

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Поволжский государственный технологический университет"

На правах рукописи

Ю. Горин

Горин Юри́й Арка́дьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
БЕСКАНАЛЬНОЙ ПОДВОДНОЙ ПРОКЛАДКОЙ ТЕПЛОПРОВОДОВ**

05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, профессор
Чемоданов Александр Николаевич

Йошкар-Ола – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	11
1.1 Общая характеристика городского энергетического комплекса.....	11
1.2 Основные показатели эффективности энергетических систем и способы их повышения.....	12
1.3 Анализ современных теплоизоляционных материалов для оборудования и трубопроводов.....	14
1.4 Переходы теплопроводов через водные преграды	27
1.5 Балластные материалы и средства подводных трубопроводов.....	31
1.6 Выводы по главе 1	35
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ	38
2.1 Разработка трубной конструкции	38
2.2 Теоретическое обоснование трубной конструкции	41
2.3 Исследование передачи теплоты при прокладке теплопровода в подводной траншее	45
2.4 Определение устойчивости против всплытия трубной конструкции.....	53
2.5 Расчет критического диаметра тепловой изоляции теплопровода	60
2.6 Выводы по главе 2	62
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ.....	64
3.1 Экспериментальное оборудование и измерительная аппаратура	64
3.2 Объекты измерений и контроля.....	65
3.3 Методика определения плотности.....	66
3.4 Методика определения коэффициента теплопроводности	67
3.5 Методика определения предела прочности на сжатие	70
3.6 Предварительный этап эксперимента	74
3.7 Основной этап эксперимента	77
3.8 Результаты экспериментальных исследований.....	78
3.9 Уравнения регрессии зависимости физико-механических свойств материала от компонентного состава	84
3.10 Анализ согласованности теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств	88
3.11 Выводы по главе 3	92

ГЛАВА 4. Экономическая эффективность применения разработанной конструкции теплопроводов в составе энергетической системы.....	93
4.1 Определение экономической эффективности производства трубной конструкции с использованием ТБК	93
4.1.1 Блок-схема технологии производства трубной конструкции.....	93
4.1.2 Состав и стоимость технологического оборудования.....	98
4.1.3 Потребность и стоимость сырья и материалов	98
4.1.4 Расчет численности основных рабочих и фонда заработной платы.....	99
4.1.5 Расчет численности вспомогательных рабочих и фонда заработной платы..	99
4.1.6 Амортизационные отчисления.....	100
4.1.7 Потребность в электроэнергии	101
4.1.8 Затраты на техническое обслуживание и ремонт	101
4.1.9 Калькуляция себестоимости продукции.....	101
4.1.10 Показатели экономической эффективности производства.....	102
4.1.11 Сравнение стоимости различных видов теплоизоляционных материалов	104
4.2 Определение экономической эффективности применения разработанной трубопроводной конструкции при сооружении переходов через водные преграды (на примере г.Йошкар-Ола).....	105
4.2.1 Характеристика схемы теплоснабжения г.Йошкар-Олы	105
4.2.2 Анализ затрат сооружения подводного перехода по вариантам.....	107
4.3 Оценка влияния разработанного технического решения перехода через водную преграду на целевые показатели эффективности энергетической системы.....	110
4.4. Технология сооружения перехода через водную преграду	111
4.5 Выводы по главе 4	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
Приложение А.....	133
Приложение Б	141
Приложение В.....	148
Приложение Г	153
Приложение Д.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

Развитие теплоснабжения в нашей стране ориентировано на создание крупных систем централизованного теплоснабжения. [1]. Российская система теплоснабжения является самой большой в мире и включает в себя более 50 тыс. локальных систем теплоснабжения. В состав источников тепла входят около 585 ТЭЦ, более 3000 отопительных котельных производительностью выше 20 Гкал/час. Система транспорта тепловой энергии и теплоносителя от источников тепла до потребителя является составной частью энергетических систем и комплексов. Суммарная протяженность тепловых сетей составляет свыше 177 тыс.км в двухтрубном исполнении [2].

Особую актуальность и большую народнохозяйственную значимость приобретает задача повышения эффективности и надежности функционирования систем теплоснабжения, требующая решения вопросов рационального использования топлива, материальных и трудовых ресурсов, энергосбережения, улучшения экологической обстановки и обеспечения на высоком уровне снабжения энергоресурсами населения [3,4]. Для оценки эффективности энергетических систем применяют более тридцати показателей, важнейшим из которых является коэффициент использования установленной мощности [5,6]. В России КИУМ для ТЭЦ равен 30 %, для отопительных котельных 13 – 15 %, в США КИУМ для ТЭЦ равен 42,5 % [7]. В частности, массовое строительство многоквартирных домов с поквартирным отоплением от автономных газовых котлов в зонах централизованного теплоснабжения предопределило не востребованность ранее запроектированных под эту нагрузку и построенных централизованных источников тепла. В связи с этим, наиболее действенным способом повышения КИУМ является развитие тепловых сетей с целью переключения потребителей с существующих малоэффективных квартальных и объектовых отопительных котельных на крупную энергетическую систему, а также организация связей между локальными системами теплоснабжения с целью оптимального перераспределения подключенной тепловой нагрузки между ними

в период минимума и максимума несения нагрузки [8]. Фактически такая организация работы систем централизованного теплоснабжения реализует все их преимущества и основное предназначение создания крупных источников тепловой энергии с разветвленными тепловыми сетями. При этом экономическую обоснованность мероприятия необходимо подтвердить расчетом эффективности инвестиций в проект. Следует отметить, что в настоящее время уровень конструирования и строительства тепловых сетей не соответствует в достаточной мере современным требованиям. Медленно внедряются прогрессивные конструкции и промышленные методы прокладки теплопроводов. В частности, принимая во внимание, что подавляющее большинство населенных пунктов располагается по берегам различных водоемов, требует решения техническая задача преодоления теплопроводами водоемов. Известные способы пересечения водных преград являются технически сложными сооружениями, требующими значительных материальных и трудовых ресурсов. Наиболее распространен способ пересечения водных преград – прокладка теплопровода по строительной конструкции мостов железнодорожного и автомобильного транспорта. При этом необходимо исследовать несущую способность мостовых конструкций в связи с увеличением несущей нагрузки. В оптимальном месте с точки зрения выбора трассы теплопровода мост может отсутствовать, а сооружение специального моста при большой ширине водной преграды стоит значительных капитальных вложений. Другими известными вариантами решения этой задачи являются сооружение специальных подвесных переходов или сооружение подводного дюкера, представляющего собой сварную конструкцию с чугунными или бетонными грузами от всплытия, внутри которой на кронштейнах уложены теплопроводы. Каждый из перечисленных способов имеет преимущества и недостатки. Отсутствует надежная, простая, экономичная конструкция бесканальной прокладки теплопроводов по дну водоема. Это является сдерживающим фактором развития тепловых сетей и, следовательно, повышения эффективности системы теплоснабжения в целом. В настоящее время для тепловой изоляции трубопроводов применяются различные по своей природе и

назначению материалы и изделия, в том числе композиты. При этом отсутствуют исследования физико-механических характеристик новых теплоизоляционно-балластных композитов (ТБК) в составе трубной конструкции, обладающих нормируемыми теплоизоляционными, балластными и прочностными свойствами для прокладки теплопроводов бесканально по дну водоема. И как следствие, не изученным остается способ преодоления водных преград теплопроводами бесканально в траншее по дну водоема и не разработана трубная конструкция для этого вида прокладки.

Таким образом, разработка новых энерго- и ресурсосберегающих технических решений при транспортировке теплоты и энергоносителей в энергетических системах и комплексах с целью повышения их эффективности является актуальной задачей.

Объектом исследования являются транспортные системы теплоты и теплоносителей в энергетических системах и комплексах.

Предметом исследования является способ повышения эффективности энергетических систем и комплексов, заключающийся в разработке энергосберегающей и ресурсосберегающей трубопроводной конструкции для сооружения переходов теплопроводов через водные преграды.

Цель работы и задачи исследований. Целью работы является повышение инвестиционной привлекательности и как следствие, повышение эффективности энергетических систем и комплексов путем разработки энергосберегающей и ресурсосберегающей конструкции пересечения водных преград трубопроводами для транспортировки теплоты и теплоносителей.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Выполнить аналитический обзор основных показателей эффективности энергетических систем и способов их повышения в части, касающейся развития систем транспорта теплоты и теплоносителей.

