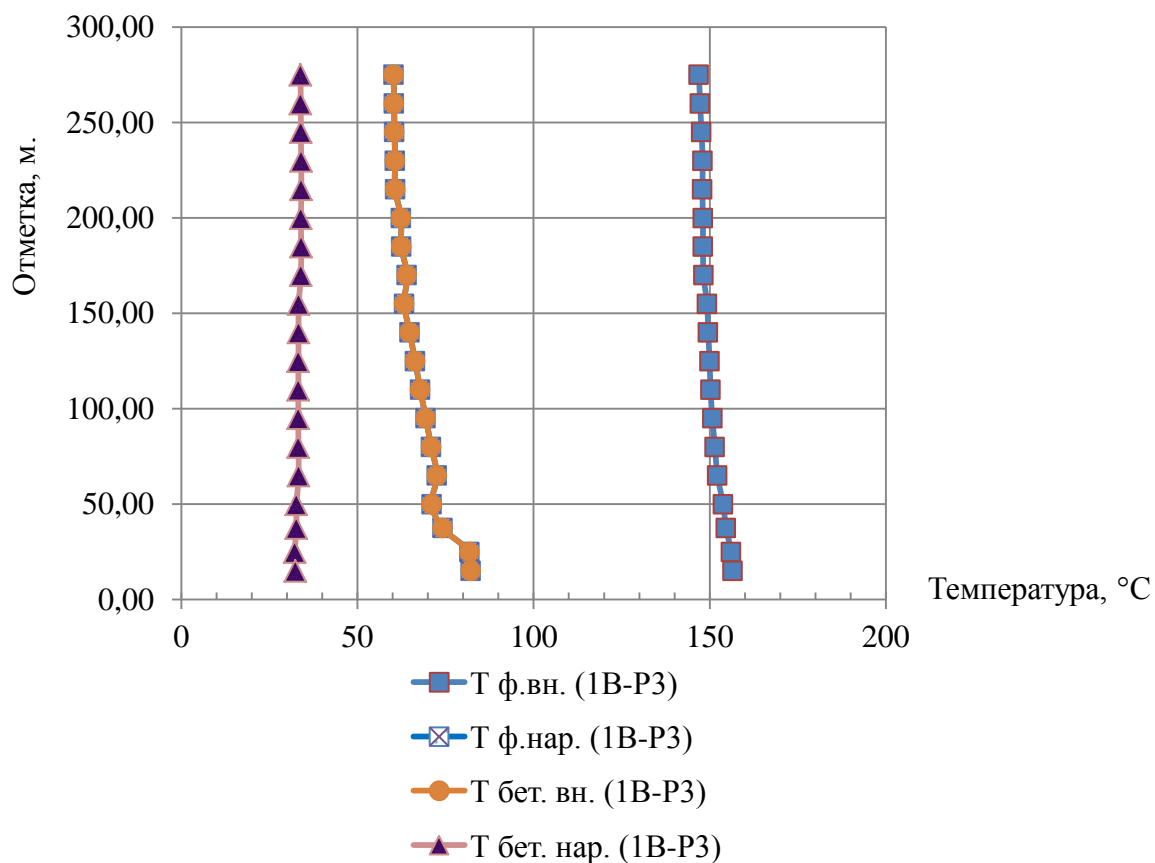


Рисунок 2.3 Распределение температурных полей по толщине и высоте дымовой трубы для летнего режима при минимальной нагрузке

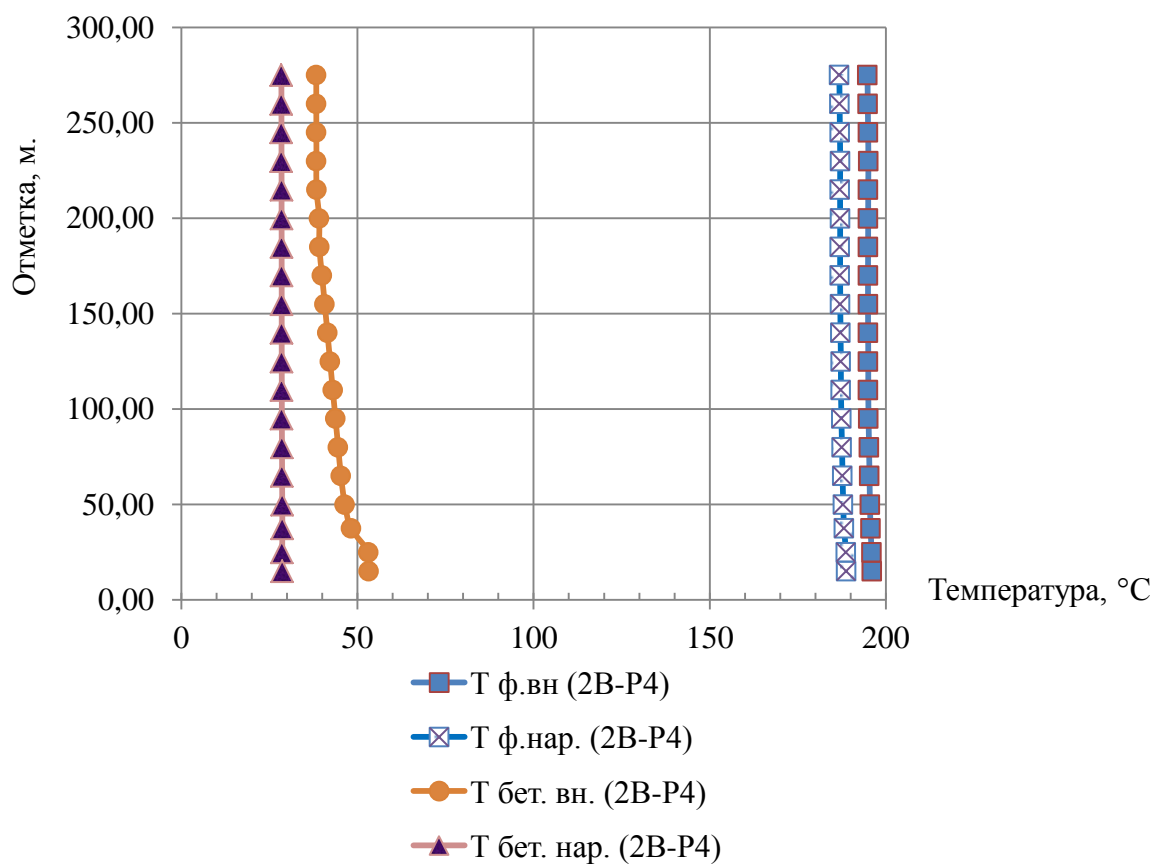
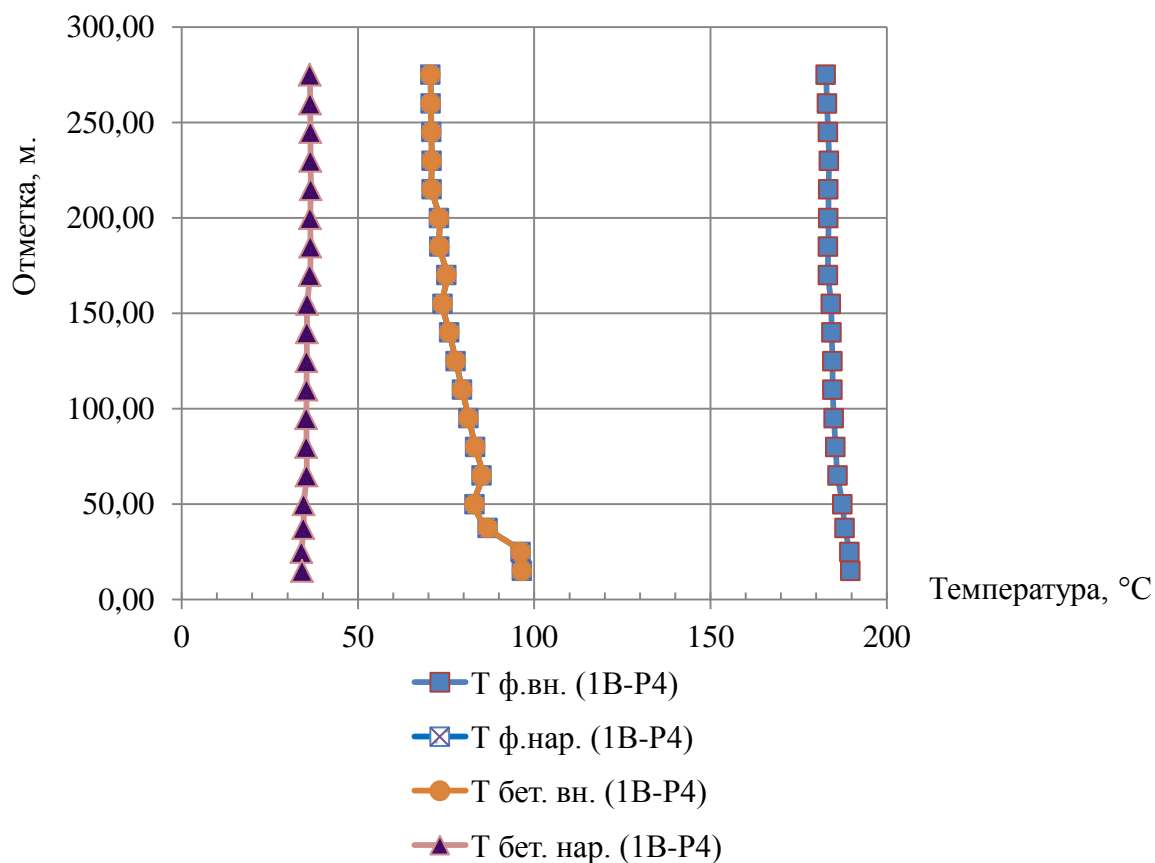


Рисунок 2.4 Распределение температурных полей по толщине и высоте дымовой трубы для летнего режима при максимальной нагрузке

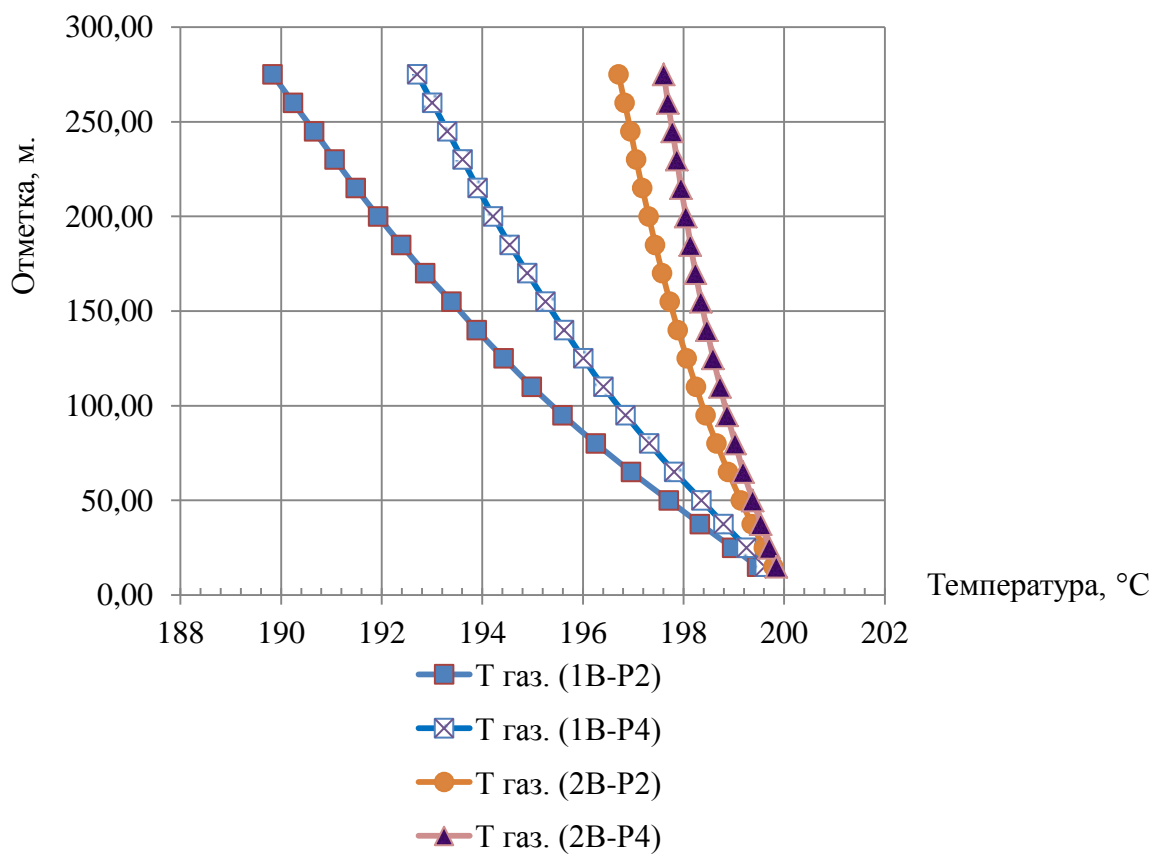
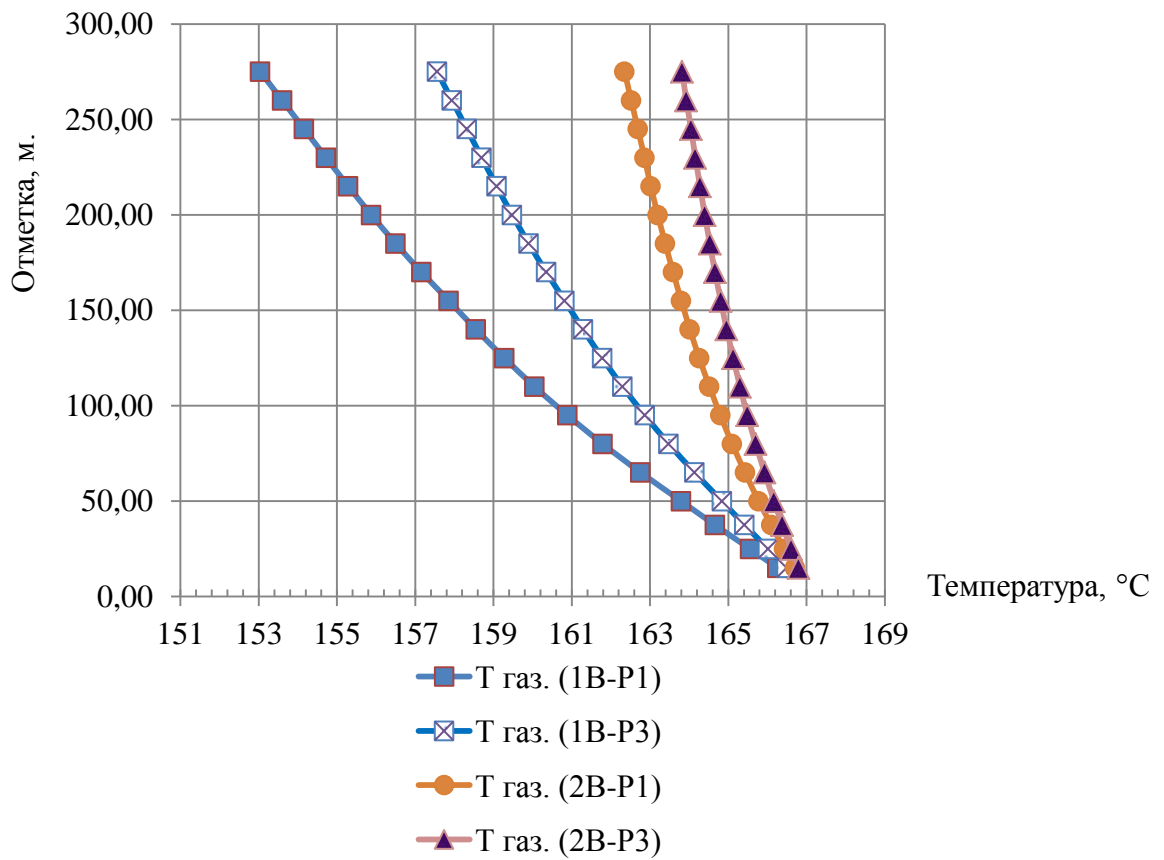