2. Выполнить анализ способов пересечения теплопроводами водных преград. Выполнить анализ физико-механических свойств теплоизоляционных

материалов с целью возможности их применения для бесканальной прокладки теплопроводов в траншее по дну водной преграды.

3. Разработать и теоретически обосновать конструкцию бесканальной подводной прокладки теплопроводов систем теплоснабжения.

4. Экспериментально исследовать физико-механические характеристики конструкции подводного теплопровода систем теплоснабжения.

5. Выполнить оценку основных технико-экономических и инвестиционных показателей применения разработанной трубопроводной конструкции прокладки теплопроводов.

6. Разработать и обосновать предложения по повышению эффективности системы теплоснабжения г. Йошкар-Олы за счет применения разработанной трубной конструкции.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Основные результаты диссертационной работы соответствуют п.5 «Разработка и исследование в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке теплоты и энергоносителей в энергетических системах и комплексах» и п.6 «Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем и комплексов, на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования» паспорта специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Научная новизна результатов исследования заключается в том, что впервые разработана трубная конструкция для прокладки теплопроводов энергетических систем в траншее по дну водоема, определены ее физико-механические свойства. Полученные в результате экспериментальных исследований свойств уравнения регрессии позволяют определить рациональные характеристики конструкции. Новизна разработанных технических решений подтверждена патентами РФ.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в том, что полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований в дальнейшем могут быть использованы для моделирования физико-механических характеристик трубной конструкции в составе энергетической системы при пересечении водных преград.

Практическая значимость работы.

1. Разработка трубной конструкции расширяет способы решения технической задачи сооружения переходов теплопроводами водных преград в системе централизованного теплоснабжения. Экономические расчеты показали целесообразность технического решения для повышения эффективности городских энергетических систем (Акт принятия к внедрению ООО «МТсК»).

2. Использование результатов исследования в практике проектирования, строительства объектов инженерного обеспечения населенных пунктов позволяет снизить капитальные затраты на сооружении по сравнению с существующими способами прокладки трубопроводов (Акт о принятии результатов работы к внедрению МГП).

3. Основные положения и результаты используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (Акт внедрения)

Достоверность и обоснованность результатов исследований. Достоверность подтверждается лабораторными испытаниями на современном поверенном оборудовании с использованием стандартизированных методик, применением современных методов обработки и визуализации экспериментальных данных с помощью пакета программ Microsoft Office 2013, Компас-3D V13, Mathcad.

Методология и методы исследования. В процессе исследования использованы методы математического моделирования, математического планирования экспериментальных исследований, теории вероятности и математической статистики. Теоретические исследования базируются на теории общей проводимости, теории теплопроводности.

Личный вклад. Участие автора состоит в разработке основных идей диссертации, в постановке и решении задач теоретического, экспериментального и прикладного характера. Автору принадлежат основные идеи опубликованных в соавторстве статей и полученных патентов.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Трубная конструкция, обладающая нормируемыми физико-механическими характеристиками для бесканальной подводной прокладки теплопроводов энергетических систем.

2. Результаты экспериментальных исследований в виде уравнений регрессии, позволяющих определить рациональные физико-механические свойства трубной конструкции.

3. Оценка влияния применения трубной конструкции на инвестиционные показатели и энергоэффективность системы теплоснабжения на примере г. Йошкар-Ола.

Апробация работы. Основные положения работы и отдельные разделы докладывались, обсуждались и получили одобрение на всероссийской междисциплинарной научной конференции с международным участием «XIII, XIV, XV, XVI, XVII Вавиловские чтения» (Йошкар-Ола, 2010 – 2014 гг.); международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2012» (Уфа, 2012 г.); IX Международной учебно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2013» (Уфа, 2013 г.); международной научно-практической Интернет – конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012»; международной научно-практической Интернет – конференции «Исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития `2013», V Международной научной Экологической Конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» (Краснодар, 2017).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 22 печатных работах, в том числе: 8 в изданиях, входящих в перечень ВАК (в том числе 2

статьи в журналах, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации); 1 статья в журнале, индексируемом в международной базе SCOPUS; 1 патент на изобретение № 2544194; 3 патента на ПМ №122746, №132895, №136518 и 9 публикаций в материалах всероссийских, международных конференций и в прочих изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (114 наименований) и приложений. Объем работы включает в себя 169 страниц машинописного текста, 42 иллюстрации, 50 таблиц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1.1 Общая характеристика городского энергетического комплекса

Городской энергетический комплекс включает в себя муниципальные системы жизнеобеспечения: электро-, газо-, водоснабжения, канализации и теплоснабжения. Можно выделить три основных типа городского энергетического комплекса [11]:

1. Энергетические комплексы мегаполисов Санкт-Петербурга и Москвы, а также в иные крупные промышленные центры с населением более 1 млн.чел. (Екатеринбург, Новосибирск, Н.Новгород и др.) с высокой степенью концентрации населения и развитыми локальными системами централизованного теплоснабжения от нескольких ТЭЦ и отопительных котельных.

2. Энергетические комплексы большинства городов с населением менее 1 млн.чел., включая близлежащие поселения, имеющие локальные системы теплоснабжения от ТЭЦ и незначительного числа отопительных котельных.

3. Энергетические комплексы муниципальных образований с относительно низким уровнем централизации теплоснабжения, имеющие в основе локальные системы с подключением потребителей к отопительным котельным.

В зависимости от степени централизации системы теплоснабжения делятся на группы:

1. групповые – теплоснабжение от одного источника тепла двух и более зданий, объединенных в группу;

2. районные – теплоснабжение от одного источника тепла нескольких групп зданий одного района;

3. городские – теплоснабжение от одного источника тепла нескольких районов одного мегаполиса;

4. межгородские – теплоснабжение от одного источника тепла нескольких городов и населенных пунктов.

В большинстве случаев, в состав городской теплоэнергетической системы входят ТЭЦ и несколько отопительных котельных, различной ведомственной принадлежности. В общем полезном отпуске тепловой энергии для котельных

составляет 22 %, а ТЭЦ – 78 %. Неэффективность отопительных котельных покрывается эффективностью ТЭЦ. При этом в общей необходимой валовой выручке (экономически обоснованном объеме финансовых средств, необходимых организации для осуществления регулируемой деятельности в течении расчетного периода) для котельных составляет 35 %, и ТЭЦ – 65 % [11].

1.2 Основные показатели эффективности энергетических систем и способы их повышения

В общем понимании, энергетическая эффективность это характеристика, отражающая отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта [20].

Для оценки состояние энергетических систем с точки зрения их эффективности использования энергетических и иных ресурсов разработаны технико-экономические показатели. Разработано несколько десятков критериев оценки эффективности, в зависимости от цели исследования энергетической системы. Например, в «Методических рекомендациях по разработке схем теплоснабжения» в составе базовых значений целевых показателей рекомендуется учитывать 35 показателей. Вместе с тем, в трудах Варнавского Б.П., Аракелова В.Е., Гашо Е.Г., Кузнецовой Ж.Р. и др. отмечено, что задача оценки эффективности теплоэнергетических систем по причине их многогранности остается нерешенной в полной мере [21-29].

Одним из важнейших критериев состояния эффективности энергетической системы является загруженность установленных мощностей. Оценку эффективности функционирования системы теплоснабжения можно провести с помощью коэффициента использования установленной мощности [29].

Коэффициентом использования установленной мощности называется отношение фактической рабочей тепловой мощности к установленной тепловой мощности всех котлоагрегатов за определенный период времени.

$$K_u = N_{\text{выр}} / N_{\text{max}}, \% \quad (1)$$

где: $N_{\text{выр}}$ - тепловая производительность в текущем году;

N_{max} – максимально возможная тепловая производительность.

Тепловые источники имеют существенный избыток мощности. ТЭЦ загружены не более 30 % от установленной мощности. Отопительные котельные мощностью свыше 3 Гкал/час загружены в среднем на 15 %. Хуже всего используются мощности малых котельных менее 3 Гкал/час, КИУМ составляет 13 % [1].

Пути повышения эффективности городских систем теплоснабжения, являются: увеличение подключенной нагрузки за счет присоединения новых потребителей путем развития тепловых сетей, а также организация связей между локальными системами теплоснабжения с целью оптимального несения тепловых нагрузок [8]. При этом возможны несколько вариантов решения проблемы. Выбор принимаемого к внедрению варианта зависит от результатов технико-экономического обоснования:

1. оставление отопительных котельных в качестве резервных источников тепла;
2. закрытие отопительных котельных с переводом теплоснабжения потребителей с одного локальной системы на другую систему;
3. использование связей в случае возникновения аварийных ситуаций, а также покрытия тепловой нагрузки в переходный и межотопительный период.
4. рациональное распределение подключенной нагрузки между локальными системами теплоснабжения при прохождении минимума и максимума несения нагрузки.

В условиях населенных пунктов обустройство связей между локальными системами теплоснабжения затруднено по причине:

1. плотной городской застройки;
2. наличия большого количества инженерных коммуникаций;
3. необходимость выполнения расчетов и наладки гидравлических режимов потребителей объединенной системы теплоснабжения

4. прокладка теплотрассы под проезжей частью улиц с необходимостью введения ограничения движения транспорта и пешеходов, а также сооружение переходов через водные преграды, имеющиеся в пределах мегаполиса.

1.3 Анализ современных теплоизоляционных материалов для оборудования и трубопроводов

Целью применения теплоизоляционных материалов, наносимых на технологическое оборудование и трубопроводы, является снижение потерь тепловой энергии при экзотермических процессах. При технико-экономическом обосновании способа прокладки трубопроводов необходимо учитывать тип тепловой изоляции (материала, толщины основного теплоизоляционного слоя и материала защитного покрытия) при соблюдении оптимального соотношения капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Большой вклад в разработку материалов рациональной тепловой защиты тепловых сетей и оборудования в разные годы внесли ученые: Е.Я. Соколов, Е.П. Шубин, С.В. Хижняков, В.В. Гурьев, В.П. Витальев, Б.М. Шойхет, Ю.М. Хлебалин, Л.В. Ставрицкая, Ю.Е. Николаев, и другие.

Признаками, классифицирующими теплоизоляционные материалы, являются [30,31,32]:

Форма и внешний вид:

1. штучные (различной геометрической формы);
2. в виде рулонов и шнуров (маты, шнуры, жгуты);
3. сыпучие (перлитовый песок).

Вид сырья:

1. неорганические;
2. органические;
3. композиционные материалы

Структура материала:

1. ватные и волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
2. зернистые (перлитовые, вермикулитовые);

3. ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты, совелитовые и др.).

Жесткость при удельной нагрузке 0,002 МПа:

1. мягкие — сжимаемость свыше 30 % (вата: минеральная, стеклянная, каолиновая, базальтовая, супертонкая стекловолоконная, маты и плиты из штапельного стекловолокна);

2. полужесткие — сжимаемость от 6 до 30% (минераловатные, из стекловолокна на синтетическом связующем);

3. жесткие — сжимаемость до 6% (минераловатные на синтетическом и битумном связующем);

А также:

4. повышенной жесткости — сжимаемость до 10 % при удельной грузке 0,04 МПа (минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем);

5. твердые – сжимаемость до 10 % при удельной нагрузке 0,1 МПа.

Коэффициент теплопроводности при средней температуре 298 К (25 °С):

1. класс А (низкой теплопроводности) $\lambda < 0,06$ Вт/(м*К);

2. класс Б (средней теплопроводности) $\lambda = 0,06 - 0,115$ Вт/(м*К);

3. класс В (повышенной теплопроводности) $\lambda = 0,115 - 0,175$ Вт/(м*К).

Горючесть [120]:

1. негорючие;

2. слабогорючие;

3. умеренногорючие);

4. нормальногорючие;

5. сильногорючие.

Теплоизоляционные материалы в зависимости от назначения подразделяются на изоляционно-строительные (утепление строительных ограждающих конструкций), изоляционно-монтажные (утепление промышленного оборудования и трубопроводов). Следует отметить, что указанная классификация по назначению условна, так как некоторые материалы могут быть применены и в

качестве строительных конструкций, и в качестве изоляции промышленных оборудования.

Требования, предъявляемые к материалам, применяемым в качестве тепловой изоляции оборудования и трубопроводов:

1. обеспечение нормированной плотности теплового потока через изолированные поверхности в соответствии с установленными технологическими режимами;

2. экологическая чистота в процессе изготовления, эксплуатации и утилизации, (отсутствие вредных, пожароопасных и взрывоопасных, неприятно пахнущих веществ, болезнетворных бактерий, вирусов и грибков);

3. соблюдение требований пожарной безопасности.

Физико-механические свойства, предъявляемые к материалам теплоизоляционного слоя теплопроводов для всех видов прокладки:

1. плотность $\rho \leq 400 \text{ кг/м}^3$;

2. коэффициент теплопроводности $\lambda \leq 0,07 \text{ Вт/(м*К)}$ при температуре 25°C (298 K)

3. влажность не более значений, нормируемых государственными стандартами и техническими условиями.

Требования для бесканальной прокладки трубопроводов:

1. плотность $\rho \leq 600 \text{ кг/м}^3$;

2. коэффициент теплопроводности $\lambda \leq 0,13 \text{ Вт/(м*К)}$ при температуре материала 20°C (293 K)

3. влажность не более значений, нормируемых государственными стандартами и техническими условиями.

Тепловая изоляция наносится на смонтированное оборудование, трубопровод в виде отдельных элементов или теплоизоляционных блоков, а также конструкций заводского изготовления. В настоящее время широкое применение получили трубы с тепловой изоляцией полной заводской готовности.

В состав теплоизоляционные конструкции заводского изготовления входят полносборные и комплектные изделия. Полносборная теплоизоляционная

конструкция состоит из теплоизоляционных изделий, составляющих основной теплоизоляционный слой, закрепленный на трубопроводе и защитного покровного слоя, зафиксированного крепежными деталями. Теплоизоляционные конструкции представляют собой цилиндры с одним продольным разрезом, а также полуцилиндры-скорлупы. В состав комплектных теплоизоляционных конструкций входят тех же элементы, что и в состав полносборных. Комплектные теплоизоляционные конструкции собраны в единую конструкцию с помощью крепежных деталей.

В настоящее время в нашей стране в качестве теплоизоляции теплопроводов широко распространены изделия и материалы: минераловатные, пенополиуретан (ППУ), пенополимерминеральная (ППМ) различных производителей [35].

Наиболее широко распространенным и длительным по сроку применения и эксплуатации теплоизоляционным материалом являются прошивные минеральные изделия, представленные на рис.1.1.

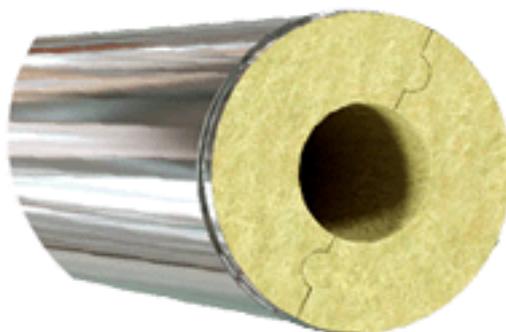


Рис. 1.1 Минераловатная изоляция

В качестве тепловой изоляции трубопроводов диаметром 219 мм и менее применяются мягкие минераловатные или стекловатные цилиндры, полуцилиндры, маты, рулоны, плиты. Для изоляции трубопроводов диаметром 273 мм и более применяются цилиндры, состоящие минераловатных и стекловатных матов, составляющих основной теплоизоляционный слой и покровного слоя из гидроизоляционного материала (фольга, фольгоизол,

фольгорубероид, пленка ПВХ). Покровный слой с помощью битума, синтетического клея приклеивается к теплоизоляционному слою. Маты теплоизоляционные из минеральной ваты, прошивные, а также на синтетическом связующем, применяются для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования с температурой энергоносителя от минус 180 °С до плюс 570 °С. Минераловатная изоляция не выделяет в процессе эксплуатации вредных и опасных для здоровья пахнущих веществ, является негорючим и невзрывоопасным материалом. Средний фактический срок эксплуатации в каналах в отсутствие затопляемости – 7 лет. Плотность $\rho = 75 - 150 \text{ кг/м}^3$. При увлажнении минеральной теплоизоляции тепловые потери увеличиваются более чем в 3 раза, при этом резко возрастает скорость наружной коррозии рабочей трубы.