Рисунок 2.5 Падение температуры дымовых газов по высоте дымовой трубы

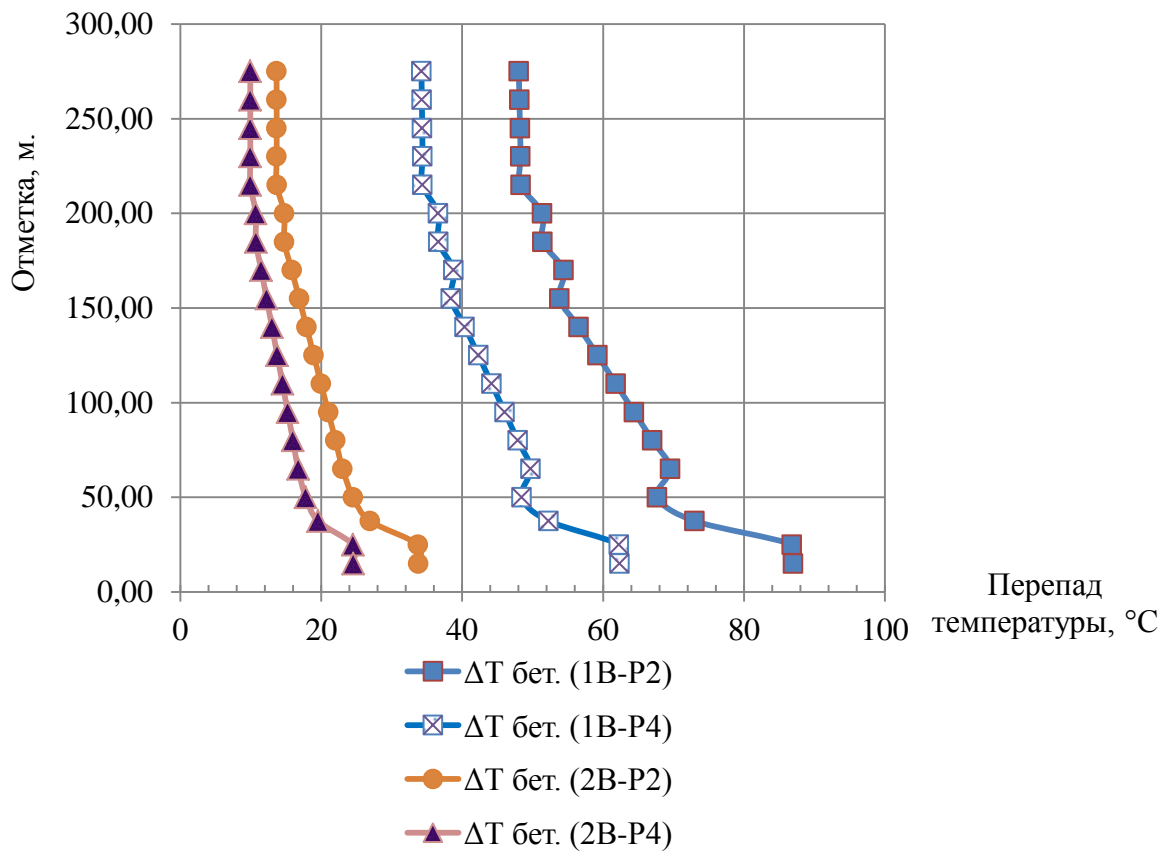
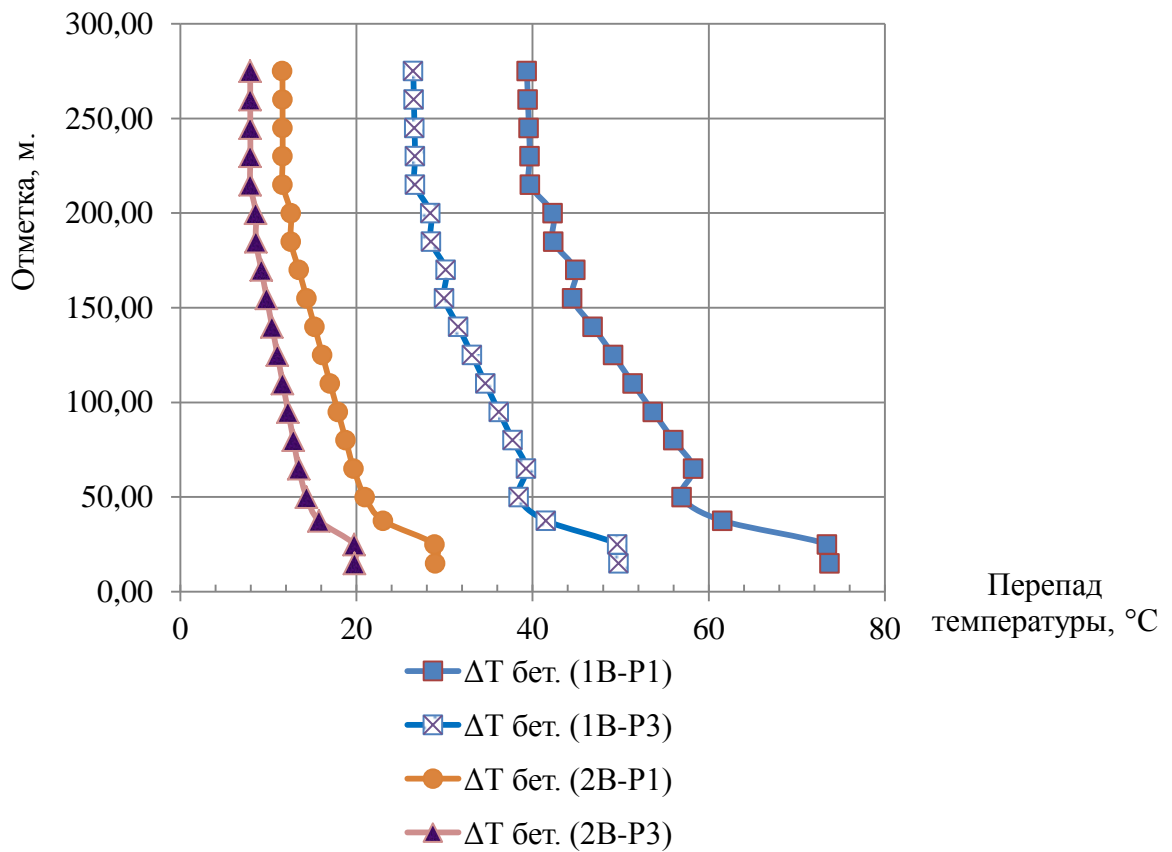


Рисунок 2.6 Перепад температуры в несущем бетоне по высоте дымовой трубы

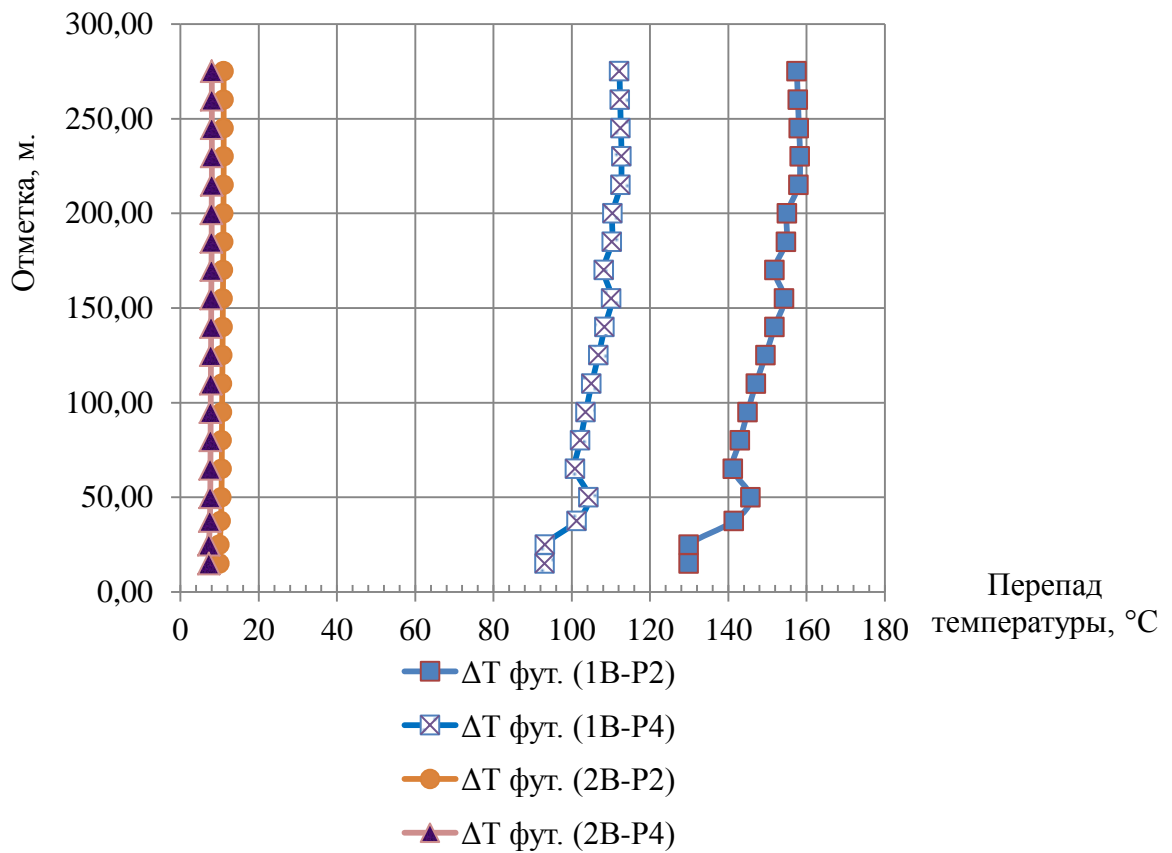
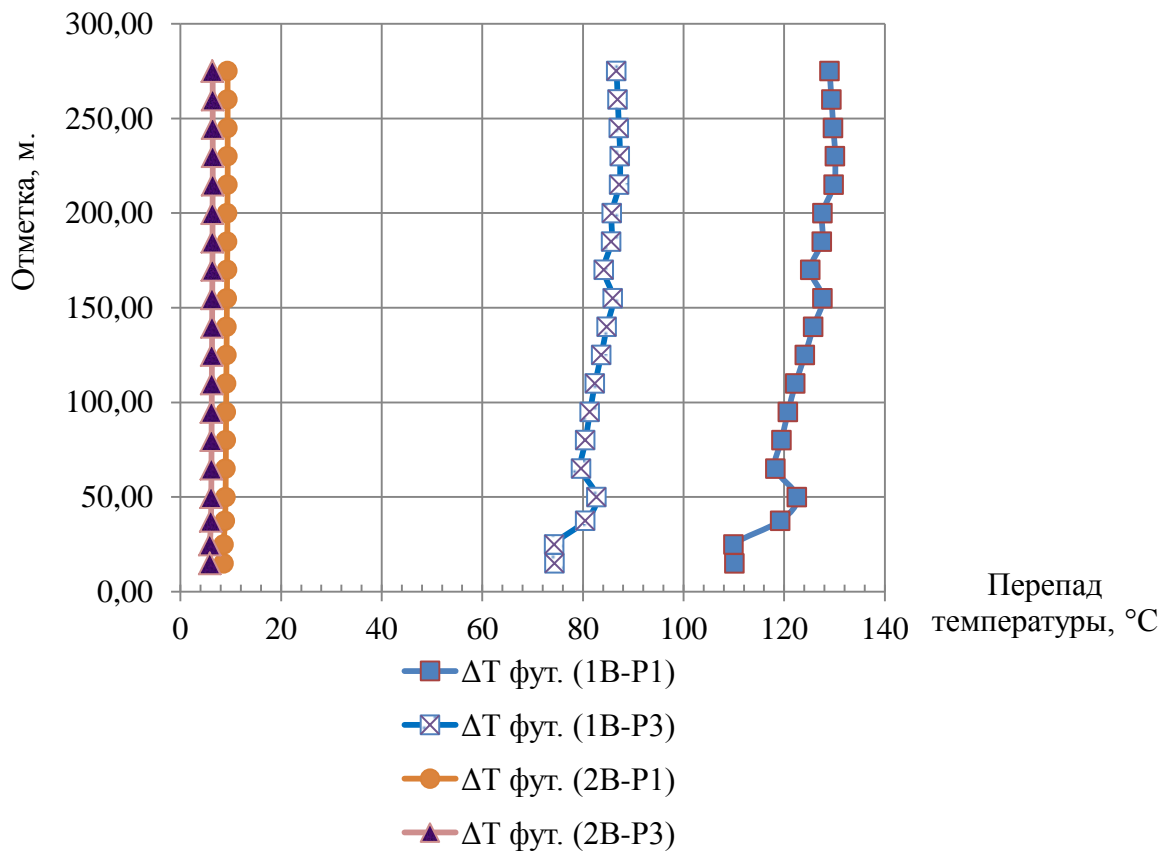


Рисунок 2.7 Перепад температуры в футеровке из полимерцементного керамзитобетона по высоте дымовой трубы

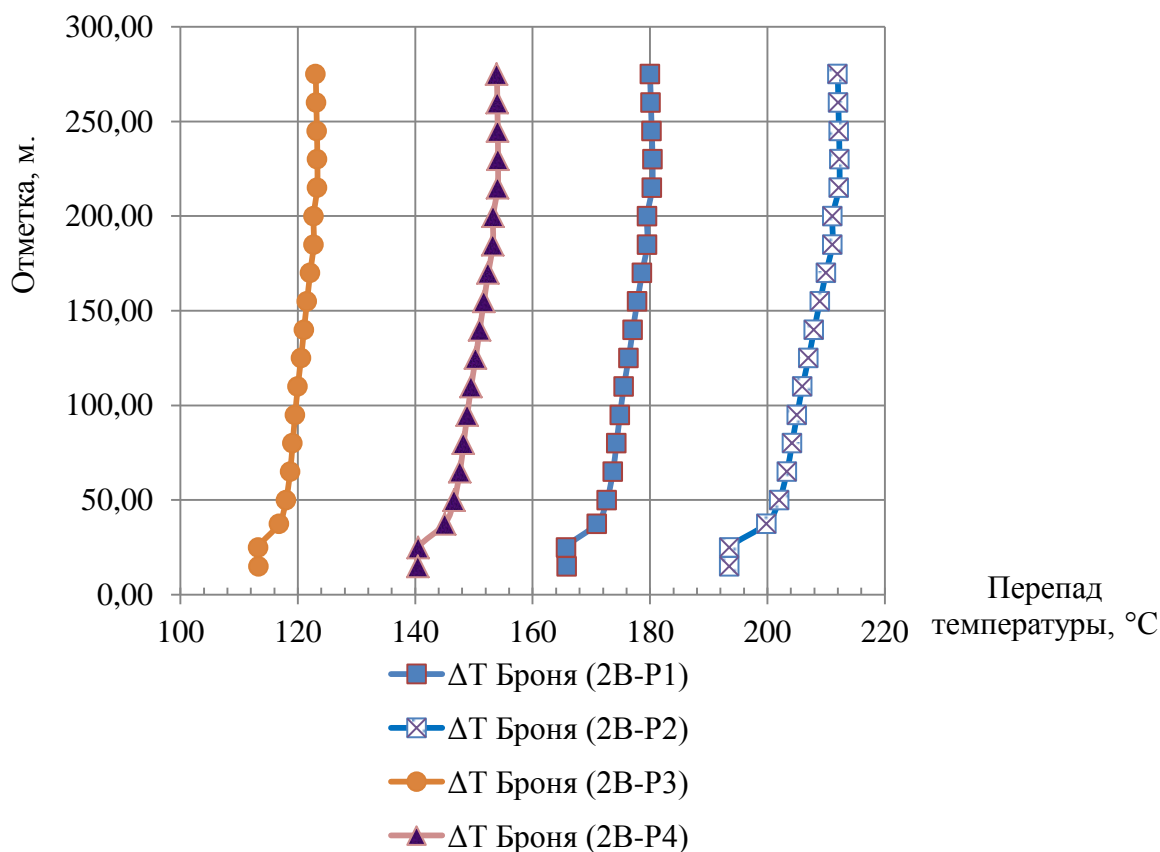


Рисунок 2.8 Перепад температуры в объединенном слое термостойкого покрытия «Броня» и стеклоткани по высоте дымовой трубы

2.6. Оценка влияния на несущую способность дымовой трубы

Мустьяцэ В.Т. [55] считает, что напряженное состояние дымовой трубы определяется от множеством показателей (физико-химических параметров отходящих газов, силы и скорости ветра, веса самой конструкции, физико-химического воздействия окружающей среды, солнечного излучения, суточные колебания температуры, влажности и давления наружного воздуха), также одним из таких факторов является режим эксплуатации, который, в частности, обусловлен пульсацией высоких температур.

Неоднородность воздействия поля температур на конструкции дымовой трубы служит причиной создания кольцевых и осевых напряжений растяжения и сжатия, что приводит к образованию трещин [55, 56, 57]. Так как бетон лучше работает на сжатие, то для повышения эффективности режима работы трубы в первую очередь необходимо ликвидировать растягивающие напряжения, которые образуются на менее нагретой поверхности бетона.

Разделение несущего бетона и бетона футеровки дымовой трубы высокоэффективным теплоизоляционным материалом, таким как покрытие «Броня» позволяет вести рассмотрение футеровки и несущего бетона как отдельные составляющие части ствола дымовой трубы, работающие в разных тепловых режимах. В каждом из таких режимов минимизированы

температурные перепады по толщине стенки, следовательно, минимизированы и потенциально опасные термические напряжения, приводящие к образованию трещин.

Также процессы образования трещин возникают во время пусков и остановок дымовой трубы [57].

В ремонтные периоды или вынужденного простоя предприятия температура конструкций дымовой трубы исключительно зависит от наружных воздействий (солнца, ветра и среднесуточных колебаний температуры) и выравнивается с температурой окружающего воздуха. При запуске котельного оборудования и начале эвакуации продуктов сгорания температура на внутренней стенке дымовой трубы, которая за время простоя охладилась немного ниже температуры наружного воздуха, за счёт нахождения в собственной тени, начинает стремительно увеличиваться. Так как прогрев происходит несимметрично (различие в величине подводимого тепла с разных сторон, турбулентность, дифференциальность теплотехнических характеристик материалов дымовой трубы), особенно если запуск дымовой трубы осуществляется в зимний период, перепад температур по толщине стены дымовой трубы достигает максимальных значений. Именно это время максимально опасно в плане развития процесса образования трещин.

Замена стальной сетки, которая служит разделительным элементом при укладке бетона футеровки и несущего бетона ствола дымовой трубы на стеклоткань, с нанесенным на нее теплозащитным покрытием «Броня» снижает опасность появления трещин в футеровке и несущем стволе при пуске и останове дымовой трубы за счёт переноса градиента температур из футеровки в многослойное тонкое покрытие «Броня», которое обеспечивает значительное сопротивление теплопередачи. А тридцати процентный запас по возможному пиковому значению температуры первого слоя покрытия «Броня» со стороны футеровки обеспечивает защиту конструкций дымовой трубы от образования трещин во время «хлопка».

Нарушение температурного режима работы дымовой трубы может также привести к нарушению влажностного режима, и вызвать увлажнение конструкций футеровки и несущего ствола промышленной дымовой трубы, что влечёт за собой уменьшение прочностных показателей и как итог снижение всей несущей способности [56]. При этом даже эксплуатация в режиме, при котором рабочая температура на поверхности внутренней стенки ствола дымовой трубы выше точки росы не устраняет проблемы наличия коррозии на поверхности футеровки, в её толщине и слое несущего бетона дымовой трубы. Данная коррозия обусловлена диффузией газа на молекулярном и молярном уровнях в пористом теле бетона. Процесс коррозии, вызванный диффузией газа, протекает не только как следствие создания избыточного давления отходящих газов в котельном тракте, но и за счёт разности парциальных давлений паров влаги по разные стороны конструкции стены дымовой трубы [26, 56]. Принимая во внимание достаточно большую пористость бетона (около трети объема цементного камня) [45, с. 11] процессы диффузии газа

представляют собой недооцененный риск образования дефектов и разрушения конструкции.

Коррозия, вызванная диффузией газов, протекает по следующему механизму:

- с понижением температуры по толщине футеровки, газы, проходящие через футеровку, достигают определенной зоны, в которой парциальное давление водяных паров оказывается больше предельной упругости этих паров при температуре рассматриваемой зоны. Поэтому доля мигрирующей сквозь ограждения дымовой трубы влаги конденсируется и со временем накапливается внутри пор [55, 56].

- форсированная коррозия разделительной сетки, возникновение и развитие напряжений растяжения, по причине увеличения объема ржавеющей стали, которые приводят к разрушению на границе объединения несущего бетона и бетона футеровки дымовой трубы;

- выщелачивание, выветривание, кристаллизация солей [26];

- при наступлении отрицательных температур, аккумулятивная в толще конструкции влага кристаллизуется с увеличением объема, что провоцирует создание опасных разрушающих напряжений растяжения [56].

Из рисунков 2.1-2.4 можно увидеть, что для всех режимов работы существующей дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1 температура прогрева верхних частей конструкции дымовой трубы уступает нижней, а распределение температуры в футеровке пересекает значение температуры точки росы. Следовательно происходит снижение температуры по высоте дымовой трубы (рисунок 2.5) – значит возможен процесс конденсации влаги в верхних участках дымовой трубы, особенно в непроектном режиме эксплуатации и во время остановов трубы. Так как для моделируемой дымовой трубы снижение температуры газов и температуры на внутренней поверхности футеровки по всей высоте дымовой трубы незначительны, а также благодаря низкому коэффициенту паронепроницаемости покрытия «Броня» - сводится к минимуму вероятность образования фильтрованного через футеровку конденсата в толще бетона.

Также в отличии от существующей дымовой трубы на Красноярской ТЭЦ-1, для которой в зимний период температура точки росы расположена в футеровке (рисунок 2.1-2.2), в моделируемой дымовой трубе устраняется возможность возникновения разрушающих усилий от замерзания влаги при отрицательных температурах.