Сырьем для минераловатных теплоизоляционных материалов являются горные породы базальтовой группы. Эти минералы весьма распространены в природе, добыча их несложна и не затратная, так как производится открытым способом. После предварительной подготовки сырье загружается в печи, где при температуре около 1500 °С превращается в жидкую расплавленную массу. Затем расплав поступает в центрифуги, распыляется на мельчайшие струи и застывает в виде тонких и длинных волокон (диаметр волокна не превышает 15 мкм, а длина – до 50 мм). Застывшие волокна собираются в маты, которое проходит обработку специальными связующими и гидрофобными составами. Затем следует прессование матов, после чего они подвергаются дополнительной температурной обработке. В конце производственного цикла маты нарезаются на стандартные блоки с дальнейшей передачей на линию упаковки и склад готовой продукции.

Преимущества материала:

1. Экологическая чистота. Содержание формальдегидные смолы ничтожно мало, в процессе завершающей термообработки происходит практически полная полимеризация.
2. Эффективный барьер против воздушных и ударных шумов.
3. Гигроскопичен.
4. Не является питательной средой для микрофлоры.

5. Гидрофобность.
6. Пожаробезопасность.
7. Долговечность, эластичность, упругость.

Недостатки материала:

1. При внешнем незначительном внешнем воздействии теряет свою первоначальную форму (рис. 1.2).
2. При длительном нахождении в воде становится гигроскопичным.
3. При работе требуется защита рук и органов дыхания.



Рис. 1.2 Дефекты минераловатной изоляции

Характеристики минераловатной изоляции приведены в таблицах 1.1-1.3.

Таблица 1.1 Минераловатные цилиндры KNAUF

Наименование показателя	Значение
Коэффициент теплопроводности (Вт/м×°С):	
- расчетная при t = 10 °С	0,036
- расчетная при t = 25 °С	0,037
- эксплуатационная при условиях «А»	0,039
- эксплуатационная при условиях «Б»	0,041
Группа горючести	НГ
Класс пожаробезопасности	КМ0
Паропроницаемость (мг/(м×ч×Па), не менее	0,03

Влагопоглощение при частичном погружении	не более 1кг/м ²
Удельная поверхностная плотность, г/м ²	110 ± 5%
Устойчивость к напору воды, мм водяного столба, не менее	250 (с антипиреновыми добавками – 200 мм)
Устойчивость на разрыв, Н/см, по длине / по ширине, не менее	190 / 140
Устойчивость к ультрафиолетовому облучению, не менее	3 ÷ 4 месяцев
Паропроницаемость, г/(м ² ×сутки)	1000

Таблица 1.2 Минераловатные цилиндры ISOSYSTEM

Наименование	Значение
Плотность, кг/м ³	от 81 до 100
Температура применения, °С	от –180 до +250
Теплопроводность, Вт/(мК), не более при температуре:	
- расчетная при t = 10 0С	0,035
- расчетная при t = 25 0С	0,036
- расчетная при t = 125 0С	0,047
- расчетная при t = 300 0С	0,086
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	0,005
Содержание органических веществ, % по массе, не более	3,0
Влажность, % по массе, не более	0,5
Водопоглощение, %, по объему, не более	1,5
Группа горючести: кашированные / некашированные	Г1 / НГ
Модуль кислотности, не менее	2
Водостойкость, рН, не более	4
Средний диаметр волокна, мкм	4,5 – 6
Содержание неволоконистых включений, % по массе, не более	4,5

Таблица 1.3 Минераловатные на синтетическом связующем PIPEWOOL
(рис. 1.3)

Наименование	Значение
Плотность кг/м ³	80, 100, 120, 150, 200
Теплопроводность, Вт/(мК), не более при температуре	
- расчетная при t = 10 °С	0,035 - 0,038
- расчетная при t = 25 °С	0,036 – 0,042
- расчетная при t = 125 °С	0,047 – 0,051
- расчетная при t = 300 °С	0,085 – 0,088
Теплоемкость кДж/кг*К	0,84
Прочность на сжатие при 10% деформации, кПа не мене	15 – 45
Водопоглощение, % менее	1,5
Группа горючести, по ГОСТ 30244	НГ
Паропроницаемость, ГОСТ Р ЕН 25898, мг/м*ч*Па	0,3
Содержание органических веществ % по массе, менее	3,5 – 4,5
Влажность, % по массе, не более	0,5

Достоинства материала:

1. Рабочие температуры эксплуатации: до +700 °С.
2. Температура плавления волокна теплоизоляции: от + 1000 °С.
3. Не подвержены воздействию химических элементов (щелочей, кислот), а также ультрафиолетового и электромагнитного излучений.
4. Просты в монтаже и технологичны при обработке.
5. Долговечны.



Рис. 1.3 Минераловатные цилиндры PIPEWOOL

Наиболее перспективным теплоизоляционным материалом является пенополиуретан (ППУ), который полностью изменил взгляд на теплоизоляцию. Изобретен в 1937 году немецким химиком-технологом и промышленником Отто Георгом Вильгельмом Байером (Bayer) [17] (рис. 1.4). Плотность готового изделия 80 – 100 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,03 Вт/(м*К).

Его преимуществами являются:

1. небольшой коэффициент теплопроводности;

2. высокая адгезионная прочность с трубопроводом;
3. экологическая безопасность;
4. долговечность;
5. антикоррозионная защита;
6. малое водопоглощение;
7. механическая прочность;
8. не поддерживает горение;
9. термостойкость 150 °С;
10. водопоглощение конструкции при полном погружении – отсутствует, т.к. в качестве покрытия используется полиэтиленовая труба.



Рис. 1.4 Труба в ППУ изоляции

Недостатками данного материала являются:

1. при сгорании ППУ выделяются токсичные газы: HCN, угарный газ CO, углекислый газ CO₂, поэтому воздействие открытого пламени или искр на тепловую изоляцию по длине трубы и в торцевых сечениях не допускается.

Температура воспламенения ППУ – от 550 °С до 600 °С.

2. ограниченность расчетных параметров теплоносителя в системах теплоснабжения должны быть: рабочее давление – не более 1,6 МПа, температура не более 140 °С (допускается повышение температуры до 150°С в пределах графика качественного регулирования отпуска тепла) рисунок 1.5;

3. необходимость защиты теплоизоляции от солнечного света, так как ультрафиолет для нее губителен.



Рис. 1.5 Дефекты ППУ изоляции

Специалистами ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром» разработан новый вид тепловой изоляции для бесканальной прокладки теплопроводов – пенополимерминеральная (ППМ) изоляция (рис. 1.6). Впервые прокладка теплопроводов в ППМ изоляции в промышленном масштабе осуществлена в

1978г. ППМ изоляция – высоконаполненный композиционный материал, получаемый на основе органоминеральных композиций, включающих различные вариации химических веществ и минеральных наполнителей (кварцевый песок и др.) с учетом местных сырьевых возможностей [34]. Основная особенность заключается в отсутствии внешней гидрозакривной полиэтиленовой оболочки. Вспенивание и твердение ППМ изоляции протекает в нормальных воздушно-сухих условиях с экзотермическим эффектом.



Рис. 1.6 Труба в ППМ изоляции

ППМ изоляция на стальной трубе представляет монолитную конструкцию, состоящую из 3-х слоев с переменной по сечению плотностью:

1. внутренний, антикоррозионный слой толщиной 3 – 8 мм, плотно прилегающий к трубе с плотностью 400 – 600 кг/м³;

2. средний, теплоизоляционный слой, имеющий толщину согласно расчёту, с плотностью 80 – 100 кг/м³;

3. наружный, механо-гидрозащитный слой с плотностью 400 – 600 кг/м³;

Основные физико-технические свойства ППМ изоляции:

1. средняя плотность 200 – 250 кг/м³;

2. предел прочности: при сжатии – 1,2 МПа; при изгибе – 1,7 МПа;

3. адгезия к трубе – 0,4 МПа;

4. теплопроводность – 0,048 Вт/(м*К);

5. термостойкость – 150 °С.

Преимущества ППМ материала:

1. сохранение первоначальных свойств ППМ изоляции в длительной эксплуатации при различных гидрогеологических условиях;

2. не разрушение конструкции или образования трещин вследствие контакта с грунтом независимо от характеристики грунтовых условий и режимов работы теплопроводов;

3. неизменность степени увлажнения и паропроницаемости конструкции при разрушении наружного коркового слоя;

4. высокая ремонтпригодность конструкции;

5. отсутствие выделений в процессе эксплуатации вредных веществ;

6. высокая прочность;

7. высокая адгезия к стальной трубе;

8. низкая теплопроводность.

Недостатками ППМ изоляции являются [35]:

1. невысокая надежность по причине отсутствия гидроизоляционного слоя и возможного проникновения влаги к рабочей трубе;

2. не проработано поведение теплоизоляции на подвижных участках тепловой сети;

3. добавление минерального наполнителя повышает хрупкость изоляции;

4. отсутствие системы оперативно-диспетчерского контроля (СОДК);
5. сезонная пропитка и выпаривание влаги разрушает ППМ слой;
6. невозможность установки СОДК из-за постоянного наличия влаги в ППМ слое;
7. необходимо устройство попутного дренажа;
8. необходима дополнительная наружная антикоррозийная защита;
9. защитная корка из песка и ППУ в процессе производства получается неоднородной и разной толщины по длине трубы.

В настоящее время для изоляции трубопроводов тепловых сетей при бесканальной прокладке также применяются следующие материалы, имеющие расчетные характеристики [33], которые сведены в табл.1.4.

Таблица 1.4 Расчетные характеристики теплоизоляционных материалов бесканальной прокладки трубопроводов

Материал	Условный проход трубопровода, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность сухого материала при 20°С, Вт/(м*К)	Максимальная температура вещества, °С
Армопенобетон	150 – 800	350 – 450	0,105 – 0,13	150
Битумоперлит	50 – 400	450 – 550	0,11 – 0,13	130*
Битумокерамзит	до 500	600	0,13	130*
Пенополимербетон	до 500	600	0,13	130*
* Допускается применение до температуры 150°С при качественном методе отпуска теплоты				

Применяемые материалы для тепловой изоляции технологического оборудования трубопроводов имеют коэффициент теплопроводности от 0,03 до 0,13 Вт/(м*К) и плотность от 200 до 600 кг/м³.

Приведенный обзор научно-технической документации показал, что трубопроводная конструкция с тепловой изоляцией из рассмотренных теплоизоляционных материалов, имеющих низкую плотность, может быть использована для наземной или подземной прокладки теплопроводов. Непосредственно использовать такую конструкцию для подводной прокладки теплопроводов без выполнения дополнительной балластировки нельзя, поскольку

В средней части туннеля имеется бетонный массив для фиксации температурных удлинений металлического каркаса. Береговые концы туннеля входят в железобетонные камеры с устройством сальниковых уплотнений соединения туннеля с камерами.

Сооружение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией, рассчитанной на поддержание внутренней температуры воздуха 40°C при эксплуатационном режиме и 30°C при производстве ремонтных работ.

Компенсация температурных перемещений водяных и паровых трубопроводов предусмотрена естественной за счет наклонных участков теплотрассы. Неподвижные балочные стоечные опоры трубопроводов расположены на береговых горизонтальных участках и в середине туннеля.

Сооружение туннеля выполнено в три этапа. На первом этапе, на стапеле, организованном на расстоянии 1 км от места перехода выполнена сборка металлического каркаса из отдельных элементов. Концы туннеля заглушены. Одновременно подготовлена траншея шириной 10 м и глубиной 7,5 м от уровня воды в реке. На втором этапе готовый туннель спущен на воду и отбуксирован к месту погружения. Установленные по концам русловой части туннеля две плавучие опоры поддерживали при помощи тросов и лебедок колена наклонной части. В дальнейшем этими лебедками регулировали скорости погружения туннеля и точную его установку в створ перехода.

На завершающем третьем этапе с помощью плавучего крана туннель пригружен чугунными полукольцами, после откачки балластной воды траншея засыпана до уровня дна реки.

Второй теплофикационный металлический подводный туннель длиной 195 м через р. Москву предназначен для прокладки двух паропроводов диаметром 500 мм, двух водяных теплопроводов диаметром 500 мм и конденсатопровода диаметром 200 мм. Диаметр туннеля 2,5 м и 2,8 м с толщиной стенок 14 мм и 16 мм с ребрами жесткости. Русловой участок уложен в траншею на гравийную постель толщиной 0,5 м. Над оболочкой туннеля уложен слой грунта, равный 2 м. Конструкция второго туннеля аналогична конструкции первого туннеля, за

исключением балластировки. Туннель балластируется железобетонными грузами, имеющими П-образную форму с двумя рядами железобетонных балок, укладываемых на грузы.

Сооружение дюкера из стальных труб применяется при необходимости перехода через небольшие реки. Например, переход двух теплопроводов диаметром 630 мм через водоотводной канал р. Москвы выполнен при помощи двух дюкеров из труб диаметром 1020 мм в качестве футляров. Для предохранения от всплытия футляры пригружены железобетонными грузами. Для равномерного распределения перемещений футляра от температурных удлинений в середине установлена неподвижная бетонная опора. На бережных по концам футляра установлены две береговые железобетонные камеры.

Тепловая изоляция состоит из минеральной ваты с асбестоцементной коркой по металлической сетке. Антикоррозионное покрытие футляров выполнено из слоя праймера, двух слоев битумной мастики, слоя гидроизола, двух слоев битумной мастики, слоя гидроизола, двух слоев битумной мастики. Смонтированные на стапеле футляры с заглушенными концами спущены на воду и отбуксированы к месту погружения. Футляры уложены на отсыпанные гравийные призмы на дне траншеи. После подбивки под них песчаного грунта выполнен монтаж железобетонных грузов. К недостаткам этого способа переходов по сравнению с прокладкой в проходном тоннеле следует отнести меньшую надежность.

Возможны два варианта мостовых переходов: сооружение специальных мостовых переходов и использование существующих мостов и путепроводов. Последний вариант является наиболее простым и экономичным способом.

Вновь сооруженный мостовой переход через водоотводной канал р.Москвы представляет собой железобетонный мост пролетом 32 м и предназначен для прокладки двух теплопроводов диаметром 500 мм используется также для пешеходного движения.

В г.Йошкар-Ола республики Марий Эл сооружен висячий мост для прокладки двух трубопроводов диаметром 600 мм длиной 112 м для подачи

теплоносителя от МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» в Заречную часть города, который также используется в качестве пешеходного перехода между берегами р.Кокшага (рис. 1.8). Мост включает в себя два пилона с якорями с закрепленными несущими тросами, к которым подвешена металлическая каркасная конструкция, внутри которой на опорах размещены два теплопровода (рис. 1.9).

Возможность использование существующего моста для прокладки теплопроводов зачастую встречает трудности, связанные:

1. с дополнительной до 10 % сверх проектной нагрузки на мостовые конструкции;
2. с ухудшением условий нормальной эксплуатации моста и теплопроводов;
3. с необходимостью сооружения дополнительных постоянных площадок и лестниц.