По сведениям от представителей службы эксплуатации АО «Красноярская ТЭЦ-1», на котельном оборудовании станции применяется технология сжигания угля в объеме топочной камеры (факельное сжигание). При такой технологии дисперсные частицы угля в воздушном потоке перманентно подаются в топочную камеру с формированием факела температурой до 1500 °С и длительностью горения не более двух секунд. С подобными показателями горения непросто добиться полного сжигания твердого топлива, поэтому отходящие дымовые газы включают в себя

значительный объем загрязняющих веществ, для улавливания которых требуется установка дорогостоящего оборудования [58, с. 10]. В итоге осуществления технологических процессов по сжиганию угольного топлива образуются дымовые газы, которые содержат как газообразные, так и твердые примеси. Причем твердые примеси в дымовых газах это не только частицы несожженного в топочной камере угля, но несущественные включения негорючих веществ, содержащиеся в топливе. Эти твердые примеси при поступлении в дымовую трубу оказывают на ее внутреннюю поверхность абразивное воздействие, особенно при неустановившемся режиме работы, для которых характерны турбулентные потоки в дымовой трубе.

По мнению Ельшина А.М. [2] одной из причин образования конденсата на поверхности внутренней стенки дымовой трубы может служить скопление на её поверхности пыли, которая характеризуется высокими значениями растворимости. В таком случае конденсация влаги будет происходить при влажности, которая определяет точку росы для насыщенного раствора соли, образованной гидратацией пыли.

Принимая во внимание низкое значение коэффициента паронепроницаемости покрытия «Броня», высокие показатели химической стойкости у стеклоткани и вакуумированных керамических микросфер покрытия «Броня», допустительно утверждать о создании химической защиты несущего бетона, что позволит применять моделируемую конструкцию в условиях использования топлива, которое при сжигании образует более агрессивные по составу дымовые газы, а также твердые пылеватые частицы, которые обладают хорошей растворимостью.

Таким образом, замена стальной сетки, которая служит разделительным элементом при укладке бетона футеровки и несущего бетона ствола дымовой трубы на стеклоткань, с нанесенным на нее теплозащитным покрытием «Броня» обеспечивает дополнительный запас прочности и надежности конструкций дымовой трубы, а следовательно повышает и долговечность конструкции.

2.7. Оценка экономической эффективности

Основой для оценки экономической эффективности инновационных технических решений служат результаты расчета по определению показателя экономии затрат [59]. Метод оценки эффективности на основе экономии затрат допустимо использовать как отдельный случай применяемой в настоящее время методики оценки эффективности инвестиционных проектов.

С учетом сложности ручного расчёта для ряда факторов по моделируемой дымовой трубе, в данной работе при оценке экономической целесообразности технических решений не учтены следующие факторы:

- уменьшение затрат на армирование, включая стоимость арматуры и высотность работ (в существующей дымовой трубе, с учетом достаточно большой толщины футеровки и значительного перепада температуры,

футеровка из полимерцементного керамзитобетона требует дополнительного армирования; в моделируемой дымовой трубе необходимость армирования футеровочного слоя бетона - отсутствует);

- уменьшение затрат на выполнение работ по устройству футеровки из полимерцементного керамзитобетона (затраты, связанные с высотой работ);

- уменьшение затрат на производство строительно-монтажных работ (стоимость работ по монтажу стальной сетки выше, чем для стеклоткани, с учетом высоты работ и ухудшению условий выполнения работ по монтажу стеклоткани);

- увеличение затрат за счёт стоимости выполнения дополнительных работ по нанесению термостойкого покрытия «Броня», учитывая высоту работ;

- уменьшение затрат на логистику по доставке материалов (за счет снижения веса);

- уменьшение затрат за счёт сокращения сроков строительства (снижение массы конструкции – вес металлической сетки, вес арматуры футеровки, вес футеровки; грузоподъемные работы по доставке материалов; уменьшение фонда заработной платы рабочим; ускорение ввода в эксплуатацию и обеспечение производственного процесса – более ранние сроки начала получения прибыли);

- уменьшение затрат за счёт увеличения срока службы конструкции дымовой трубы до проведения ремонтных работ (учитывается стоимость капиталовложений для осуществления ремонтных работ, с учётом инфляции, увеличения стоимости ремонтных работ и стоимости ремонтных материалов);

Подводя итог: в данной работе для оценки экономической эффективности будут учтены только следующие факторы:

- уменьшение затрат за счёт большей стоимости стеклоткани;

- уменьшение затрат за счёт снижения веса футеровочного слоя (уменьшение толщины футеровки);

- увеличение затрат за счёт стоимости теплоизоляционного покрытия «Броня»

Общая формула расчёта экономической эффективности выглядит следующим образом:

$$\text{Э} = \text{РД} / \text{З} \quad (2.11)$$

где РД – результат деятельности;

З – затраты.

Если показатель Э будет меньше единицы, то проект убыточный.

Так как для рассматриваемого случая результат деятельности построенное сооружение, которое не приносит прибыль, отсутствует возможность рассчитать показатель экономической эффективности, валовую прибыль и рентабельность. Поэтому в качестве оценки экономической эффективности определим затраты, связанные с заменой стальной сетки,

которая служит разделительным элементом при укладке бетона футеровки и несущего бетона ствола дымовой трубы на стеклоткань, с нанесенным на нее теплозащитным покрытием «Броня» оговоренные ранее.

На основании таблицы В.2, а также используя формулы определения площади поверхности и объема усеченного конуса, площади и объема цилиндра находим площадь поверхности по внутренней стороне несущего бетона (поверхность к которой крепится стеклоткань и на которую наносится теплозащитное покрытие), а также объем бетона футеровки для существующей и моделируемой дымовых труб.

Площадь боковой поверхности для конической части трубы находим как сумму площадей боковых поверхностей по каждой секции бетонирования. Площадь одной секции рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{бок.кон.}} = \pi L(r + r_1) \quad (2.12)$$

где π – число Пи = 3,14;

L – образующая усеченного конуса по секции бетонирования;

r – нижний радиус усеченного конуса по секции бетонирования;

r_1 – верхний радиус усеченного конуса по секции бетонирования;

Образующую усеченного конуса по секции бетонирования находим из прямоугольного треугольника, образованного путем опускания высоты из точки начала образующей конуса по известным радиусам верха/низа и высоты усеченного конуса.

Объем бетона футеровки для конической части трубы находим как сумму объемов бетона футеровки для каждой секции бетонирования. Объем бетона футеровки одной секции находим как разность объемов усеченных конусов по футеровки и внутренней полости дымовой трубы. Объем усеченного конуса находим из формулы:

$$V = \frac{1}{3} \pi h(r^2 + rr_1 + r_1^2) \quad (2.13)$$

где h – высота усеченного конуса по секции бетонирования.

Результаты расчётов площади для монтажа стеклоткани и объема футеровки для существующей и моделируемой дымовых труб представлены в приложении К.

Площадь боковой поверхности для цилиндрической части трубы находим как произведение высоты цилиндрической части трубы на длину окружности по цилиндрической части:

$$S_{\text{бок.цил.}} = h_{\text{ц}} 2\pi R \quad (2.14)$$

где $h_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части трубы;

R – радиус до тяжелого бетона по цилиндрической части трубы;

Таким образом площадь боковой поверхности по цилиндрической части трубы равна:

$$S_{\text{бок.цил.}} = 60 * 2 * 3,14 * 4,7 = 1771, \text{ м}^2$$

Объем бетона футеровки для цилиндрической части трубы находим как разность объемов цилиндров по футеровке и полости дымовой трубы.

$$V_{\text{фут.цил.}} = \pi h_{\text{ц}} (R_{\text{фут.}}^2 - R_{\text{пол.}}^2) \quad (2.15)$$

где $R_{\text{фут.}}$ – радиус до тяжелого бетона по цилиндрической части трубы;

$R_{\text{пол.}}$ – радиус до футеровки по цилиндрической части трубы;

Для существующей дымовой трубы объем бетона футеровки для цилиндрической части трубы равен:

$$V_{\text{фут.цил.}}^{\text{сущ.}} = 3,14 * 60 * (4,7^2 - 4,5^2) = 346,66, \text{ м}^3$$

Для моделируемой дымовой трубы объем бетона футеровки для цилиндрической части трубы равен:

$$V_{\text{фут.цил.}}^{\text{мод.}} = 3,14 * 60 * (4,7^2 - 4,65^2) = 88,08, \text{ м}^3$$

Общая площадь для монтажа разделительного элемента определяется как сумма площадей по цилиндрической и конической частям дымовой трубы и составляет:

$$S_{\text{разделит.}} = S_{\text{бок.цил.}} + S_{\text{бок.кон.}} \quad (2.16)$$

$$S_{\text{разделит.}} = 1771 + 10\,352 = 12\,123, \text{ м}^2$$

Рассчитанная площадь для устройства разделительного элемента является истинной и будет использоваться для определения объема необходимого защитного покрытия «Броня». Однако для монтажа разделительного элемента, в качестве которого для существующей дымовой трубы используется стальная сетка с квадратными ячейками 0,5 мм, а для моделируемой дымовой трубы стеклоткань, необходимо учитывать увеличение расхода материала для устройства перехлеста. Принимаем увеличение площади на расход материала разделительного элемента в размере 10%, тогда:

$$S_{\text{разделит.}}^{\text{р}} = 13335,3, \text{ м}^2$$

Общий объем бетона футеровки складывается из объемов по конической и цилиндрической частям дымовой трубы:

$$V_{\text{фут.}} = V_{\text{фут.кон.}} + V_{\text{фут.цил.}} \quad (2.17)$$

Для существующей дымовой трубы общий объем бетона футеровки из полимерцементного керамзитобетона составляет:

$$V_{\text{фут.}}^{\text{сущ.}} = 346,66 + 2\,296,82 = 2\,643,48, \text{ м}^3$$

Для моделируемой дымовой трубы общий объем бетона футеровки из полимерцементного керамзитобетона составляет:

$$V_{\text{фут.цил.}}^{\text{мод.}} = 88,08 + 514,66 = 602,74, \text{ м}^3$$

Принимаем увеличение объема на потерю материала при монтаже в размере 3%, тогда:

$$V_{\text{фут.}}^{\text{сущ.р}} = 2\,722,78, \text{ м}^3$$

$$V_{\text{фут.цил.}}^{\text{мод.р}} = 620,82, \text{ м}^3$$

Сведения о стоимости материалов и расчет необходимого количества тепловой изоляции «Броня» для моделируемой дымовой трубы взяты из открытых источников [60-62]; сведения о стоимости материалов существующей дымовой трубы предоставлены АО «Красноярская ТЭЦ-1».

Результаты расчётов затрат на приобретение материалов представлены в приложении Л.

Итоговые затраты на стоимость материалов при осуществлении замены стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием «Броня» определяются как сумма из общих затрат на приобретение тепловой изоляции "Броня", общей прибыли замены стальной сетки на стеклоткань и общей прибыли от уменьшения объема футеровки, и составляет:

$$Z_{\text{стоим.}}^{\text{ит.}} = -22\,919\,180,00 + 2\,908\,962,34 + 8\,737\,280,19 = -11\,272\,937,47, \text{ руб.}$$

Знак минус говорит о том, что происходит удорожание затрат на приобретение материалов. С учётом того, что результат деятельности и затраты должны включать ранее оговоренные факторы, а также принимая во внимание то, что общая стоимость возведения только одного ствола дымовой трубы более 660 млн. руб. (затраты на стоимость материалов при замене стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием составляет менее 2%) и стоимость материала «Броня» указана без оптовой скидки – допустительно

утверждать о том, что при более глубоком экономическом анализе и расчёте экономической эффективности по общей формуле (2.11) результат будет более единицы, что говорит о прибыльности рассматриваемого технического решения.

Выводы по разделу

В настоящем разделе рассчитан состав, физико-химические свойства дымовых газов и воздуха при сжигании бурого угля Ирша-Бородинского месторождения при температурах для минимальной и максимальной нагрузок работы Красноярской ТЭЦ-1. На основании полученных данных, с учётом климатических характеристик района строительства, конструкции дымовой трубы, физико-химических свойств материалов и геометрии конструкции осуществлены теплотехнические расчеты по определению температурных полей для железобетонной промышленной дымовой трубы высотой 275 м при четырех режимах работы для дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1 и моделируемой дымовой трубы. Моделируемая труба отличается от существующей уменьшенной толщиной футеровки и заменой разделительной стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием «Броня».

По результатам теплотехнических расчётов осуществлён анализ изменений температурных полей по внутренним сечениям дымовой трубы для всей её высоты. Сделаны выводы по становлению более эффективного теплового режима работы дымовой трубы, уменьшению температурного перепада по футеровке и несущему бетону дымовой трубы в каждом сечении для всей высоты дымовой трубы при замене стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием «Броня».

Сделаны выводы о минимизации температурных перепадов по толщине стенки для всех режимов работы моделируемой дымовой трубы по сравнению с существующей дымовой трубой (снижении потенциально опасных термических напряжений, которые приводят к образованию трещин). А также о снижении опасности появления трещин в футеровке и несущем стволе при пуске и останове дымовой трубы за счёт переноса градиента температур из футеровки в многослойное тонкое покрытие «Броня», которое обеспечивает значительное сопротивление теплопередачи; и способности стеклоткани выдерживать большую нагрузку на растяжение по сравнению со стальной сеткой. Отмечено, что тридцати процентный запас по возможному пиковому значению температуры первого слоя покрытия «Броня» со стороны футеровки обеспечивает защиту конструкций дымовой трубы от образования трещин во время «хлопка».

Показана возможность образования конденсата при температуре стенки выше точки росы на существующей дымовой трубе Красноярской ТЭЦ-1, а также о снижении данной вероятности в моделируемом случае. Также отмечено, что низкое значение коэффициента паронепроницаемости покрытия «Броня», высокие показатели химической стойкости у стеклоткани и

вакуумированных керамических микросфер покрытия «Броня» создает химическую защиту несущего бетона, что позволит применять моделируемую конструкцию в условиях использования топлива, которое при сжигании образует более агрессивные по составу дымовые газы и твердые пылеватые частицы, обладающие высокой растворимостью.

Представлены расчёты экономического эффекта замены стальной сетки на стеклоткань с термостойким покрытием, по результатам которых затраты на стоимость материалов при замене стальной сетки на стеклоткань составляют менее 2% от затрат на возведение ствола дымовой трубы (без учета затрат на устройство свайного основания и ростверка фундамента). Сделан вывод о прибыльности рассматриваемого технического решения.

Заключение

В данной диссертационной работе проведен анализ возможности и целесообразности изменения технологии возведения дымовых труб с монолитной футеровкой. Суть впервые предлагаемой технологии основана на замене стальной сетки, служащей разделительным и упрочнительным элементом между основным бетоном и бетоном монолитной футеровки железобетонного ствола дымовой трубы на стеклоткань с термостойким покрытием. Анализ проведен путем определений изменений эксплуатационных показателей железобетонной дымовой трубы при замене сетки из стали на стеклоткань с термостойким покрытием на примере оценки изменения распределения температурного поля по толщине железобетонной стенки дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1.

Показана важность соблюдения температурного и влажностного режима эксплуатации дымовой трубы, а также возможность появления различных видов дефектов и разрушений.

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы о повышении эффективности строительства промышленных дымовых труб с монолитной футеровкой при внедрении инновационных решений, предложенных автором:

1. Снижается риск преждевременного выхода из эксплуатации, и повышаются сроки межремонтной работы дымовой трубы из-за несоблюдения проектного режима работы (главный фактор появления дефектов и разрушений дымовых труб). Уменьшение рисков основано:

- на снижении температурного воздействия на несущий ствол дымовой трубы за счёт сверхнизкой тепловой проводимости защитного покрытия «Броня»;

- на способности покрытия «Броня» к кратковременной пиковой нагрузке без потери качества покрытия;

- на уменьшении температурного перепада по футеровке и несущему бетону дымовой трубы в каждом сечении по всей высоте дымовой трубы;

- на снижении процессов образования трещин за счёт более высокой устойчивости стеклоткани к растяжению;

2. Устанавливается более стабильный тепловой режим работы дымовой трубы (сохранение температуры выше точки росы по всей толщине футеровки на всей высоте дымовой трубы; а также снижение падения температуры на внутренней стенке дымовой трубы по высоте, то есть увеличение тяги трубы и снижение нагрузки на дутьевые вентиляторы котла);

3. Обеспечивается защита несущего бетона от диффузии газа, на молекулярном и молярном уровнях, через пористую структуру футеровки и его фильтрации за счёт низкого коэффициента паропроницаемости покрытия «Броня»;

4. Создается дополнительный химический барьер несущего бетона в случае образования на поверхности футеровки конденсата или фильтрации

дымовых газов через футеровку при непроектном режиме эксплуатации за счёт высокой химической стойкости стеклоткани и вакуумированных керамических микросфер покрытия «Броня»;

5. Ликвидируется риск разрушения конструкции на границе несущий бетон – бетон монолитной футеровки по причине коррозии стали;

6. Значительно снижаются риски появления и развития трещин за счёт свойств стеклоткани;

7. Уменьшается материалоемкость конструкции за счёт уменьшения толщины футеровки из полимерцементного керамзитобетона и замены стальной сетки на стеклоткань;

8. Снижается трудоемкость работ за счёт снижения массы;

9. Создается положительный экономический эффект;

Таким образом, целесообразность впервые предлагаемой технологии обоснована обеспечением дополнительного запаса прочности и надежности, а, следовательно, повышением долговечности конструкций промышленных железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой.

С учётом вышесказанного результаты данной работы могут быть использованы:

- при проектировании дымовых труб в целях снижения трудоёмкости работ, повышения организации строительного производства, сокращения сроков и затрат на строительство, увеличения долговечности конструкций дымовых труб;

- в качестве материала для изучения недостатков при строительстве дымовых труб.

- для более глубокого исследования вопроса применения стеклоткани, в качестве разделительного элемента бетона футеровки и основного бетона железобетонной стенки ствола дымовой трубы. Например, увеличение прочности бетона за счет применения стеклоткани с утком (поперечные волокна ткани) из углеволокна;

- более детального экономического анализа эффективности предлагаемой технологии;

- для апробации на опытных образцах и внедрения указанной в работе технологии в строительство дымовых труб, как со схожими эксплуатационными характеристиками, так и для дымовых труб, работающих с более агрессивными дымовыми газами.