Рис. 1.8 Мостовой переход теплопроводов через р.М.Кокшага в г.Йошкар-Ола

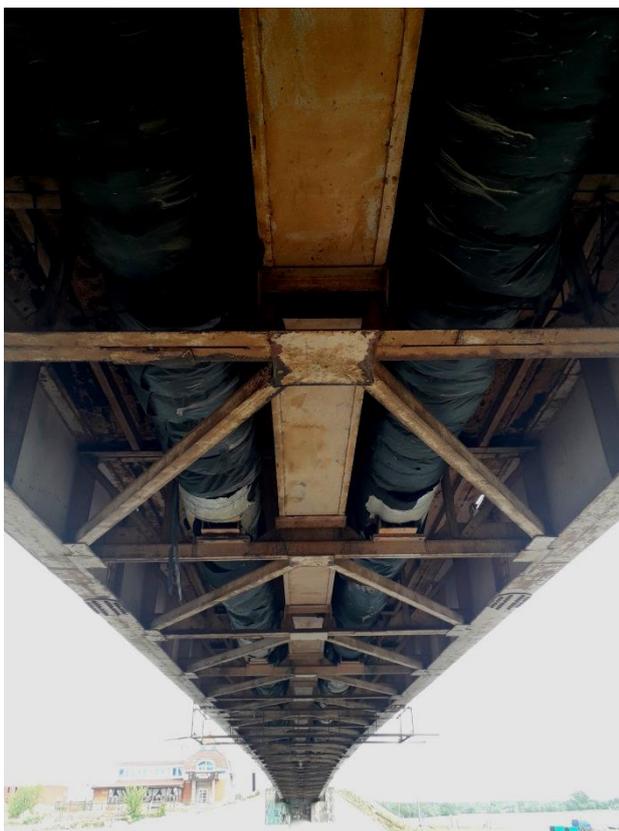


Рис. 1.9 Теплопроводы 2Ду600 мостового перехода

1.5 Балластные материалы и средства подводных трубопроводов

Балластировка подводных трубопроводов выполняется с целью придания конструкции состояния, при котором он будет находиться в покое в заранее заданном (проектом) положении на дне водоема [37].

Подводный вид прокладки широко применяется для магистральных газопроводов и нефтепроводов. В трудах П.П.Бородавкина, О.Б.Шадрина, Ф.М.Мустафина, Л.И.Быкова изложены способы проектирования, выбор оптимальных вариантов и конструктивных решений подводных переходов магистральных трубопроводов через водные преграды [38,39]. К подводным относятся трубопроводы, укладываемые ниже поверхности воды. По расположению относительно естественной поверхности дна водоемов трубопроводы можно укладывать ниже дна (заглубленный трубопровод), на дне (незаглубленный трубопровод) и выше дна (погруженный трубопровод).

Средства балластировки разбиты на группы [39]. К средствам балластировки первой группы относятся устройства, действующие на трубопровод собственным весом:

1. одиночные железобетонные грузы рис. 1.10;
2. групповая установка одиночных железобетонных грузов;
3. одиночные чугунные грузы рис. 1.11;
4. минеральный грунт засыпки, обычно используется при повышенном заглублении трубопровода;
5. закрепленные гидрофобизированные грунты;
6. полимерно-контейнерные балластирующие устройства (ПБКУ), заполненные местным или привозным грунтом или щебнем;
7. минеральный грунт в оболочке из нетканых синтетических материалов;
8. сплошное обетонирование труб;
9. анкерные плиты;
10. комбинированные способы.

К средствам балластировки второй группы относятся анкерные устройства, несущую способность которых определяют свойствами грунтов:

1. винтовые анкерные устройства (ВАУ);
2. раскрывающего типа;
3. выстреливаемые;
4. взрывные;
5. вмораживаемые;
6. свайные консольного типа;
7. якорные анкерные устройства;
8. ВАУ с повышенной удерживающей способностью;
9. анкер-инъекторы.

Возможно придание отрицательной плавучести трубопроводной конструкции за счет заполнения балластным материалом межтрубного пространства конструкции «труба в трубе» [40].



Рис. 1.10 Пригрузки железобетонные



Рис. 1.11 Пригрузки чугунные

Известен балластный материал, который наносится на наружную поверхность труб подводных магистральных трубопроводов. Материал содержит цемент (12 – 17 % по объему), воду (10 %), поликарбонат в качестве дополнительного пластификатора (0,2 – 0,3 %), воздухоподавляющая добавка – трибутилофосфат (0,0012 %), баритовую руду (остальное) в качестве заполнителя с размерами зерен различной фракции [41]. Плотность превышает 2200 – 3400 кг/м³, прочность на сжатие – не менее 40 МПа, толщина 25 – 250 мм.

Конструкция обетонированной трубы с применением балластного материала приведена на рис. 1.12.



Рис. 1.12 Конструкция обетонированной трубы

Конструкция обетонированной трубы, кроме основных – балластирующих (утяжеляющих) свойств, обладает рядом существенных достоинств:

1. пропорциональное распределение утяжеляющей конструкции по всей поверхности трубы, полное отсутствие возможности потери балластирующей способности в течение всего периода эксплуатации;

2. высокая степень стойкости к любым внешним механическим воздействиям разнонаправленного характера;

3. высокая степень экологической и промышленной безопасности конструкции;

4. низкий уровень рисков на всех этапах транспортировки, строительства и эксплуатации трубопроводов;

5. высокий уровень экономической эффективности, снижение доли ручного труда и повышение культуры производства на всех этапах.

Для тепловых сетей данный способ балластировки является наиболее приемлемым с точки зрения технологичности изготовления и ремонтпригодности. Вместе с тем у данной конструкции имеются определенные недостатки, заключающиеся в том, что:

1. она не может быть применена без конструкционных изменений для подводных теплопроводов, т.к. рассчитана для балластировки труб, транспортирующих вещества (нефть, нефтепродукты, природный газ), имеющих удельный вес меньше удельного веса воды;

2. отсутствует информация о теплофизических свойствах балластного материала, являющихся основными при транспортировке теплоносителей.

С развитием композиционных материалов, объединяющих физико-механические свойства входящих компонентов, появилась возможность путем варьирования составом создавать новые материалы для различных условий эксплуатации. Например, свойствами теплоизоляционных и балластных материалов для подводной прокладки теплопроводов. Применение древесно-цементных композитов в качестве теплоизоляционно-балластных материалов представляется перспективным, поскольку они характеризуются низкой теплопроводностью, термостойкостью, при достаточно высокой плотности и прочности. Изменяя пропорции компонентов можно получить широкий ряд материалов с различными физико-механическими характеристиками. Использование древесно-цементных материалов для тепловой изоляции трубопроводов является экономически целесообразным за счет низкой стоимости материала, технологичности при изготовлении, ремонтпригодности, в том числе в трассовых условиях. Кроме того, древесно-цементные композиты являются экологически чистыми, как в процессе производства, эксплуатации, так и утилизации.

1.6 Выводы по главе 1

1. Приведена общая характеристика и основные показатели эффективности городского энергетического комплекса. Важнейшей характеристикой

эффективности является коэффициент использования установленной мощности. Установленная мощность большинства источников тепла значительно превышает подключенную нагрузку. ТЭЦ загружены не более 30 % от установленной мощности. Отопительные котельные мощностью свыше 3 Гкал/час загружены в среднем на 15 %. Хуже всего используются мощности малых котельных менее 3 Гкал/час, КИУМ составляет 13 %.

2. Одним из действенных способов повышения эффективности энергетической системы является увеличение зоны теплоснабжения путем развития тепловых сетей, а также формирование оперативных связей между локальными источниками тепла с целью рационального распределения подключенной нагрузки при минимуме и максимуме несения нагрузки.

3. Препятствием для увеличения зоны теплоснабжения является наличие водных преград, сооружение переходов теплопроводов через которые требуют значительных затрат. Не разработан надежный, дешевый, быстрореализуемый метод пересечения водных преград теплопроводами в траншее по дну водоема.

4. Анализ физико-механических свойств современных теплоизоляционных материалов для трубопроводов тепловых сетей показал, что трубопроводные конструкции обладают положительной плавучестью и без дополнительной балластировки не могут быть применены для сооружения переходов через водные преграды. Балластировка значительно повышает стоимость инвестиционного проекта. Наиболее эффективным способом балластировки подводных трубопроводов является конструкция обетонированной трубы.

5. С развитием технологии производства композиционных материалов, совмещающих одновременно несколькими физико-механическими свойствами, представилась возможность разработки трубной конструкции для нового вида бесканального перехода теплопроводами водных преград в траншее по дну водоема.

6. Применение древесно-цементных композитов в качестве теплоизоляционно-балластных материалов представляется перспективным, поскольку они характеризуются низкой теплопроводностью, термостойкостью,

при достаточно высокой плотности и прочности. Древесно-цементные композиты являются экологически чистыми, как в процессе производства, эксплуатации, так и утилизации.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Требования, предъявляемые к трубопроводной конструкции для сооружения подводного перехода:

- надежность;
- простота при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте;
- иметь устойчивость против всплытия;
- иметь необходимые теплоизоляционные свойства;
- иметь необходимые прочностные свойства;
- минимальные затраты на изготовление, строительные-монтажные работы, непродолжительность срока сооружения;
- должна быть выполнена из экологически чистых материалов.

2.1 Разработка трубной конструкции

На основании выполненного в предыдущей главе анализа существующих переходов теплопроводов через водные преграды, теплоизоляционных материалов, балластирующих материалов предложена наиболее отвечающая заявленным требованиям конструкция, состоящая из рабочей стальной трубы, помещенной в защитную полиэтиленовую оболочку с заполнением межтрубного пространства ТБК.



Рис. 2.1 Трубная конструкция

Данные о стальных электросварных прямошовных трубах, изготовленных по [74], примененных в качестве стальной рабочей трубы приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1 Трубы стальные электросварные прямошовные

№ п/п	Ду, мм	Дн, мм	δ, мм	Масса, кг/п.м.
1	50	57	3	4
2	70	76	4	7,10
3	80	89	4	8,38
4	100	108	5	12,70
5	125	133	5	15,78
6	150	159	5	18,99
7	200	219	6	31,52
8	250	273	6,5	42,64
9	300	325	7	54,90
10	400	426	7	72,33
11	500	530	7	90,28
12	600	630	8	122,72
13	700	720	8	140,50
14	800	820	9	180,00
15	900	920	9	202,20
16	1000	1020	10	249,10
17	1200	1220	11	327,97
18	1400	1420	12	416,68

Данные о полиэтиленовых трубах, изготовленных согласно [75], применяемых в качестве наружной защитной оболочки приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2 - Трубы напорные из полиэтилена

№ п/п	Дн, мм	δ, мм	Масса, кг/п.м.	№ п/п	Дн, мм	δ, мм	Масса, кг/п.м.
1	160	3	0,71	8	710	12,5	13,12
2	180	3	0,80	9	800	14,0	16,56
3	315	5	2,33	10	900	15,6	20,76
4	450	7	4,66	11	1100	17,5	28,48
5	500	8	5,92	12	1200	19,5	34,79
6	560	8	6,63	13	1425	23,5	49,53
7	630	9,5	8,86	14	1600	27,5	65,06

ТБК, являясь композиционным материалом, состоит из матрицы и армирующих наполнителей, придающих композиту требуемые балластирующие и теплоизоляционные свойства.

В качестве связующего использован водный раствор портландцемента. Основой связующего является портландцемент марки 400 из одной партии [55]. Пропорция ингредиентов определяется коэффициентом водоцементного отношения, при котором достигается нормированная для бетонов консистенция [56]. Далее по тексту под термином «портландцемент» подразумевается водоцементный раствор, обладающий указанными свойствами.

Технические характеристики примененного портландцемента представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 Технические характеристики портландцемента М400

Наименование показателя	Показатели
Насыпная плотность, кг/м ³ в рыхлом состоянии в уплотненном	900 – 1100 1400 – 1700
Истинная плотность, г/см ³	3 – 3,1
Предел прочности в возрасте 28 сут при изгибе, МПа (кгс/см ²) при сжатии, МПа (кгс/см ²)	5,4 (55) 39,2 (400)
Изменение объема при испытании образцов кипячением в воде	Равномерное
Начало/конец схватывания цемента от начала затворения	Не ранее 45 мин/не позднее 10 ч
Тонкость помола при просеивании сквозь сито с сеткой №008 по ГОСТ 6613	Прохождение не менее 85% от общей массы
Массовая доля ангидрида серной кислоты (SO ₃), % по массе	Не менее 1,0 и более 3,5
Подвижность цементно-песчаного раствора состава 1:3 расплыв стандартного конуса, мм	Не менее 135

Вода для приготовления исследуемого древесно-цементного композита соответствует требованиям ГОСТ [45], указанным в табл. 2.4.

Таблица 2.4 Технические характеристики воды

Наименование показателя	Показатели
Содержание органических поверхностно-активных веществ, сахаров или фенолов	Не более 10 мг/л
Пленка нефтепродуктов, жиров, масел	Отсутствие
Окисляемость	Не более 15мг/л
Водородный показатель (рН)	От 4 до 12,5
Максимальное допустимое содержание взвешенных частиц	200 мг/л
Максимальное допустимое содержание растворимых солей	2000 мг/л
Максимальное допустимое содержание ионов SO ₄	600 мг/л
Максимальное допустимое содержание ионов Cl	350 мг/л

Для придания ТБК теплоизоляционных свойств использованы древесные частицы, имеющие коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,09 - 0,17$ Вт/(м*К) и являющиеся отходами деревообработки: опилки 0,1 – 3 мм, стружка 0,5 – 20 мм, технологическая щепа 10 – 30 мм. Влажность примененных древесных частиц составляет 8 – 12 %. Наилучшими для производства древесно-цементных композиций считаются отходы хвойных пород (ель, сосна) [58,59]. Эксперименты проведены с использованием отходов сосны. Отходы древесины применяются после выдержки в естественных условиях не менее пяти месяцев. В древесном наполнителе отходы хвои и коры отсутствуют. Использованный для экспериментов древесный наполнитель не имеет гнили.

С целью обладания ТБК необходимой плотностью, достаточной для придания ему отрицательной плавучести (балластирующих свойств) применен барит (барий сернокислый $BaSO_4$) с размером частиц от 0,01 до 160 мкм с плотностью $\rho = 4700$ кг/м³ [60]. Барит не токсичное для организма человека вещество, в отличие от всех растворимых солей бария, и именно поэтому его применение в качестве материала для теплоизоляционно-балластного покрытия трубопроводов тепловых сетей является целесообразным. Основные характеристики балластного наполнителя представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 Технические характеристики бария сернокислого

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Порошок серого цвета
Растворимость в воде и кислотах	Отсутствует
Массовая доля воды, %, не более	0,1
Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,002
Массовая доля нитратов (NO ₃), %, не более	0,005
Массовая доля тяжелых металлов (Pb), %, не более	0,001
Массовая доля хлоридов (Cl), %, не более	0,015
Массовая доля растворимых в соляной кислоте веществ, %, не более	0,2
Массовая доля сульфатов (SO ₄), %, не более	0,015

2.2 Теоретическое обоснование трубной конструкции

Разработанная трубная конструкция состоит из стандартизированных элементов, изготовленных из материалов, физико-механические свойства которых известны, за исключением ТБК. С этой целью выполним исследования плотности и коэффициента теплопроводности ТБК в зависимости от компонентного состава.

В общем случае плотность композиционного материала рассчитывается по формуле:

$$\rho_{КОМП} = \sum_i \rho_i \frac{v_i}{100}, \quad (2.1)$$

где $\rho_{КОМП}$ – плотность композиционного материала, кг/м³;

ρ_i – плотность i -го элемента композита, кг/м³;

v_i – объемная доля i -го элемента композита;

$i = 1, 2, 3 \dots$

Для трехкомпонентного (портландцемент, барит, древесные частицы) композиционного материала, при равных долях первого v_1 и второго v_2 , а также известной плотности компонентов, величина объемной доли 3-го компонента имеет вид [49]:

$$v_3 = \frac{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_{КОМП}}{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_3}, \quad (2.2)$$

Теоретическое исследование эффективности теплоизоляционного материала базируется на теории обобщенной проводимости смесей. Случай шарообразных включений, равномерно введенных в сплошную матрицу, описан формулой Максвелла-Вагнера:

$$\Lambda = \Lambda_M \frac{2\Lambda_M + \Lambda_B + 2\Theta_B(\Lambda_B - \Lambda_M)}{2\Lambda_M + \Lambda_B - \Theta_B(\Lambda_B - \Lambda_M)} \quad (2.3)$$

где: Λ_M - обобщенная проводимость субстанции (матрицы), в которую введены включения; Λ_B - обобщенная проводимость включений; Θ_B - относительная объемная концентрация включений в смеси.