Подводя итог вышесказанному, автор работы полагает, что по результатам выполненной работы доказаны актуальность выполняемой работы, её научная новизна и практическая значимость. Задачи исследования решены, а поставленная цель работы достигнута в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zrinjski, M. Testing and Analysis of Chimney Verticality / M. Zrinjski, A. Tupek, A. Polović, D. Barković // Geodetski List. Croatia, 2019. – UDK 624.971:551.3.053:528.41:519.233.5, 3, 239–260.
2. Дымовые трубы / А. М. Ельшин [и др.] ; под ред. С. В. Сатьянова. – Москва : Стройиздат, 2001. – 296 с.
3. Пашечко, А. И. Дымовые и вентиляционные промышленные трубы. История и проблемы [Электронный ресурс] / А. И. Пашечко, С. Г. Деркач, В. А. Кравчук, И. И. Федотенкова, В. В. Сидорович, С.В. Кузнецов // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2015. - №5(80). – Режим доступа: https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_80/bull_80_55-59.pdf. (Дата обращения 01.12.2019 г.).
4. Пашечко, А. И. Дымовые промышленные трубы. Аварийность и проблемы эксплуатации [Электронный ресурс] / А. И. Пашечко, С. Г. Деркач, В. А. Кравчук, И. И. Федотенкова, В. М. Жоров, Е. А. Подлесняк, О. А. Рудых // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2015. - №5(80). – Режим доступа: https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_80/bull_80_62-65.pdf. (Дата обращения 01.12.2019г.).
5. Сетевое издание РИА Новости Опрос показал, как предприниматели оценивают будущее бизнеса в России [Электронный ресурс] // Международное информационное агентство «Россия сегодня». – 2019. – Режим доступа: <https://ria.ru/20191128/1561724376.html>. (Дата обращения 03.12.2019 г.).
6. Отчетность ПАО «РусГидро» Годовые отчеты за 2005-2018 года [Электронный ресурс] // официальный сайт ПАО «РусГидро». – 2019. – Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/investors/reports/> (Дата обращения 03.12.2019 г.).
7. Крупнейшие компании электроэнергетики [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – 2019. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/4846> (Дата обращения 03.12.2019 г.).
8. Основные характеристики российской электроэнергетики [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – 2019. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/532>. (Дата обращения 03.12.2019г.).
9. НДТ 2017. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 38. М.: 2017. – С. 271.
10. Зачем АЭС труба / Живой журнал [сайт]. – Москва. 2019. Режим доступа: <https://energobar.livejournal.com/426221.html>. (Дата обращения 26.11.2019 г.).

11. Промышленная безопасность дымовых и вентиляционных промышленных труб / редкол. : Н. Х. Абрахманов и др. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2008. – 126 с.
12. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] : приказ Минрегион России от 29.12.2011г. №620 // Профессиональная справочная система «Кодекс». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200092709> (Дата обращения 27.11.2019 г.).
13. Global and Russian Energy Outlook 2019 / ed. A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin; ERI RAS – Moscow School of Management SKOLKOVO – Moscow, 2019 – 210 p. - ISBN 978-5-91438-029-5
14. IEA (2019), World Energy Outlook 2019 , OECD Publishing, Париж. Режим доступа: <https://doi.org/10.1787/caf32f3b-en> (Дата обращения 05.03.2020 г.).
15. Bayati, I. Full scale monitoring of the twin chimneys of the rovinari power plant / I. Bayati, M. Belloli, L. Rosa, A. Zasso // МАТЕС Web of Conferences, 2015. – vol. 24, 8 pages.
16. Пат. 11304 Российская Федерация, МПК F23J 11/00 Многоствольная дымовая труба / Ю. В. Салов, В.В. Варнашов, Л. А. Мокшанов, О. Е. Таран, В. Я. Кузнецов, А. И. Платов, Н. Н. Балдин ; заявитель и патентообладатель Ивановский государственный энергетический университет. – № 98109405/20 ; заявл. 18.05.1998 ; опубл. 16.09.1999.
17. Пат. 02235175 Российская Федерация, МПК 7E 04H 12/28 А, 7 E 04H 12/28 Способ возведения дымовой трубы / О. О. Галинская, А. В. Колганов, В. И. Колганов, О. Г. Цыплаков. - № 2002114923/03 ; заявл. 07.06.2002 ; опубл. 27.08.2004.
18. Пат. 87242 Российская Федерация, МПК F23J 13/02 Железобетонная дымовая труба / В. А. Пазущан, О. В. Пазущан ; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "ТОР-СпецСтрой". – № 2009120081/22 ; заявл. 26.05.2009 ; опубл. 27.09.2009.
19. Пат. 2253723 Российская Федерация, МКП E 04 H 12/28, Газоотводящий стеклопластиковый ствол дымовой трубы и способ сборки газоотводящего стеклопластикового ствола дымовой трубы / А. В. Колганов. - № 2004112235/03 ; заявл. 2004.04.22 ; опубл. 2005.06.10.
20. Методика расчета нагрузок, прочности и ресурса стволов дымовых и вентиляционных промышленных труб / В. Г. Сатьянов [и др.]. – Москва, 2005. – 261 с.
21. Дужих, Ф. П. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы : Справочное изд. / Ф. П. Дужих, В. П. Осоловский, М. Г. Ладыгичев. – Москва : Теплотехник, 2004. – 464 с.
22. Рябов, Г. А. Научное обоснование использования технологии сжигания твёрдых топлив в циркулирующем кипящем слое : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.14.14 / Рябов Георгий Александрович; [Место защиты: Всерос. теплотехн. науч.-исслед. ин-т (ВТИ)]. - Москва, 2016. - 47 с.

23. Волкова, Л.В. Совершенствование метода автоматизированной диагностики функционирующих дымовых труб : автореф. дис. ... канд. технических наук : 05.26.03 / Волкова Любовь Валерьевна. – Уфа, 2017. – 24 с.

24. Рекомендации по повышению надежности дымовых труб ТЭС [Электронный ресурс] : СО ПО по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго" // Профессиональная справочная система «Кодекс». – Москва, 1987. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035708> (Дата обращения 10.03.2021 г.).

25. Об утверждении Методических указаний по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб [Электронный ресурс] : Постановление Госгортехнадзора РФ от 18.06.2003 №95 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43249/ (Дата обращения 05.12.2019 г.).

26. СП 13-101-99 Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб [Электронный ресурс] : Постановление Госстроя России от 14.07.99 №2 // Профессиональная справочная система «Кодекс». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004529> (Дата обращения 02.12.2019 г.).

27. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами / Центр. н.-и. и проект.-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву Госстроя СССР ; ред. М. А. Жарикова. – Москва : Стройиздат, 1981. – 56 с.

28. ВСН 430-82 Инструкция по возведению монолитных железобетонных труб и башенных градирен / Минмонтажспецстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1983. – 84 с.

29. СО 34.21.667. Рекомендации по защите от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций водоподготовительной установки [Электронный ресурс] : Утверждены главным инженером Союзтехэнерго Г.Г. Яковлевым 26 января 1982 г. // База ГОСТов, бесплатная нормативная документация – Режим доступа: http://www.xjob.ru/%D0%A1%D0%9E_34.21.667 (Дата обращения 19.02.2020 г.).

30. Коткова, О. Н. Мониторинг безопасности дымовой трубы предприятия нефтехимии / О.Н. Коткова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – Самара, 2013.- Т.3, №3. – С. 81-84.

31. Деркач, С. Г. Анализ влияния отбора проб бетона стволы, полученных методом кернения, на несущую способность стволы промышленных дымовых и вентиляционных железобетонных труб [Электронный ресурс] / С. Г. Деркач, В. М. Жоров, Е. А. Подлесняк [и др.] // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2015. – №6(81). – Режим доступа:

https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_81/bull_81_34-36.pdf (Дата обращения 01.12.2019 г.).

32. ГОСТ Р 56728-2015 Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции [Электронный ресурс] : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19.11.2015г. №1892-ст // Профессиональная справочная система «Кодекс». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200127225> (Дата обращения 04.01.2020 г.).

33. Carvalho, H. Dynamic analysis of a concrete chimney considering the aerodynamic damping / H. Carvalho, G. Queiroz, P. M. L. Vilela, R. H. Fakury // Ibracon structures and materials journal. Belo Horizonte, MG, Brazil, 2019. – ISSN: 1983-4195, vol. 12, issue 2, pages 308-328.

34. Cheng, X. Seismic Response and Safety Assessment of an Existing Concrete Chimney under Wind Load / X. Cheng, H. Qian, C. Wang, X. Fu // Shock and Vibration, Hindawi, 2018, Article ID 1513479, 12 pages.

35. Рихтер, Л. А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций : уч. пос. для вузов / Л. А. Рихтер, Д. П. Елизаров, В. М. Лавыгин. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

36. Рихтер, Л. А. Газовоздушные тракты тепловых электростанций / Л. А. Рихтер. – Москва : Энергоатомиздат, 1969. – 272 с.

37. Баженов, М. И. Промышленные тепловые электростанции: Учебник для вузов / М. И. Баженов, А. С. Богородский, Б. В. Сазанов, В. Н. Юренев ; под ред. Е. Я. Соколова. – 2-е изд., перераб. – Москва : Энергия, 1979. – 296 с.

38. Мишнёв, М. В. Сэндвичевые стеклопластиковые оболочки с минераловатным наполнителем : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.01 / Мишнёв Максим Владимирович. – Челябинск, 2007. – 21 с.

39. Лесовик, В. С. Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего / В. С. Лесовик, Д. Ю. Попов, Е. С. Глаголев // Строительные материалы. 2017. – № 3. – С. 81–84.

40. Попов, Д. Ю. Повышение эффективности текстиль-бетона : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Попов Дмитрий Юрьевич. – Пенза, 2018. – 24 с.

41. Столяров, О. Н. Текстильно-армированный бетон для строительства и эксплуатации зданий и сооружений : автореф. дис. ... док. тех. наук : 05.23.01 / Столяров Олег Николаевич. – Санкт-Петербург, 2020. – 36 с.

42. Каримова, Е. Н. Методы проектирования и технология изготовления рефлекторов из полимерных композиционных материалов : автореф. дис. ... магистр техн. наук : 15.04.05 / Каримова Елена Николаевна. – Красноярск, 2016. – 14 с.

43. Акатьев, В. А. Учет начальных признаков критической деградации дымовой трубы в анализе риска ее разрушения / В. А. Акатьев, Л. В. Волкова, М. П. Тюрин, Е. С. Бородина // Безопасность в техносфере, 2018. – том 7, №4. – С. 11-16.

44. Maj, M. Non-Destructive Testing of Technical Conditions of RC Industrial Tall Chimneys Subjected to High Temperature / M. Maj,, A. Ubysz, H. Hammadeh, F. Askifi // Materials. – Basel, Switzerland, 2019. – ISSN: 1996-1944, vol. 12, issue 12, page 2027.

45. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1991. — 767 с.

46. Структура предприятий АО «СГК» // АО Группа Компаний СУЭК [сайт]. — Москва, 2020. — Режим доступа: https://www.sibgenco.ru/about/new_map/ (Дата обращения 01.12.2019 г.).

47. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод) / Н.В. Кузнецов [и др.]. — Москва : Энергия, 1973. — 296 с.

48. Богачева, Т. М. Расчёт продуктов горения топлив в энергетических котлах и вредных выбросов в окружающую среду : м.у. к практическим занятиям по дисциплине «Экологические проблемы энергетики» / Т. М. Богачева. - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 14 с.

49. Аэродинамический расчёт котельных установок (нормативный метод). Под ред. С. И. Мочана. Изд. 3-е. — Ленинград : Энергия, 1977. — 256 с.

50. Михеев, М.А., Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. — Изд. 2-е, стереотип. — Москва : Энергия, 1977. — 344 с.

51. СП 131.13330.2018 Строительная климатология [Электронный ресурс] : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 28.11.2018г. №763/пр // Профессиональная справочная система «Кодекс». — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/554402860> (Дата обращения 04.01.2021 г).

52. ТУ 2216-006-09560516-2013 Жидкие керамические теплоизоляционные покрытия серии «Броня». — Введ. 08.07.2013. — Волгоград : Росстандарт, 2015. — 17 с.

53. Полная таблица теплопроводности различных строительных материалов / ООО «ДАНЕСКО ТРЕЙДИНГ» [сайт]. — Красноярск, 2021. — Режим доступа: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlitchnh-stroitelnyh-materialov.html> (Дата обращения 09.01.2021 г.).

54. Дымовые трубы: традиции и инновации / В. М. Асташкин [и др.]. — Челябинск : ЮУрГУ, 2011. — 496 с.

55. Мустяцэ, В.Т. Исследование температурного поля и технического состояния дымовой трубы на ТЭЦ-1 г. Кишинёва / В.Т. Мустяцэ, Н.А. Бутенко, А.М. Вареник // International conference “Energy of Moldova – 2012. Regional aspects of development”. — Кишинёв : Технический университет Молдовы, октябрь 4-6, 2012. — С. 135-140.

56. Варнашов, В.В. Расчётные исследования режимов работы кирпичных дымовых труб в условиях эксплуатации / В.В. Варнашов , А.А. Киселев, В.С. Гребнов // Вестник ИГЭУ. — Иваново, 2016. — №1. — С. 1-9.

57. Стриха, И. И. Аналитическое определение показателей теплового состояния дымовых труб с прижимной футеровкой / И. И. Стриха //

Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2008. – №1. – С. 49-61.

58. Фоменко, Н. А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов : дис. ... кандидата технических наук : 25.00.36 / Фоменко Наталья Александровна. – Москва, 2019. – 110 с.

59. Экономическая эффективность технических решений : учебное пособие / С. Г. Баранчикова [и др.] ; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург : Урал. Ун-т, 2016. – 140 с.

60. Калькуляторы теплотермического расчета / ООО НПО «Броня». // ООО Группа компаний «Волгоградский инновационный ресурсный центр» [сайт]. – Волгоград, 2021. – Режим доступа: <https://nano34.ru/calculators/> (Дата обращения 05.03.2021 г.).

61. Каталог продукции (жидкая теплоизоляция) / ООО НПО «Броня». // ООО Группа компаний «Волгоградский инновационный ресурсный центр» [сайт]. – Москва, 2021. – Режим доступа: <https://www.броня-теплоизоляция.рф/collection/zhidkaya-teploizolyatsiya> (Дата обращения 05.03.2021 г.).

62. Стеклопластиковые технологии. Каталог стеклотканей / ООО «Стеклопластиковые технологии» // Компания "РАОГРУПП" [сайт]. – Москва, 2021. – Режим доступа: <https://raosteklotkan.ru/catalog/steklotkan> (Дата обращения 05.03.2021 г.).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Доли крупнейших компаний электроэнергетики России в генерации электроэнергии

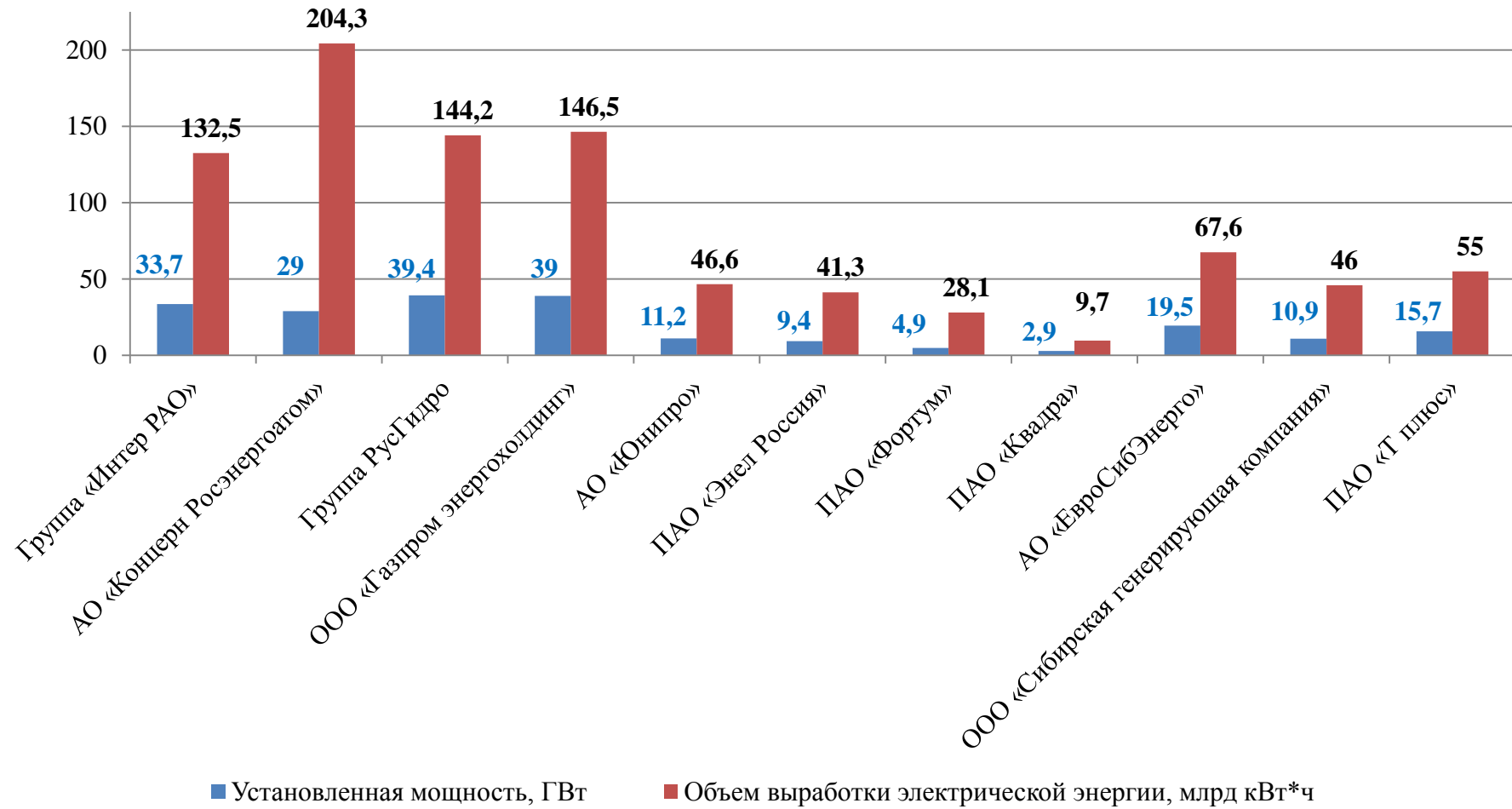


Рисунок А.1 Установленная мощность и объем выработки электроэнергии крупнейших электроэнергетических компаний России

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Общий порядок проведения комплексных обследований дымовых труб

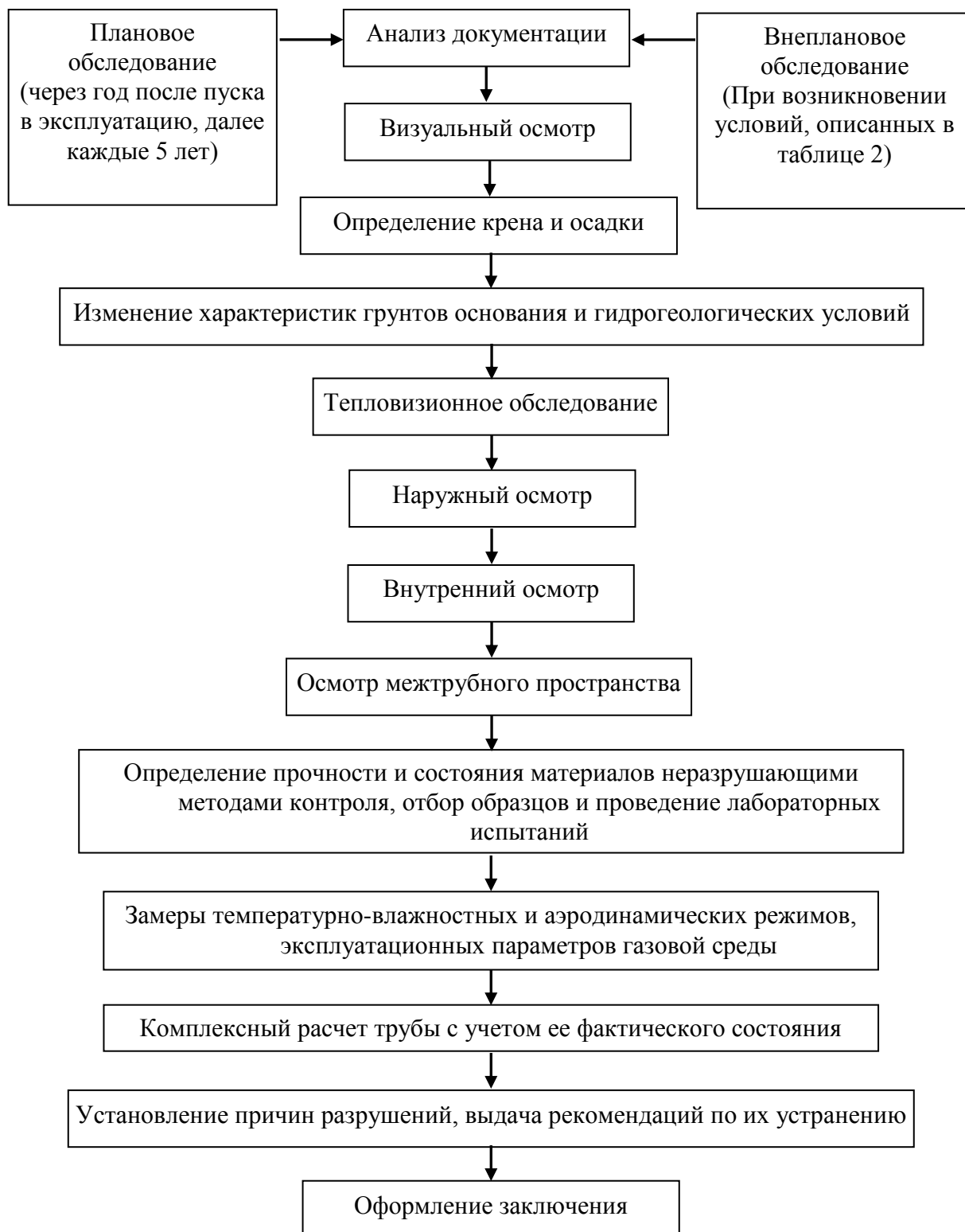


Рисунок Б.1 Блок-схема последовательности проведения комплексного обследования дымовой трубы

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические характеристики дымовой трубы Красноярской ТЭЦ-1

Таблица В.1 – Технические характеристики дымовой трубы

Наименование параметра	Значение параметра, единица измерения
Даты строительства	2018 – 2020 гг.
Дата ввода в эксплуатацию	26.10.2020 г.
Высота трубы	275, м
Уклон	с отм. 0,000 до отм. +215,000 от 8% вниз до 1,7 вверх; с отм. +215,000 – цилиндр.
Высота футеровки	270 м. (от отм. +5,000);
Материал ствола	монолитный железобетон, бетон класса по прочности на сжатие В30; коэффициент теплопроводности 1,69 Вт/м°C
Материал футеровки	полимерцементный керамзитобетон, класс прочности на сжатие В12,5; средняя плотность D1600; водонепроницаемость W6; коэффициент теплопроводности 0,45 Вт/м°C
Проемы под газоходы	на отм. +6,500 два диаметрально противоположных проема с размером по бетону 12 820 (h)*13 350 мм (проем №1) и 10 500 (h)*8 000 мм (проем №2);
Монтажные проемы 1 250 (h)*650 мм;	на отм. +56,450; +101,450; +136,450; +181,450; +226,450; +171,450
Минимальная нагрузка	объем отводимых газов – 165,5 м ³ /с температура отводимых газов – +167 °С
Максимальная нагрузка	объем отводимых газов – 274 м ³ /с температура отводимых газов +200 °С
Температура точки росы	+127 °С

Таблица В.2 – Геометрические характеристики дымовой трубы по высоте

Номер секции	Отметка низа секции, м	Толщина футеровки, мм	Толщина тяжелого бетона, мм	Общая толщина стенки, мм	Внутренний радиус, мм	Внешний радиус, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	0.000	0	750	750	13 600	14 350
2	+2.500	0	950 650	950 650	13150 13450	14 100
3	+5.000	250	650	900	13 250	13 900
4	+7.500	250	650	900	13 050	13 700
5	+10.000	250	650	900	12 850	13 500
6	+12.500	250	650	900	12 650	13 300
7	+15.000	250	650	900	12 450	13 100
8	+17.500	250	650	900	12 250	12 900
9	+20.000	250	650	900	12 050	12 700
10	+22.500	250	750 650	1000 900	11550 11850	12300 12500
11	+25.000	250	500	750	11 800	12 300

Продолжение таблицы В.2

1	2	3	4	5	6	7
12	+27.500	250	500	750	11 630	12 130
13	+30.000	250	500	750	11 460	11 960
14	+32.500	250	500	750	11 290	11 790
15	+35.000	250	700 500	950 750	10750 11120	11 620
16	+37.500	250	450	700	11 000	11 450
17	+40.000	250	450	700	10 830	11 280
18	+42.500	250	450	700	10 660	11 110
19	+45.000	250	450	700	10 490	10 940
20	+47.500	250	640 450	890 700	9960 10320	10 770
21	+50.000	220	420	640	10 180	10 600
22	+52.500	220	420	640	10 055	10 475
23	+55.000	220	420	640	9 930	10 350
24	+57.500	220	420	640	9 805	10 225
25	+60.000	220	420	640	9 680	10 100
26	+62.500	220	620 420	840 640	9230 9555	9 975
27	+65.000	220	400	620	9 450	9 850
28	+67.500	220	400	620	9 325	9 725
29	+70.000	220	400	620	9 200	9 600
30	+72.500	220	400	620	9 075	9 475
31	+75.000	220	400	620	8 950	9 350
32	+77.500	220	600 400	820 620	8500 8825	9 225
33	+80.000	220	380	600	8 720	9 100
34	+82.500	220	380	600	8 595	8 975
35	+85.000	220	380	600	8 470	8 850
36	+87.500	220	380	600	8 345	8 725
37	+90.000	220	380	600	8 220	8 600
38	+92.500	220	580 380	800 600	7770 8095	8 475
39	+95.000	220	360	580	7 990	8 350
40	+97.500	220	360	580	7 865	8 225
41	+100.000	220	360	580	7 740	8 100
42	+102.500	220	360	580	7 615	7 975
43	+105.000	220	360	580	7 490	7 850
44	+107.500	220	540 360	760 580	7060 7365	7 725
45	+110.000	220	340	560	7 260	7 600
46	+112.500	220	340	560	7 185	7 525
47	+115.000	220	340	560	7 110	7 450
48	+117.500	220	340	560	7 035	7 375
49	+120.000	220	340	560	6 960	7 300
50	+122.500	220	540 340	760 560	6610 6885	7 225
51	+125.000	220	320	540	6 830	7 150

Продолжение таблицы В.2

1	2	3	4	5	6	7
52	+127.500	220	320	540	6 755	7 075
53	+130.000	220	320	540	6 680	7 000
54	+132.500	220	320	540	6 605	6 925
55	+135.000	220	320	540	6 530	6 850
56	+137.500	220	520 320	740 540	6180 6455	6 775
57	+140.000	220	300	520	6 400	6 700
58	+142.500	220	300	520	6 325	6 625
59	+145.000	220	300	520	6 250	6 550
60	+147.500	220	300	520	6 175	6 475
61	+150.000	220	300	520	6 100	6 400
62	+152.500	220	480 300	700 520	5770 6025	6 325
63	+155.000	200	280	480	5 970	6 250
64	+157.500	200	280	480	5 895	6 175
65	+160.000	200	280	480	5 820	6 100
66	+162.500	200	280	480	5 745	6 025
67	+165.000	200	280	480	5 670	5 950
68	+167.500	200	460 280	660 480	5340 5595	5 875
69	+170.000	200	260	460	5 540	5 800
70	+172.500	200	260	460	5 490	5 750
71	+175.000	200	260	460	5 440	5 700
72	+177.500	200	260	460	5 390	5 650
73	+180.000	200	260	460	5 340	5 600
74	+182.500	200	460 260	660 460	5040 5290	5 550
75	+185.000	200	260	460	5 240	5 500
76	+187.500	200	260	460	5 190	5 450
77	+190.000	200	260	460	5 140	5 400
78	+192.500	200	260	460	5 090	5 350
79	+195.000	200	260	460	5 040	5 300
80	+197.500	200	440 260	640 460	4760 4990	5 250
81	+200.000	200	240	440	4 960	5 200
82	+202.500	200	240	440	4 917	5 157
83	+205.000	200	240	440	4 874	5 114
84	+207.500	200	240	440	4 830	5 070
85	+210.000	200	240	440	4 787	5 027
86	+212.500	200	440 240	640 440	4500 4744	4 984
87	+215.000	200	240	440	4 700	4 940
88	+217.500	200	240	440	4 700	4 940
89	+220.000	200	240	440	4 700	4 940
90	+222.500	200	240	440	4 700	4 940
91	+225.000	200	240	440	4 700	4 940

Окончание таблицы В.2

1	2	3	4	5	6	7
92	+227.500	200	440 240	640 440	4500 4700	4 940
93	+230.000	200	240	440	4 700	4 940
94	+232.500	200	240	440	4 700	4 940
95	+235.000	200	240	440	4 700	4 940
96	+237.500	200	240	440	4 700	4 940
97	+240.000	200	240	440	4 700	4 940
98	+242.500	200	440 240	640 440	4500 4700	4 940
99	+245.000	200	240	440	4 700	4 940
100	+247.500	200	240	440	4 700	4 940
101	+250.000	200	240	440	4 700	4 940
102	+252.500	200	240	440	4 700	4 940
103	+255.000	200	240	440	4 700	4 940
104	+257.500	200	440 240	640 440	4500 4700	4 940
105	+260.000	200	240	440	4 700	4 940
106	+262.500	200	240	440	4 700	4 940
107	+265.000	200	240	440	4 700	4 940
108	+267.500	200	240	440	4 700	4 940
109	+270.000	200	240	440	4 700	4 940
110	+272.500	200	240	440	4 700	4 940
111	+275.000	200	250 240	450 440	4700 4700	4950 4940

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Методики проведения теплотехнических расчетов программного комплекса «СТЕНА»

Передача теплоты считается сложным физическим процессом, который заключается в переносе теплоты излучением, кондуктивной теплопроводностью, конвекцией, и совершается при помощи:

- теплопроводности твердого скелета, образующего пористую структуру материала;
- теплопроводности газа, находящегося в порах и капиллярах;
- излучения между стенками пор и капилляров;
- конвективного переноса теплоты за счет конвективных токов газа в пористой структуре теплоизоляции.

Расчет температурных полей ограждающих конструкций дымовых труб выполняют последовательно по зонам. Для установившегося стационарного режима работы температуру по толщине ограждающих конструкций в расчетной зоне определяют по формуле:

$$t_x = t_r - \frac{t_r - t_B}{R_0(R_r + \sum_1^x R_i)} \quad (\text{Г.1})$$

где t_r - температура дымовых газов, °С;

t_B - температура (расчетная) наружного воздуха – определяется как средняя температура наиболее холодной пятидневки, °С;

R_0 – общее термическое сопротивление ограждения теплопередаче;

R_r – термическое сопротивление при теплоотдаче от дымовых газов к внутренней поверхности ствола;

R_i – термическое сопротивление i -го пояса на 1 м высоты трубы, м·К/Вт;

Общее термическое сопротивление ограждения теплопередаче находят из выражения:

$$R_0 = R_r + \sum_i^n R_i + R_B \quad (\text{Г.2})$$

где R_B - термическое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности ствола к наружному воздуху.

Термическое сопротивление при теплоотдаче от дымовых газов к внутренней поверхности ствола; определяется как для цилиндрической стенки среднего для зоны диаметра на 1 м ее высоты:

$$R_r = 1/\alpha_1 d_1 \quad (\text{Г.3})$$

где d_1 - средний диаметр дымового канала в пределах расчетной зоны, м;

α_1 - коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к внутренней поверхности дымового канала, Вт/(м²·К)

Коэффициент теплоотдачи зависит от многих факторов, наиболее существенными из которых являются вид движения газа (ламинарный или турбулентный), скорость газа, его теплофизические характеристики (плотность, теплопроводность, теплоемкость, кинематическая вязкость), геометрические размеры трубы, наличие фазовых переходов, и определяется по формуле:

$$\alpha_1 = Nu\lambda/d_1 \quad (\text{Г.4})$$

где λ - теплопроводность дымовых газов, Вт/(м·К);

Nu — критерий Нуссельта;

Критерий Нуссельта рассчитывают по зависимости:

$$Nu = 0,032Re^{0,8}Pr^{0,3}\left(\frac{d_1}{h}\right)^{0,054} \quad (\text{Г.5})$$

где Re — критерий Рейнольдса;

Pr — критерий Прандтля;

h — высота расчетной зоны, м.

Критерий Рейнольдса определяют исходя из формулы:

$$Re = Wd_1/\gamma \quad (\text{Г.6})$$

где W - средняя скорость дымовых газов в пределах расчетной зоны, м/с;

γ — коэффициент кинематической вязкости дымовых газов;

Для цилиндрической стенки термическое сопротивление i -го пояса на 1 м высоты трубы, м·К/Вт, определяют по формуле:

$$R_i = \frac{1}{2\lambda_i} \ln(d_i/d_{i-1}) \quad (\text{Г.7})$$

где d_i, d_{i-1} - наружный и внутренний диаметры i -го пояса трубы, м;

λ_i — коэффициент теплопроводности материала i -го пояса Вт/(м·К);

Термическое сопротивление при теплоотдаче от наружной поверхности ствола к наружному воздуху рассчитывают следующим образом:

$$R_B = 1/\alpha_2 d_2 \quad (\text{Г.8})$$

где d_2 - средний наружный диаметр ствола в пределах расчетной зоны, м;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки ствола к воздуху, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи от наружной стенки ствола к воздуху определяют по скорости ветра по румбам v_b :

$$\alpha_2 = 5 + 10\sqrt{v_b} \quad (\Gamma.9)$$

Для учета высотности, в зависимости от высотной отметки расчетной зоны, принимаются следующие значения коэффициента теплоотдачи: от 0 до 20 м - 23,3 Вт/(м²·К); от 20 до 80 м — 34,9 Вт/(м²·К); от 80 до 120 м — 46,5 Вт/(м²·К); от 120 до 250 м — 58,2 Вт/(м²·К);

При отношении общей толщины слоев ограждающих конструкций трубы к ее наружному диаметру в пределах расчетной зоны меньше чем 1/10 разницей в площадях тепловоспринимающей и теплоотдающей поверхностей позволительно пренебречь. В этом случае расчет температурных полей ограждающих конструкций дымовой трубы осуществляют с использованием формул теплопередачи через плоскую стенку, тогда термические сопротивления для формулы (Г.2) находят по следующим зависимостям:

$$R_r = 1/\alpha_1, \quad (\Gamma.10)$$

$$R_i = \frac{\sigma_i}{\lambda_i}, \quad (\Gamma.11)$$

$$R_B = 1/\alpha_2 \quad (\Gamma.12)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Описание и технические характеристики керамического теплоизоляционного покрытия серии «Броня»

Жидкие керамические теплоизоляционные покрытия серии «Броня» (далее покрытия «Броня») представляют собой смесь жидкой водно-дисперсионной композиции, состоящей из стирол-акриловых полимеров, пигментирующих, антипиреновых и ингибирующих добавок и керамического наполнителя вакуумированных микросфер.

Покрытия «Броня» предназначены для промышленного и бытового применения в качестве тепловой и антикоррозионной изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений, трубопроводов, воздухопроводов, технологического оборудования, резервуаров, судовых конструкций и так далее любой конфигурации из металла, пластика, бетона, кирпича и других материалов при температуре эксплуатации от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зависит от модификации).

Покрытия «Броня», рассматриваемые в данной работе:

- «Броня Классик» – предназначен для промышленного и бытового применения в качестве тепловой изоляции металлических, пластиковых, бетонных поверхностей, а так же для нанесения на надводные части судового оборудования (с предварительной подготовкой поверхности) и температурой эксплуатации от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в пиковом, кратковременном режиме до $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- «Броня Антикор» – предназначен для промышленного и бытового применения в качестве тепловой и антикоррозионной изоляции металлических поверхностей без необходимости предварительной подготовки с температурой эксплуатации от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Покрытия серии «Броня» по физико-механическим показателям соответствует данным, указанным в таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Технические характеристики покрытия «Броня»

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
1	2
Внешний вид покрытия	Ровная, однородная, полугладкая поверхность
Коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$1,4\pm 0,7$
Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м }^{\circ}\text{C}$	$0,001\pm 0,0002$
Устойчивость к воздействию переменных температур для следующих модификаций, $^{\circ}\text{C}$: - «Броня Классик» - до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$; - «Броня Антикор» - до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$;	Без изменений

Окончание таблицы Д.1

1	2
Линейное удлинение, % - в сухом состоянии; - после выдержки на воздухе в течении 1 ч при температуре 20 ± 2 °С	не менее 1 не менее 2
Группа Горючести	Г1
Коэффициент паропроницаемости, Мг/м ч Па:	0,001

РЕЖИМ # 1

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 165.5нм3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%
 V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 266.7 167.0 -39.0 .815 4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.H ст.	W газов
275.00	9.40	9.00	.72	.00	4.19
260.00	9.40	9.00	.72	-10.48	4.19
245.00	9.40	9.00	.72	-20.95	4.19
230.00	9.40	9.00	.72	-31.43	4.19
215.00	9.40	9.00	.72	-41.90	4.19
200.00	9.92	9.52	.58	-52.24	3.75
185.00	10.48	10.08	.46	-62.61	3.34
170.00	11.08	10.68	.36	-73.01	2.98
155.00	11.94	11.54	.27	-83.41	2.55
140.00	12.80	12.36	.20	-93.85	2.22
125.00	13.66	13.22	.16	-104.31	1.94
110.00	14.52	14.08	.12	-114.78	1.71
95.00	15.98	15.54	.08	-125.25	1.41
80.00	17.44	17.00	.06	-135.74	1.18
65.00	18.90	18.46	.04	-146.23	1.00
50.00	20.36	19.92	.03	-156.73	.86
37.50	22.00	21.50	.02	-165.49	.73
25.00	23.60	23.10	.02	-174.24	.64
15.00	24.90	24.40	.01	-181.25	.57
5.00	26.50	26.00	.01	-188.25	.50

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	153.04	136.84	7.80	7.80	7.80	7.80	-31.55	129.04	.00	.00	39.35
260.00	153.60	137.37	7.97	7.97	7.97	7.97	-31.50	129.41	.00	.00	39.46
245.00	154.16	137.91	8.13	8.13	8.13	8.13	-31.44	129.78	.00	.00	39.58
230.00	154.72	138.46	8.30	8.30	8.30	8.30	-31.39	130.15	.00	.00	39.69
215.00	155.29	138.27	8.37	8.37	8.37	8.37	-31.34	129.90	.00	.00	39.71
200.00	155.88	138.50	10.86	10.86	10.86	10.86	-31.43	127.64	.00	.00	42.29
185.00	156.50	138.51	10.98	10.98	10.98	10.98	-31.37	127.52	.00	.00	42.35
170.00	157.16	138.65	13.41	13.41	13.41	13.41	-31.45	125.24	.00	.00	44.86
155.00	157.86	140.21	12.56	12.56	12.56	12.56	-31.96	127.66	.00	.00	44.51
140.00	158.55	140.68	14.85	14.85	14.85	14.85	-32.00	125.82	.00	.00	46.85
125.00	159.28	141.30	17.14	17.14	17.14	17.14	-32.03	124.15	.00	.00	49.17
110.00	160.05	141.62	19.35	19.35	19.35	19.35	-32.04	122.27	.00	.00	51.39
95.00	160.89	142.44	21.66	21.66	21.66	21.66	-32.03	120.79	.00	.00	53.69
80.00	161.79	143.47	24.00	24.00	24.00	24.00	-32.00	119.48	.00	.00	55.99
65.00	162.76	144.61	26.34	26.34	26.34	26.34	-31.93	118.27	.00	.00	58.27
50.00	163.80	147.08	24.49	24.49	24.49	24.49	-32.43	122.58	.00	.00	56.93
37.50	164.66	148.38	29.11	29.11	29.11	29.11	-32.44	119.28	.00	.00	61.55
25.00	165.56	150.62	40.66	40.66	40.66	40.66	-32.81	109.97	.00	.00	73.46
15.00	166.26	151.24	41.12	41.12	41.12	41.12	-32.61	110.13	.00	.00	73.73

РЕЖИМ # 2

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 274.0м3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%

V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 474.7 200.0 -39.0 .748 4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.Н ст.	W газов
275.00	9.40	9.00	2.13	.00	7.46
260.00	9.40	9.00	2.13	-11.25	7.46
245.00	9.40	9.00	2.13	-22.50	7.46
230.00	9.40	9.00	2.13	-33.75	7.46
215.00	9.40	9.00	2.13	-45.00	7.46
200.00	9.92	9.52	1.70	-55.83	6.67
185.00	10.48	10.08	1.35	-66.77	5.95
170.00	11.08	10.68	1.07	-77.80	5.30
155.00	11.94	11.54	.79	-88.83	4.54
140.00	12.80	12.36	.60	-99.97	3.96
125.00	13.66	13.22	.46	-111.17	3.46
110.00	14.52	14.08	.36	-122.41	3.05
95.00	15.98	15.54	.24	-133.64	2.50
80.00	17.44	17.00	.17	-144.92	2.09
65.00	18.90	18.46	.12	-156.22	1.77
50.00	20.36	19.92	.09	-167.55	1.52
37.50	22.00	21.50	.07	-176.98	1.31
25.00	23.60	23.10	.05	-186.43	1.13
15.00	24.90	24.40	.04	-193.99	1.02
5.00	26.50	26.00	.03	-201.55	.89

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	189.83	175.67	18.14	18.14	18.14	18.14	-29.90	157.53	.00	.00	48.04
260.00	190.24	176.08	18.27	18.27	18.27	18.27	-29.85	157.80	.00	.00	48.12
245.00	190.66	176.48	18.41	18.41	18.41	18.41	-29.80	158.07	.00	.00	48.21
230.00	191.07	176.89	18.55	18.55	18.55	18.55	-29.74	158.34	.00	.00	48.29
215.00	191.49	176.61	18.62	18.62	18.62	18.62	-29.68	157.99	.00	.00	48.30
200.00	191.93	176.65	21.58	21.58	21.58	21.58	-29.81	155.08	.00	.00	51.38
185.00	192.39	176.49	21.68	21.68	21.68	21.68	-29.74	154.81	.00	.00	51.42
170.00	192.87	176.42	24.55	24.55	24.55	24.55	-29.84	151.87	.00	.00	54.40
155.00	193.39	177.62	23.32	23.32	23.32	23.32	-30.49	154.30	.00	.00	53.81
140.00	193.89	177.84	25.99	25.99	25.99	25.99	-30.55	151.85	.00	.00	56.54
125.00	194.43	178.19	28.63	28.63	28.63	28.63	-30.60	149.56	.00	.00	59.23
110.00	194.99	178.25	31.18	31.18	31.18	31.18	-30.63	147.07	.00	.00	61.81
95.00	195.60	178.74	33.79	33.79	33.79	33.79	-30.64	144.95	.00	.00	64.43
80.00	196.26	179.42	36.40	36.40	36.40	36.40	-30.62	143.01	.00	.00	67.02
65.00	196.96	180.18	39.00	39.00	39.00	39.00	-30.56	141.18	.00	.00	69.56
50.00	197.71	182.22	36.49	36.49	36.49	36.49	-31.19	145.74	.00	.00	67.68
37.50	198.33	183.19	41.76	41.76	41.76	41.76	-31.22	141.43	.00	.00	72.98
25.00	198.97	185.07	55.13	55.13	55.13	55.13	-31.68	129.94	.00	.00	86.81
15.00	199.47	185.45	55.52	55.52	55.52	55.52	-31.46	129.93	.00	.00	86.98

РЕЖИМ # 3

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 165.5м3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%
 V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 266.7 167.0 25.1 .815 1.0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.Н ст.	W газов
275.00	9.40	9.00	.72	.00	4.19
260.00	9.40	9.00	.72	-5.62	4.19
245.00	9.40	9.00	.72	-11.23	4.19
230.00	9.40	9.00	.72	-16.85	4.19
215.00	9.40	9.00	.72	-22.46	4.19
200.00	9.92	9.52	.58	-27.94	3.75
185.00	10.48	10.08	.46	-33.45	3.34
170.00	11.08	10.68	.36	-38.99	2.98
155.00	11.94	11.54	.27	-44.53	2.55
140.00	12.80	12.36	.20	-50.11	2.22
125.00	13.66	13.22	.16	-55.71	1.94
110.00	14.52	14.08	.12	-61.32	1.71
95.00	15.98	15.54	.08	-66.93	1.41
80.00	17.44	17.00	.06	-72.56	1.18
65.00	18.90	18.46	.04	-78.19	1.00
50.00	20.36	19.92	.03	-83.83	.86
37.50	22.00	21.50	.02	-88.53	.73
25.00	23.60	23.10	.02	-93.24	.64
15.00	24.90	24.40	.01	-97.00	.57
5.00	26.50	26.00	.01	-100.77	.50

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	157.56	146.93	60.24	60.24	60.24	60.24	33.81	86.69	.00	.00	26.44
260.00	157.94	147.29	60.37	60.37	60.37	60.37	33.86	86.92	.00	.00	26.51
245.00	158.32	147.65	60.50	60.50	60.50	60.50	33.92	87.16	.00	.00	26.58
230.00	158.70	148.02	60.63	60.63	60.63	60.63	33.98	87.39	.00	.00	26.65
215.00	159.08	147.91	60.69	60.69	60.69	60.69	34.03	87.22	.00	.00	26.66
200.00	159.48	148.08	62.33	62.33	62.33	62.33	33.92	85.75	.00	.00	28.41
185.00	159.90	148.11	62.44	62.44	62.44	62.44	33.98	85.68	.00	.00	28.46
170.00	160.35	148.23	64.04	64.04	64.04	64.04	33.89	84.19	.00	.00	30.15
155.00	160.82	149.25	63.28	63.28	63.28	63.28	33.30	85.97	.00	.00	29.98
140.00	161.29	149.57	64.81	64.81	64.81	64.81	33.25	84.76	.00	.00	31.56
125.00	161.78	149.99	66.34	66.34	66.34	66.34	33.21	83.65	.00	.00	33.13
110.00	162.30	150.23	67.82	67.82	67.82	67.82	33.18	82.41	.00	.00	34.64
95.00	162.87	150.78	69.37	69.37	69.37	69.37	33.18	81.41	.00	.00	36.19
80.00	163.48	151.47	70.94	70.94	70.94	70.94	33.20	80.53	.00	.00	37.74
65.00	164.14	152.21	72.52	72.52	72.52	72.52	33.25	79.69	.00	.00	39.27
50.00	164.84	153.81	71.08	71.08	71.08	71.08	32.67	82.73	.00	.00	38.42
37.50	165.42	154.66	74.16	74.16	74.16	74.16	32.62	80.50	.00	.00	41.54
25.00	166.02	156.12	81.81	81.81	81.81	81.81	32.18	74.30	.00	.00	49.64
15.00	166.50	156.53	82.16	82.16	82.16	82.16	32.36	74.37	.00	.00	49.79

РЕЖИМ # 4

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 274.0нм3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%

V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 474.7 200.0 25.1 .748 1.0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.Н ст.	W газов
275.00	9.40	9.00	2.13	.00	7.46
260.00	9.40	9.00	2.13	-6.39	7.46
245.00	9.40	9.00	2.13	-12.78	7.46
230.00	9.40	9.00	2.13	-19.17	7.46
215.00	9.40	9.00	2.13	-25.56	7.46
200.00	9.92	9.52	1.70	-31.53	6.67
185.00	10.48	10.08	1.35	-37.61	5.95
170.00	11.08	10.68	1.07	-43.78	5.30
155.00	11.94	11.54	.79	-49.95	4.54
140.00	12.80	12.36	.60	-56.23	3.96
125.00	13.66	13.22	.46	-62.57	3.46
110.00	14.52	14.08	.36	-68.95	3.05
95.00	15.98	15.54	.24	-75.32	2.50
80.00	17.44	17.00	.17	-81.74	2.09
65.00	18.90	18.46	.12	-88.18	1.77
50.00	20.36	19.92	.09	-94.64	1.52
37.50	22.00	21.50	.07	-100.03	1.31
25.00	23.60	23.10	.05	-105.43	1.13
15.00	24.90	24.40	.04	-109.75	1.02
5.00	26.50	26.00	.03	-114.07	.89

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	192.71	182.77	70.58	70.58	70.58	70.58	36.37	112.19	.00	.00	34.21
260.00	193.01	183.06	70.69	70.69	70.69	70.69	36.43	112.37	.00	.00	34.27
245.00	193.31	183.35	70.81	70.81	70.81	70.81	36.49	112.54	.00	.00	34.32
230.00	193.61	183.64	70.92	70.92	70.92	70.92	36.55	112.72	.00	.00	34.37
215.00	193.91	183.45	70.99	70.99	70.99	70.99	36.61	112.46	.00	.00	34.38
200.00	194.22	183.49	73.05	73.05	73.05	73.05	36.45	110.44	.00	.00	36.60
185.00	194.55	183.39	73.15	73.15	73.15	73.15	36.53	110.25	.00	.00	36.62
170.00	194.90	183.36	75.15	75.15	75.15	75.15	36.39	108.21	.00	.00	38.76
155.00	195.26	184.19	74.02	74.02	74.02	74.02	35.61	110.16	.00	.00	38.42
140.00	195.63	184.35	75.91	75.91	75.91	75.91	35.52	108.44	.00	.00	40.38
125.00	196.01	184.61	77.77	77.77	77.77	77.77	35.46	106.84	.00	.00	42.31
110.00	196.41	184.66	79.57	79.57	79.57	79.57	35.40	105.09	.00	.00	44.17
95.00	196.85	185.01	81.42	81.42	81.42	81.42	35.38	103.59	.00	.00	46.04
80.00	197.32	185.49	83.28	83.28	83.28	83.28	35.39	102.21	.00	.00	47.90
65.00	197.82	186.04	85.14	85.14	85.14	85.14	35.42	100.90	.00	.00	49.72
50.00	198.36	187.44	83.10	83.10	83.10	83.10	34.64	104.34	.00	.00	48.46
37.50	198.80	188.12	86.83	86.83	86.83	86.83	34.57	101.29	.00	.00	52.27
25.00	199.26	189.42	96.23	96.23	96.23	96.23	33.97	93.19	.00	.00	62.26
15.00	199.62	189.69	96.55	96.55	96.55	96.55	34.20	93.14	.00	.00	62.35

РЕЖИМ # 1

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 165.5нм3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%
 V газ,м3/с T газ,оС T нар.воз.оС G д.газ,кг/м3 W ветра м/сек
 266.7 167.0 -39.0 .815 4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.H ст.	W газов
275.00	9.40	9.29	.64	.00	3.94
260.00	9.40	9.29	.64	-10.48	3.94
245.00	9.40	9.29	.64	-20.96	3.94
230.00	9.40	9.29	.64	-31.44	3.94
215.00	9.40	9.29	.64	-41.93	3.94
200.00	9.92	9.81	.51	-52.29	3.53
185.00	10.48	10.37	.41	-62.68	3.16
170.00	11.08	10.97	.33	-73.09	2.82
155.00	11.94	11.83	.24	-83.51	2.43
140.00	12.80	12.69	.18	-93.95	2.11
125.00	13.66	13.55	.14	-104.42	1.85
110.00	14.52	14.41	.11	-114.89	1.64
95.00	15.98	15.87	.07	-125.37	1.35
80.00	17.44	17.33	.05	-135.86	1.13
65.00	18.90	18.79	.04	-146.35	.96
50.00	20.36	20.25	.03	-156.85	.83
37.50	22.00	21.89	.02	-165.61	.71
25.00	23.60	23.49	.02	-174.36	.62
15.00	24.90	24.79	.01	-181.37	.55
5.00	26.50	26.39	.01	-188.37	.49

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	162.35	157.86	148.51	-18.95	-18.95	-25.22	-36.81	9.35	.00	6.27	11.58
260.00	162.52	158.03	148.67	-18.92	-18.92	-25.20	-36.80	9.36	.00	6.28	11.59
245.00	162.69	158.20	148.83	-18.90	-18.90	-25.18	-36.79	9.37	.00	6.28	11.60
230.00	162.86	158.36	148.98	-18.87	-18.87	-25.16	-36.77	9.38	.00	6.29	11.61
215.00	163.02	158.33	148.95	-18.85	-18.85	-25.13	-36.76	9.37	.00	6.29	11.62
200.00	163.20	158.36	149.04	-17.97	-17.97	-24.23	-36.76	9.32	.00	6.26	12.53
185.00	163.39	158.39	149.07	-17.94	-17.94	-24.20	-36.74	9.32	.00	6.26	12.54
170.00	163.59	158.40	149.13	-17.07	-17.07	-23.29	-36.74	9.27	.00	6.23	13.44
155.00	163.80	158.49	149.26	-16.19	-16.19	-22.39	-36.73	9.23	.00	6.20	14.34
140.00	164.02	158.61	149.42	-15.32	-15.32	-21.49	-36.72	9.19	.00	6.17	15.23
125.00	164.26	158.77	149.62	-14.45	-14.45	-20.60	-36.71	9.15	.00	6.15	16.12
110.00	164.52	158.85	149.74	-13.57	-13.57	-19.69	-36.70	9.10	.00	6.12	17.00
95.00	164.80	159.08	150.01	-12.68	-12.68	-18.78	-36.68	9.07	.00	6.10	17.89
80.00	165.10	159.37	150.34	-11.79	-11.79	-17.87	-36.65	9.03	.00	6.08	18.78
65.00	165.43	159.68	150.68	-10.89	-10.89	-16.95	-36.62	9.00	.00	6.06	19.66
50.00	165.78	159.97	151.03	-9.61	-9.61	-15.63	-36.58	8.95	.00	6.02	20.95
37.50	166.10	160.33	151.48	-7.55	-7.55	-13.52	-36.55	8.85	.00	5.96	23.03
25.00	166.43	160.84	152.26	-1.90	-1.90	-7.68	-36.56	8.58	.00	5.78	28.89
15.00	166.71	161.08	152.49	-1.76	-1.76	-7.54	-36.49	8.59	.00	5.78	28.95

РЕЖИМ #

2

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 274.0нм3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%

V газ.м3/с	T газ.оС	T нар.воз.оС	G д.газ.кг/м3	W ветра м/сек
474.7	200.0	-39.0	.748	4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.Н ст.	W газов
275.00	9.40	9.29	1.88	.00	7.01
260.00	9.40	9.29	1.88	-11.27	7.01
245.00	9.40	9.29	1.88	-22.53	7.01
230.00	9.40	9.29	1.88	-33.80	7.01
215.00	9.40	9.29	1.88	-45.06	7.01
200.00	9.92	9.81	1.51	-55.97	6.29
185.00	10.48	10.37	1.21	-66.97	5.62
170.00	11.08	10.97	.97	-78.03	5.03
155.00	11.94	11.83	.71	-89.10	4.32
140.00	12.80	12.69	.54	-100.26	3.76
125.00	13.66	13.55	.42	-111.48	3.29
110.00	14.52	14.41	.32	-122.73	2.91
95.00	15.98	15.87	.22	-133.98	2.40
80.00	17.44	17.33	.16	-145.26	2.01
65.00	18.90	18.79	.11	-156.57	1.71
50.00	20.36	20.25	.08	-167.90	1.47
37.50	22.00	21.89	.06	-177.34	1.26
25.00	23.60	23.49	.05	-186.78	1.10
15.00	24.90	24.79	.04	-194.35	.98
5.00	26.50	26.39	.03	-201.91	.87

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	196.71	192.84	181.83	-15.38	-15.38	-22.77	-36.42	11.02	.00	7.39	13.64
260.00	196.83	192.96	181.94	-15.36	-15.36	-22.76	-36.41	11.02	.00	7.39	13.65
245.00	196.95	193.08	182.05	-15.34	-15.34	-22.74	-36.39	11.03	.00	7.40	13.66
230.00	197.06	193.20	182.17	-15.32	-15.32	-22.72	-36.38	11.03	.00	7.40	13.66
215.00	197.18	193.13	182.11	-15.29	-15.29	-22.69	-36.36	11.02	.00	7.40	13.67
200.00	197.31	193.11	182.14	-14.27	-14.27	-21.63	-36.36	10.97	.00	7.36	14.73
185.00	197.44	193.08	182.12	-14.24	-14.24	-21.60	-36.34	10.96	.00	7.36	14.75
170.00	197.58	193.03	182.13	-13.22	-13.22	-20.54	-36.34	10.90	.00	7.32	15.80
155.00	197.73	193.04	182.19	-12.20	-12.20	-19.49	-36.33	10.84	.00	7.29	16.85
140.00	197.89	193.07	182.28	-11.19	-11.19	-18.44	-36.33	10.79	.00	7.25	17.89
125.00	198.07	193.15	182.41	-10.18	-10.18	-17.40	-36.32	10.74	.00	7.22	18.92
110.00	198.25	193.13	182.45	-9.17	-9.17	-16.35	-36.30	10.68	.00	7.18	19.95
95.00	198.44	193.25	182.62	-8.14	-8.14	-15.30	-36.28	10.63	.00	7.15	20.98
80.00	198.66	193.43	182.85	-7.12	-7.12	-14.24	-36.25	10.58	.00	7.12	22.01
65.00	198.89	193.62	183.08	-6.09	-6.09	-13.18	-36.21	10.54	.00	7.09	23.02
50.00	199.14	193.79	183.33	-4.61	-4.61	-11.66	-36.17	10.47	.00	7.05	24.51
37.50	199.36	194.03	183.68	-2.24	-2.24	-9.21	-36.13	10.35	.00	6.97	26.92
25.00	199.60	194.42	184.39	4.33	4.33	-2.42	-36.16	10.02	.00	6.75	33.74
15.00	199.79	194.56	184.54	4.47	4.47	-2.28	-36.07	10.02	.00	6.75	33.79

РЕЖИМ # 3

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 165.5м3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%
 V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 266.7 167.0 25.1 .815 1.0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.Н ст.	W газов
275.00	9.40	9.29	.64	.00	3.94
260.00	9.40	9.29	.64	-5.62	3.94
245.00	9.40	9.29	.64	-11.24	3.94
230.00	9.40	9.29	.64	-16.86	3.94
215.00	9.40	9.29	.64	-22.49	3.94
200.00	9.92	9.81	.51	-27.99	3.53
185.00	10.48	10.37	.41	-33.51	3.16
170.00	11.08	10.97	.33	-39.07	2.82
155.00	11.94	11.83	.24	-44.62	2.43
140.00	12.80	12.69	.18	-50.21	2.11
125.00	13.66	13.55	.14	-55.81	1.85
110.00	14.52	14.41	.11	-61.43	1.64
95.00	15.98	15.87	.07	-67.05	1.35
80.00	17.44	17.33	.05	-72.67	1.13
65.00	18.90	18.79	.04	-78.31	.96
50.00	20.36	20.25	.03	-83.95	.83
37.50	22.00	21.89	.02	-88.65	.71
25.00	23.60	23.49	.02	-93.36	.62
15.00	24.90	24.79	.01	-97.12	.55
5.00	26.50	26.39	.01	-100.89	.49

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	163.82	160.77	154.38	39.92	39.92	35.63	27.71	6.39	.00	4.29	7.92
260.00	163.93	160.89	154.49	39.94	39.94	35.64	27.72	6.40	.00	4.29	7.92
245.00	164.05	161.00	154.60	39.96	39.96	35.66	27.73	6.40	.00	4.30	7.93
230.00	164.16	161.11	154.70	39.98	39.98	35.68	27.74	6.41	.00	4.30	7.94
215.00	164.28	161.09	154.69	40.00	40.00	35.70	27.76	6.40	.00	4.30	7.94
200.00	164.40	161.12	154.74	40.60	40.60	36.32	27.76	6.37	.00	4.28	8.56
185.00	164.53	161.14	154.77	40.63	40.63	36.35	27.78	6.37	.00	4.28	8.57
170.00	164.66	161.15	154.81	41.22	41.22	36.97	27.78	6.34	.00	4.26	9.19
155.00	164.81	161.21	154.90	41.82	41.82	37.58	27.78	6.31	.00	4.24	9.80
140.00	164.96	161.29	155.02	42.42	42.42	38.20	27.79	6.28	.00	4.22	10.41
125.00	165.13	161.41	155.16	43.02	43.02	38.81	27.80	6.25	.00	4.20	11.02
110.00	165.30	161.46	155.24	43.62	43.62	39.43	27.81	6.22	.00	4.18	11.62
95.00	165.49	161.62	155.42	44.23	44.23	40.06	27.83	6.20	.00	4.17	12.23
80.00	165.70	161.82	155.65	44.85	44.85	40.69	27.86	6.17	.00	4.15	12.84
65.00	165.93	162.03	155.88	45.47	45.47	41.33	27.89	6.15	.00	4.14	13.44
50.00	166.17	162.23	156.12	46.35	46.35	42.24	27.92	6.11	.00	4.11	14.32
37.50	166.38	162.47	156.42	47.76	47.76	43.69	27.95	6.05	.00	4.07	15.74
25.00	166.61	162.82	156.95	51.60	51.60	47.65	27.91	5.86	.00	3.95	19.74
15.00	166.80	162.98	157.11	51.72	51.72	47.77	27.99	5.87	.00	3.95	19.78

РЕЖИМ # 4

Расход ДЫМОВЫХ ГАЗОВ= 274.0м3/сек. Плотность газов при нормальных условиях=1.293кг/м3

СОСТАВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ: CO2=16.27% H2O=16.27%

V газ.м3/с T газ.оС T нар.воз.оС G д.газ.кг/м3 W ветра м/сек
 474.7 200.0 25.1 .748 1.0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ОТМ.	D б.вн.	D ф.вн.	H дин.	рез.H ст.	W газов
275.00	9.40	9.29	1.88	.00	7.01
260.00	9.40	9.29	1.88	-6.41	7.01
245.00	9.40	9.29	1.88	-12.81	7.01
230.00	9.40	9.29	1.88	-19.22	7.01
215.00	9.40	9.29	1.88	-25.62	7.01
200.00	9.92	9.81	1.51	-31.67	6.29
185.00	10.48	10.37	1.21	-37.80	5.62
170.00	11.08	10.97	.97	-44.01	5.03
155.00	11.94	11.83	.71	-50.22	4.32
140.00	12.80	12.69	.54	-56.52	3.76
125.00	13.66	13.55	.42	-62.88	3.29
110.00	14.52	14.41	.32	-69.27	2.91
95.00	15.98	15.87	.22	-75.65	2.40
80.00	17.44	17.33	.16	-82.08	2.01
65.00	18.90	18.79	.11	-88.53	1.71
50.00	20.36	20.25	.08	-94.99	1.47
37.50	22.00	21.89	.06	-100.38	1.26
25.00	23.60	23.49	.05	-105.78	1.10
15.00	24.90	24.79	.04	-110.10	.98
5.00	26.50	26.39	.03	-114.43	.87

ОТМ.	T газ.	T ф.вн.	T ф.нар.	T4 сл.нар.	T2 сл.нар.	T бет.вн.	T бет.н.	ТЕМПЕРАТУРН. ПЕРЕПАДЫ НА:			
								фут.	2 сл.	1сл.	бет.
275.00	197.61	194.81	186.81	43.63	43.63	38.27	28.36	8.00	.00	5.37	9.91
260.00	197.69	194.90	186.90	43.65	43.65	38.28	28.38	8.00	.00	5.37	9.91
245.00	197.78	194.99	186.98	43.67	43.67	38.30	28.39	8.01	.00	5.37	9.91
230.00	197.87	195.07	187.06	43.69	43.69	38.32	28.40	8.01	.00	5.37	9.92
215.00	197.95	195.02	187.02	43.72	43.72	38.35	28.42	8.00	.00	5.37	9.93
200.00	198.05	195.01	187.05	44.46	44.46	39.11	28.42	7.96	.00	5.34	10.69
185.00	198.14	194.99	187.04	44.49	44.49	39.15	28.44	7.96	.00	5.34	10.71
170.00	198.24	194.96	187.04	45.23	45.23	39.91	28.44	7.91	.00	5.31	11.47
155.00	198.35	194.96	187.09	45.97	45.97	40.68	28.45	7.87	.00	5.29	12.23
140.00	198.47	194.99	187.16	46.70	46.70	41.44	28.45	7.83	.00	5.26	12.99
125.00	198.59	195.04	187.25	47.44	47.44	42.20	28.46	7.80	.00	5.24	13.74
110.00	198.73	195.03	187.28	48.18	48.18	42.96	28.48	7.75	.00	5.21	14.48
95.00	198.87	195.12	187.41	48.92	48.92	43.73	28.50	7.72	.00	5.19	15.23
80.00	199.03	195.25	187.57	49.67	49.67	44.50	28.53	7.68	.00	5.17	15.97
65.00	199.19	195.39	187.74	50.43	50.43	45.28	28.57	7.65	.00	5.15	16.71
50.00	199.38	195.51	187.92	51.51	51.51	46.39	28.60	7.60	.00	5.11	17.79
37.50	199.54	195.69	188.17	53.24	53.24	48.18	28.64	7.51	.00	5.06	19.54
25.00	199.71	195.97	188.69	57.98	57.98	53.08	28.59	7.28	.00	4.90	24.49
15.00	199.85	196.07	188.80	58.10	58.10	53.21	28.68	7.27	.00	4.90	24.53

ПРИЛОЖЕНИЕ И Сводные данные по расчетам температурных полей

Таблица И.1 – Распределение температуры дымовых газов по высоте дымовой трубы, °С

отметка	Т газ. (1В-Р1)	Т газ. (1В-Р2)	Т газ. (1В-Р3)	Т газ. (1В-Р4)	Т газ. (2В-Р1)	Т газ. (2В-Р2)	Т газ. (2В-Р3)	Т газ. (2В-Р4)
275,00	153,04	189,83	157,56	192,71	162,35	196,71	163,82	197,61
260,00	153,60	190,24	157,94	193,01	162,52	196,83	163,93	197,69
245,00	154,16	190,66	158,32	193,31	162,69	196,95	164,05	197,78
230,00	154,72	191,07	158,70	193,61	162,86	197,06	164,16	197,87
215,00	155,29	191,49	159,08	193,91	163,02	197,18	164,28	197,95
200,00	155,88	191,93	159,48	194,22	163,2	197,31	164,4	198,05
185,00	156,50	192,39	159,90	194,55	163,39	197,44	164,53	198,14
170,00	157,16	192,87	160,35	194,90	163,59	197,58	164,66	198,24
155,00	157,86	193,39	160,82	195,26	163,8	197,73	164,81	198,35
140,00	158,55	193,89	161,29	195,63	164,02	197,89	164,96	198,47
125,00	159,28	194,43	161,78	196,01	164,26	198,07	165,13	198,59
110,00	160,05	194,99	162,30	196,41	164,52	198,25	165,3	198,73
95,00	160,89	195,60	162,87	196,85	164,8	198,44	165,49	198,87
80,00	161,79	196,26	163,48	197,32	165,1	198,66	165,7	199,03
65,00	162,76	196,96	164,14	197,82	165,43	198,89	165,93	199,19
50,00	163,80	197,71	164,84	198,36	165,78	199,14	166,17	199,38
37,50	164,66	198,33	165,42	198,80	166,1	199,36	166,38	199,54
25,00	165,56	198,97	166,02	199,26	166,43	199,6	166,61	199,71
15,00	166,26	199,47	166,50	199,62	166,71	199,79	166,8	199,85

Таблица И.2 – Распределение температуры футеровки из полимерцементного керамзитобетона и несущего бетона по высоте дымовой трубы (В1-Р1, В1-Р2) , °С

отметка	Т ф.вн. (1В-Р1)	Т ф.нар. (1В-Р1)	Т бет. вн. (1В-Р1)	Т бет. нар. (1В-Р1)	Т ф.вн. (1В-Р2)	Т ф.нар. (1В-Р2)	Т бет. вн. (1В-Р2)	Т бет. нар. (1В-Р2)
275,00	136,84	7,80	7,80	-31,55	175,67	18,14	18,14	-29,90
260,00	137,37	7,97	7,97	-31,50	176,08	18,27	18,27	-29,85
245,00	137,91	8,13	8,13	-31,44	176,48	18,41	18,41	-29,80
230,00	138,46	8,30	8,30	-31,39	176,89	18,55	18,55	-29,74
215,00	138,27	8,37	8,37	-31,34	176,61	18,62	18,62	-29,68
200,00	138,50	10,86	10,86	-31,43	176,65	21,58	21,58	-29,81
185,00	138,51	10,98	10,98	-31,37	176,49	21,68	21,68	-29,74
170,00	138,65	13,41	13,41	-31,45	176,42	24,55	24,55	-29,84

Окончание таблицы И.2

155,00	140,21	12,56	12,56	-31,96	177,62	23,32	23,32	-30,49
140,00	140,68	14,85	14,85	-32,00	177,84	25,99	25,99	-30,55
125,00	141,30	17,14	17,14	-32,03	178,19	28,63	28,63	-30,60
110,00	141,62	19,35	19,35	-32,04	178,25	31,18	31,18	-30,63
95,00	142,44	21,66	21,66	-32,03	178,74	33,79	33,79	-30,64
80,00	143,47	24,00	24,00	-32,00	179,42	36,40	36,40	-30,62
65,00	144,61	26,34	26,34	-31,93	180,18	39,00	39,00	-30,56
50,00	147,08	24,49	24,49	-32,43	182,22	36,49	36,49	-31,19
37,50	148,38	29,11	29,11	-32,44	183,19	41,76	41,76	-31,22
25,00	150,62	40,66	40,66	-32,81	185,07	55,13	55,13	-31,68
15,00	151,24	41,12	41,12	-32,61	185,45	55,52	55,52	-31,46

Таблица И.3 – Распределение температуры футеровки из полимерцементного керамзитобетона и несущего бетона по высоте дымовой трубы (В1-Р3, В1-Р4), °С

отметка	Т ф.вн. (1В-Р3)	Т ф.нар. (1В-Р3)	Т бет. вн. (1В-Р3)	Т бет. нар. (1В-Р3)	Т ф.вн. (1В-Р4)	Т ф.нар. (1В-Р4)	Т бет. вн. (1В-Р4)	Т бет. нар. (1В-Р4)
275,00	146,93	60,24	60,24	33,81	182,77	70,58	70,58	36,37
260,00	147,29	60,37	60,37	33,86	183,06	70,69	70,69	36,43
245,00	147,65	60,50	60,50	33,92	183,35	70,81	70,81	36,49
230,00	148,02	60,63	60,63	33,98	183,64	70,92	70,92	36,55
215,00	147,91	60,69	60,69	34,03	183,45	70,99	70,99	36,61
200,00	148,08	62,33	62,33	33,92	183,49	73,05	73,05	36,45
185,00	148,11	62,44	62,44	33,98	183,39	73,15	73,15	36,53
170,00	148,23	64,04	64,04	33,89	183,36	75,15	75,15	36,39
155,00	149,25	63,28	63,28	33,30	184,19	74,02	74,02	35,61
140,00	149,57	64,81	64,81	33,25	184,35	75,91	75,91	35,52
125,00	149,99	66,34	66,34	33,21	184,61	77,77	77,77	35,46
110,00	150,23	67,82	67,82	33,18	184,66	79,57	79,57	35,40
95,00	150,78	69,37	69,37	33,18	185,01	81,42	81,42	35,38
80,00	151,47	70,94	70,94	33,20	185,49	83,28	83,28	35,39
65,00	152,21	72,52	72,52	33,25	186,04	85,14	85,14	35,42
50,00	153,81	71,08	71,08	32,67	187,44	83,10	83,10	34,64
37,50	154,66	74,16	74,16	32,62	188,12	86,83	86,83	34,57
25,00	156,12	81,81	81,81	32,18	189,42	96,23	96,23	33,97
15,00	156,53	82,16	82,16	32,36	189,69	96,55	96,55	34,20

Таблица И.4 – Распределение температуры футеровки из полимерцементного керамзитобетона и несущего бетона по высоте дымовой трубы (В2-Р1, В2-Р2) , °С

отметка	Т ф.вн (2В-Р1)	Т ф.нар. (2В-Р1)	Т бет. вн. (2В-Р1)	Т бет. нар. (2В-Р1)	Т ф.вн (2В-Р2)	Т ф.нар. (2В-Р2)	Т бет. вн. (2В-Р2)	Т бет. нар. (2В-Р2)
275,00	157,86	148,51	-25,22	-36,81	192,84	181,83	-22,77	-36,42
260,00	158,03	148,67	-25,20	-36,80	192,96	181,94	-22,76	-36,41
245,00	158,20	148,83	-25,18	-36,79	193,08	182,05	-22,74	-36,39
230,00	158,36	148,98	-25,16	-36,77	193,20	182,17	-22,72	-36,38
215,00	158,33	148,95	-25,13	-36,76	193,13	182,11	-22,69	-36,36
200,00	158,36	149,04	-24,23	-36,76	193,11	182,14	-21,63	-36,36
185,00	158,39	149,07	-24,20	-36,74	193,08	182,12	-21,60	-36,34
170,00	158,40	149,13	-23,29	-36,74	193,03	182,13	-20,54	-36,34
155,00	158,49	149,26	-22,39	-36,73	193,04	182,19	-19,49	-36,33
140,00	158,61	149,42	-21,49	-36,72	193,07	182,28	-18,44	-36,33
125,00	158,77	149,62	-20,60	-36,71	193,15	182,41	-17,40	-36,32
110,00	158,85	149,74	-19,69	-36,70	193,13	182,45	-16,35	-36,30
95,00	159,08	150,01	-18,78	-36,68	193,25	182,62	-15,30	-36,28
80,00	159,37	150,34	-17,87	-36,65	193,43	182,85	-14,24	-36,25
65,00	159,68	150,68	-16,95	-36,62	193,62	183,08	-13,18	-36,21
50,00	159,97	151,03	-15,63	-36,58	193,79	183,33	-11,66	-36,17
37,50	160,33	151,48	-13,52	-36,55	194,03	183,68	-9,21	-36,13
25,00	160,84	152,26	-7,68	-36,56	194,42	184,39	-2,42	-36,16
15,00	161,08	152,49	-7,54	-36,49	194,56	184,54	-2,28	-36,07

Таблица И.5 – Распределение температуры футеровки из полимерцементного керамзитобетона и несущего бетона по высоте дымовой трубы (В2-Р3, В2-Р4) , °С

отметка	Т ф.вн (2В-Р3)	Т ф.нар. (2В-Р3)	Т бет. вн. (2В-Р3)	Т бет. нар. (2В-Р3)	Т ф.вн (2В-Р4)	Т ф.нар. (2В-Р4)	Т бет. вн. (2В-Р4)	Т бет. нар. (2В-Р4)
275,00	160,77	154,38	35,63	27,71	194,81	186,81	38,27	28,36
260,00	160,89	154,49	35,64	27,72	194,90	186,90	38,28	28,38
245,00	161,00	154,60	35,66	27,73	194,99	186,98	38,30	28,39
230,00	161,11	154,70	35,68	27,74	195,07	187,06	38,32	28,40
215,00	161,09	154,69	35,70	27,76	195,02	187,02	38,35	28,42
200,00	161,12	154,74	36,32	27,76	195,01	187,05	39,11	28,42
185,00	161,14	154,77	36,35	27,78	194,99	187,04	39,15	28,44
170,00	161,15	154,81	36,97	27,78	194,96	187,04	39,91	28,44
155,00	161,21	154,90	37,58	27,78	194,96	187,09	40,68	28,45
140,00	161,29	155,02	38,20	27,79	194,99	187,16	41,44	28,45
125,00	161,41	155,16	38,81	27,80	195,04	187,25	42,20	28,46
110,00	161,46	155,24	39,43	27,81	195,03	187,28	42,96	28,48
95,00	161,62	155,42	40,06	27,83	195,12	187,41	43,73	28,50

Окончание таблицы И.5

80,00	161,82	155,65	40,69	27,86	195,25	187,57	44,50	28,53
65,00	162,03	155,88	41,33	27,89	195,39	187,74	45,28	28,57
50,00	162,23	156,12	42,24	27,92	195,51	187,92	46,39	28,60
37,50	162,47	156,42	43,69	27,95	195,69	188,17	48,18	28,64
25,00	162,82	156,95	47,65	27,91	195,97	188,69	53,08	28,59
15,00	162,98	157,11	47,77	27,99	196,07	188,80	53,21	28,68

Таблица И.6 – Перепад температуры по слою несущего бетона по высоте дымовой трубы, °С

отметка	ΔT бет. (1В-Р1)	ΔT бет. (1В-Р2)	ΔT бет. (1В-Р3)	ΔT бет. (1В-Р4)	ΔT бет. (2В-Р1)	ΔT бет. (2В-Р2)	ΔT бет. (2В-Р3)	ΔT бет. (2В-Р4)
275,00	39,35	48,04	26,44	34,21	11,58	13,64	7,92	9,91
260,00	39,46	48,12	26,51	34,27	11,59	13,65	7,92	9,91
245,00	39,58	48,21	26,58	34,32	11,6	13,66	7,93	9,91
230,00	39,69	48,29	26,65	34,37	11,61	13,66	7,94	9,92
215,00	39,71	48,30	26,66	34,38	11,62	13,67	7,94	9,93
200,00	42,29	51,38	28,41	36,60	12,53	14,73	8,56	10,69
185,00	42,35	51,42	28,46	36,62	12,54	14,75	8,57	10,71
170,00	44,86	54,40	30,15	38,76	13,44	15,8	9,19	11,47
155,00	44,51	53,81	29,98	38,42	14,34	16,85	9,8	12,23
140,00	46,85	56,54	31,56	40,38	15,23	17,89	10,41	12,99
125,00	49,17	59,23	33,13	42,31	16,12	18,92	11,02	13,74
110,00	51,39	61,81	34,64	44,17	17	19,95	11,62	14,48
95,00	53,69	64,43	36,19	46,04	17,89	20,98	12,23	15,23
80,00	55,99	67,02	37,74	47,90	18,78	22,01	12,84	15,97
65,00	58,27	69,56	39,27	49,72	19,66	23,02	13,44	16,71
50,00	56,93	67,68	38,42	48,46	20,95	24,51	14,32	17,79
37,50	61,55	72,98	41,54	52,27	23,03	26,92	15,74	19,54
25,00	73,46	86,81	49,64	62,26	28,89	33,74	19,74	24,49
15,00	73,73	86,98	49,79	62,35	28,95	33,79	19,78	24,53

Таблица И.7 – Перепад температуры по слою футеровки из полимерцементного керамзитобетона по высоте дымовой трубы, °С

отметка	ΔT фут. (1В-Р1)	ΔT фут. (1В-Р2)	ΔT фут. (1В-Р3)	ΔT фут. (1В-Р4)	ΔT фут. (2В-Р1)	ΔT фут. (2В-Р2)	ΔT фут. (2В-Р3)	ΔT фут. (2В-Р4)
275,00	129,04	157,53	86,69	112,19	9,35	11,02	6,39	8
260,00	129,41	157,80	86,92	112,37	9,36	11,02	6,4	8
245,00	129,78	158,07	87,16	112,54	9,37	11,03	6,4	8,01
230,00	130,15	158,34	87,39	112,72	9,38	11,03	6,41	8,01
215,00	129,90	157,99	87,22	112,46	9,37	11,02	6,4	8
200,00	127,64	155,08	85,75	110,44	9,32	10,97	6,37	7,96

Окончание таблицы И.7

185,00	127,52	154,81	85,68	110,25	9,32	10,96	6,37	7,96
170,00	125,24	151,87	84,19	108,21	9,27	10,9	6,34	7,91
155,00	127,66	154,30	85,97	110,16	9,23	10,84	6,31	7,87
140,00	125,82	151,85	84,76	108,44	9,19	10,79	6,28	7,83
125,00	124,15	149,56	83,65	106,84	9,15	10,74	6,25	7,8
110,00	122,27	147,07	82,41	105,09	9,1	10,68	6,22	7,75
95,00	120,79	144,95	81,41	103,59	9,07	10,63	6,2	7,72
80,00	119,48	143,01	80,53	102,21	9,03	10,58	6,17	7,68
65,00	118,27	141,18	79,69	100,90	9	10,54	6,15	7,65
50,00	122,58	145,74	82,73	104,34	8,95	10,47	6,11	7,6
37,50	119,28	141,43	80,50	101,29	8,85	10,35	6,05	7,51
25,00	109,97	129,94	74,30	93,19	8,58	10,02	5,86	7,28
15,00	110,13	129,93	74,37	93,14	8,59	10,02	5,87	7,27

Таблица И.8 – Перепад температуры объединенному слою, включающем термостойкое покрытие «Броня» и стеклоткань, °С

отметка	ΔT Броня (2В-Р1)	ΔT Броня (2В-Р2)	ΔT Броня (2В-Р3)	ΔT Броня (2В-Р4)
275,00	180,00	211,99	123,04	153,91
260,00	180,15	212,09	123,14	153,99
245,00	180,29	212,19	123,24	154,05
230,00	180,43	212,29	123,32	154,11
215,00	180,37	212,20	123,29	154,04
200,00	179,53	211,13	122,70	153,28
185,00	179,53	211,08	122,70	153,23
170,00	178,65	209,99	122,10	152,44
155,00	177,85	208,97	121,56	151,70
140,00	177,08	207,97	121,04	150,98
125,00	176,37	207,03	120,55	150,29
110,00	175,55	205,98	119,99	149,53
95,00	174,89	205,07	119,53	148,87
80,00	174,29	204,21	119,11	148,24
65,00	173,69	203,35	118,69	147,61
50,00	172,68	202,04	117,99	146,64
37,50	170,96	199,86	116,80	145,05
25,00	165,72	193,56	113,25	140,51
15,00	165,81	193,57	113,29	140,49

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Результаты расчетов площади под устройство слоя из стеклоткани и объема бетона футеровки для конической части дымовой трубы

Таблица К.1 – Итоги вычислений площади под устройство слоя из стеклоткани и объема бетона футеровки по конической части для существующей дымовой трубы (I) и моделируемой дымовой трубы (II)

Отметка низа секции, м	Толщина футеровки, мм		Толщина тяжелого бетона, мм	Общая толщина стенки, мм		Радиус до тяжелого бетона, м	Радиус до футеровки, м		Длина образующей по внутренней части тяжелого бетона, м	Площадь боковой поверхности по внутренней части тяжелого бетона, м ²	Объем по внутренней части до тяжелого бетона, м ³	Объем внутренней полости, м ³		Объем бетона футеровки, м ³	
	I	II		I	II		I	II				I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+5,0	250	50	650	900	700	13,25	13,00	13,20							
+7,5	250	50	650	900	700	13,05	12,80	13,00	2,51	207	1357,47	1306,34	1347,16	51,12	10,30
+10,0	250	50	650	900	700	12,85	12,60	12,80	2,51	204	1316,49	1266,15	1306,34	50,34	10,15
+12,5	250	50	650	900	700	12,65	12,40	12,60	2,51	201	1276,14	1226,59	1266,15	49,55	9,99
+15,0	250	50	650	900	700	12,45	12,20	12,40	2,51	198	1236,42	1187,65	1226,59	48,77	9,83
+17,5	250	50	650	900	700	12,25	12,00	12,20	2,51	195	1197,33	1149,34	1187,65	47,98	9,68
+20,0	250	50	650	900	700	12,05	11,80	12,00	2,51	191	1158,86	1111,66	1149,34	47,20	9,52
+22,5	250	50	750	1000	800	11,55	11,30	11,50	2,55	189	1093,20	1047,37	1083,95	45,82	9,24
+25,0	250	50	500	750	550	11,80	11,55	11,75	2,50	186	1097,67	1051,75	1088,41	45,92	9,26

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+27,5	250	50	500	750	550	11,63	11,38	11,58	2,51	184	1077,36	1031,87	1068,19	45,49	9,18
+30,0	250	50	500	750	550	11,46	11,21	11,41	2,51	182	1046,32	1001,50	1037,28	44,82	9,04
+32,5	250	50	500	750	550	11,29	11,04	11,24	2,51	179	1015,74	971,58	1006,83	44,16	8,91
+35,0	250	50	700	950	750	10,92	10,67	10,87	2,53	176	968,16	925,06	959,46	43,10	8,70
+37,5	250	50	450	700	500	11,00	10,75	10,95	2,50	174	960,25	917,33	951,59	42,92	8,66
+40,0	250	50	450	700	500	10,83	10,58	10,78	2,51	172	935,25	892,90	926,70	42,35	8,55
+42,5	250	50	450	700	500	10,66	10,41	10,61	2,51	169	906,34	864,66	897,93	41,68	8,42
+45,0	250	50	450	700	500	10,49	10,24	10,44	2,51	166	877,89	836,87	869,61	41,02	8,28
+47,5	250	50	640	890	690	10,13	9,88	10,08	2,53	164	834,51	794,53	826,44	39,98	8,07
+50,0	220	50	420	640	470	10,18	9,96	10,13	2,50	161	824,75	787,36	816,73	37,39	8,03
+52,5	220	50	420	640	470	10,06	9,84	10,01	2,50	159	803,57	769,00	795,64	34,57	7,92
+55,0	220	50	420	640	470	9,93	9,71	9,88	2,50	157	783,83	749,70	776,01	34,13	7,82
+57,5	220	50	420	640	470	9,81	9,59	9,76	2,50	155	764,35	730,64	756,62	33,70	7,73
+60,0	220	50	420	640	470	9,68	9,46	9,63	2,50	153	745,10	711,83	737,47	33,27	7,63
+62,5	220	50	620	840	670	9,36	9,14	9,31	2,52	151	711,14	678,65	703,69	32,49	7,45
+65,0	220	50	400	620	450	9,45	9,23	9,40	2,50	149	708,84	676,40	701,40	32,44	7,44
+67,5	220	50	400	620	450	9,33	9,11	9,28	2,50	148	691,79	659,75	684,44	32,04	7,35
+70,0	220	50	400	620	450	9,20	8,98	9,15	2,50	146	673,49	641,88	666,24	31,61	7,25
+72,5	220	50	400	620	450	9,08	8,86	9,03	2,50	144	655,44	624,26	648,28	31,18	7,15
+75,0	220	50	400	620	450	8,95	8,73	8,90	2,50	142	637,63	606,88	630,57	30,75	7,06
+77,5	220	50	600	820	650	8,63	8,41	8,58	2,52	139	606,25	576,28	599,37	29,97	6,88
+80,0	220	50	380	600	430	8,72	8,50	8,67	2,50	138	604,12	574,20	597,25	29,92	6,87

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+82,5	220	50	380	600	430	8,60	8,38	8,55	2,50	136	588,39	558,86	581,61	29,52	6,78
+85,0	220	50	380	600	430	8,47	8,25	8,42	2,50	134	571,52	542,43	564,84	29,09	6,68
+87,5	220	50	380	600	430	8,35	8,13	8,30	2,50	132	554,90	526,24	548,32	28,66	6,58
+90,0	220	50	380	600	430	8,22	8,00	8,17	2,50	130	538,52	510,29	532,04	28,23	6,48
+92,5	220	50	580	800	630	7,90	7,68	7,85	2,52	128	509,72	482,27	503,41	27,45	6,31
+95,0	220	50	360	580	410	7,99	7,77	7,94	2,50	126	507,76	480,36	501,47	27,40	6,29
+97,5	220	50	360	580	410	7,87	7,65	7,82	2,50	125	493,35	466,34	487,14	27,00	6,20
100,0	220	50	360	580	410	7,74	7,52	7,69	2,50	123	477,91	451,34	471,81	26,57	6,11
+102,5	220	50	360	580	410	7,62	7,40	7,57	2,50	121	462,72	436,58	456,71	26,14	6,01
+105,0	220	50	360	580	410	7,49	7,27	7,44	2,50	119	447,78	422,07	441,87	25,71	5,91
+107,5	220	50	540	760	590	7,19	6,97	7,14	2,52	116	422,70	397,73	416,96	24,96	5,74
+110,0	220	50	340	560	390	7,26	7,04	7,21	2,50	115	419,77	394,89	414,05	24,88	5,72
+112,5	220	50	340	560	390	7,19	6,97	7,14	2,50	113	409,50	384,93	403,85	24,57	5,65
+115,0	220	50	340	560	390	7,11	6,89	7,06	2,50	112	401,03	376,73	395,44	24,31	5,59
+117,5	220	50	340	560	390	7,04	6,82	6,99	2,50	111	392,66	368,61	387,13	24,05	5,53
+120,0	220	50	340	560	390	6,96	6,74	6,91	2,50	110	384,38	360,59	378,91	23,79	5,47
+122,5	220	50	540	760	590	6,69	6,47	6,64	2,52	108	365,44	342,25	360,10	23,18	5,34
+125,0	220	50	320	540	370	6,83	6,61	6,78	2,50	108	369,15	345,84	363,79	23,31	5,36
+127,5	220	50	320	540	370	6,76	6,54	6,71	2,50	107	362,19	339,11	356,87	23,08	5,31
+130,0	220	50	320	540	370	6,68	6,46	6,63	2,50	106	354,23	331,41	348,98	22,82	5,25
+132,5	220	50	320	540	370	6,61	6,39	6,56	2,50	104	346,37	323,80	341,17	22,56	5,19
+135,0	220	50	320	540	370	6,53	6,31	6,48	2,50	103	338,59	316,29	333,45	22,30	5,14

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+137,5	220	50	520	740	570	6,26	6,04	6,21	2,52	101	320,83	299,13	315,83	21,70	5,00
+140,0	220	50	300	520	350	6,40	6,18	6,35	2,50	101	324,31	302,49	319,28	21,82	5,03
+142,5	220	50	300	520	350	6,33	6,11	6,28	2,50	100	317,78	296,19	312,81	21,60	4,97
+145,0	220	50	300	520	350	6,25	6,03	6,20	2,50	99	310,34	289,00	305,42	21,34	4,92
+147,5	220	50	300	520	350	6,18	5,96	6,13	2,50	98	302,98	281,90	298,12	21,08	4,86
+150,0	220	50	300	520	350	6,10	5,88	6,05	2,50	96	295,70	274,89	290,91	20,82	4,80
+152,5	220	50	480	700	530	5,85	5,63	5,80	2,51	94	280,06	259,81	275,39	20,25	4,67
+155,0	200	50	280	480	330	5,97	5,77	5,92	2,50	94	282,37	262,94	277,68	19,43	4,69
+157,5	200	50	280	480	330	5,90	5,70	5,85	2,50	93	276,28	257,97	271,64	18,31	4,64
+160,0	200	50	280	480	330	5,82	5,62	5,77	2,50	92	269,34	251,26	264,76	18,08	4,58
+162,5	200	50	280	480	330	5,75	5,55	5,70	2,50	91	262,49	244,64	257,97	17,84	4,52
+165,0	200	50	280	480	330	5,67	5,47	5,62	2,50	90	255,72	238,11	251,26	17,61	4,46
+167,5	200	50	460	660	510	5,42	5,22	5,37	2,51	87	241,19	224,10	236,86	17,09	4,33
+170,0	200	50	260	460	310	5,54	5,34	5,49	2,50	87	243,33	226,16	238,98	17,17	4,35
+172,5	200	50	260	460	310	5,49	5,29	5,44	2,50	87	238,76	221,76	234,45	17,00	4,31
+175,0	200	50	260	460	310	5,44	5,24	5,39	2,50	86	234,45	217,61	230,18	16,85	4,27
+177,5	200	50	260	460	310	5,39	5,19	5,34	2,50	85	230,18	213,49	225,95	16,69	4,23
+180,0	200	50	260	460	310	5,34	5,14	5,29	2,50	84	225,95	209,42	221,76	16,53	4,19
+182,5	200	50	460	660	510	5,09	4,89	5,04	2,51	82	213,53	197,47	209,46	16,06	4,07
+185,0	200	50	260	460	310	5,24	5,04	5,19	2,50	83	217,61	201,39	213,49	16,22	4,11
+187,5	200	50	260	460	310	5,19	4,99	5,14	2,50	82	213,49	197,43	209,42	16,06	4,07
+190,0	200	50	260	460	310	5,14	4,94	5,09	2,50	81	209,42	193,51	205,38	15,90	4,03

Окончание таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+192,5	200	50	260	460	310	5,09	4,89	5,04	2,50	80	205,38	189,64	201,39	15,75	4,00
+195,0	200	50	260	460	310	5,04	4,84	4,99	2,50	80	201,39	185,80	197,43	15,59	3,96
+197,5	200	50	440	640	490	4,81	4,61	4,76	2,51	78	190,44	175,29	186,59	15,15	3,85
+200,0	200	50	240	440	290	4,96	4,76	4,91	2,50	78	194,29	178,99	190,41	15,31	3,89
+202,5	200	50	240	440	290	4,92	4,72	4,87	2,50	78	191,45	176,26	187,60	15,19	3,86
+205,0	200	50	240	440	290	4,87	4,67	4,82	2,50	77	188,13	173,08	184,31	15,06	3,82
+207,5	200	50	240	440	290	4,83	4,63	4,78	2,50	76	184,81	169,88	181,02	14,92	3,79
+210,0	200	50	240	440	290	4,79	4,59	4,74	2,50	76	181,51	166,72	177,75	14,78	3,76
+212,5	200	50	440	640	490	4,54	4,34	4,49	2,51	74	170,91	156,57	167,27	14,34	3,64
ИТОГО:										10 352				2 296,82	514,66

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Итоги вычислений затрат на приобретение материалов

Таблица Л.1 – Результаты расчета затрат на приобретение тепловой изоляции «Броня»

Площадь под нанесение одного слоя покрытия, м ²	Количество слоев тепловой изоляции "Броня Классик", шт.	Количество слоев тепловой изоляции "Броня Антикор", шт.	Необходимый объем тепловой изоляции "Броня Классик", л	Необходимый объем тепловой изоляции "Броня Антикор", л	Количество ведер тепловой изоляции "Броня Классик" (20 л.), шт.	Количество ведер тепловой изоляции "Броня Антикор" (20 л.), шт.	Цена тепловой изоляции "Броня Классик" за 20 л., руб.	Цена тепловой изоляции "Броня Антикор" за 20 л., руб.	Общие затраты на приобретение тепловой изоляции "Броня", руб.
12 123,00	2	1	31 535,73	15 767,86	1 577	789	9 160,00	10 740,00	22 919 180,00

Таблица Л.2 – Результаты расчета общей прибыли от замены стальной сетки на стеклоткань

Площадь разделительного элемента, м ²	Цена стальной сетки с квадратными ячейками №05 без покрытия за один кв. метр, руб.	Цена за погонный метр стеклоткани конструкционной Т-13 на прямом замасливателе, руб.	Цена за кв. метр стеклоткани конструкционной Т-13 на прямом замасливателе (размер рулона 0,96*300 или 0,96*150), руб.	Общая прибыль замены стальной сетки на стеклоткань, руб.
13 335,30	284,81	64,00	66,67	2 908 962,34

Таблица Л.3 – Результаты расчета общей прибыли от уменьшения объема футеровки

Объем полимерцементного керамзитобетона в существующей трубе, м ³	Объем полимерцементного керамзитобетона в моделируемой трубе, м ³	Цена полимерцементного керамзитобетона за один куб, руб	Общая прибыль от уменьшения объема футеровки, руб.
2 722,78	620,82	4 156,73	8 737 280,19