С учетом того, что теплоизоляционный материал является трехкомпонентным, в котором связующее (портландцемент) и балластный наполнитель (барит), имеющие одинаковую порошковую структуру, образуют его матрицу, а также K_{Π} - поправочного коэффициента, учитывающего пластинчатую, отличную от шарообразной, форму включений теплоизоляционного наполнителя, формулу коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{КОМП}}$, Вт/(м*К) можно представить в следующем виде:

$$\lambda_{\text{КОМП}} = K_{\Pi} \lambda_{\text{М}} \frac{2\lambda_{\text{М}} + \lambda_{\text{З}} + 2 \frac{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_{\text{КОМП}}}{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_3} (\lambda_{\text{З}} - \lambda_{\text{М}})}{2\lambda_{\text{М}} + \lambda_{\text{З}} - \frac{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_{\text{КОМП}}}{\rho_1 + \rho_2 - 2\rho_3} (\lambda_{\text{З}} - \lambda_{\text{М}})} \quad (2.4)$$

где: $\lambda_{\text{КОМП}}$, $\lambda_{\text{М}}$, $\lambda_{\text{З}}$ – коэффициенты теплопроводности композита, матрицы, теплоизоляционного наполнителя, Вт/(м*К);

$\rho_{\text{КОМП}}$, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 – плотность композита, связующего, балластного наполнителя, теплоизоляционного наполнителя, кг/м³;

Величины насыпной плотности и коэффициентов теплопроводности компонентов приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 Насыпная плотность и коэффициент теплопроводности компонентов

Портландцемент 400	Барит с размером частиц 0,01-160 мкм	Древесные отходы		
		Опилки мелкие сухие (W=8 -12 %)	Стружка мелкая сухая	Щепа технологическая хвойных пород
Насыпная плотность, кг/м ³				
1300	4700	110 – 170	100 – 200	600 – 700
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)				
0,47	1,7	0,09 – 0,17	0,09 – 0,17	0,09 – 0,17

В результате численного решения формулы (4) для стандартизированных характеристик арболита, являющегося однотипным с разработанным цементно-древесным композитом (плотность $\rho=850$ кг/м³ и коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,17$ Вт/(м*К)), получен поправочный коэффициент $K_{\Pi}=0,597$.

Используя формулу 2.4 и данные табл.2.6 получим зависимость коэффициента теплопроводности ТБК с учетом поправочного коэффициента.

Расчет выполним с помощью программы Microsoft Office Excel. С целью анализа результатов исследований плотности и теплопроводности в зависимости от доли теплоизоляционного наполнителя, а также выявления взаимосвязи между плотностью и теплопроводностью композиционного теплоизоляционно-балластного материала, полученные данные объединим и представим в графическом виде на рис. 2.2.

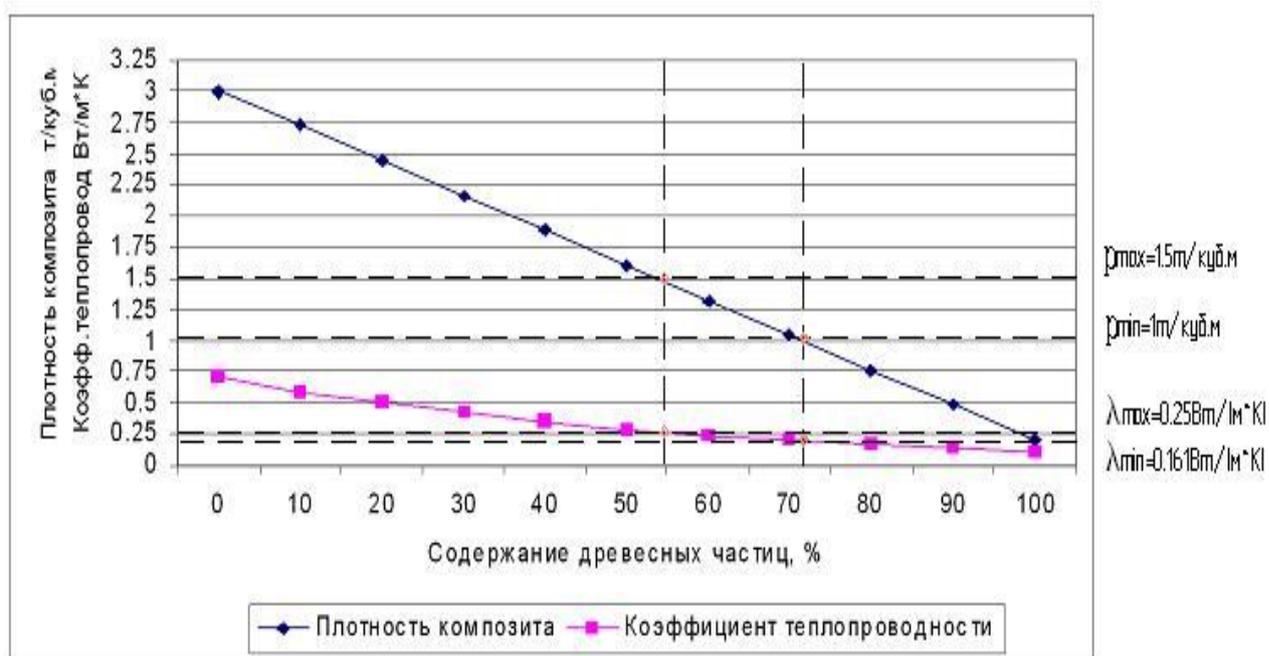


Рис. 2.2 Результаты расчетов зависимости плотности и теплопроводности ТБК от объемной доли теплоизоляционного наполнителя

Из уравнений (2.1) и (2.4) выведем зависимость коэффициента теплопроводности от плотности, которую отобразим в виде графика на рис. 2.3.

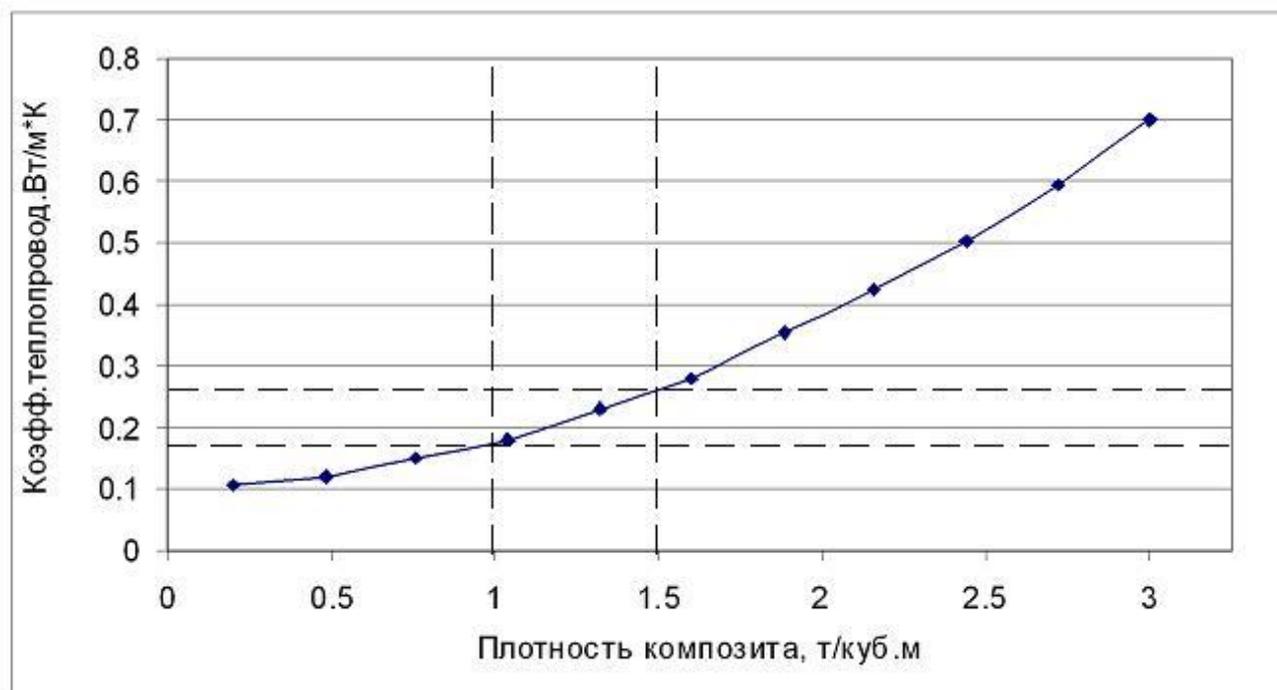


Рис. 2.3 Зависимость коэффициента теплопроводности от плотности ТБК

Из анализа выполненных исследований плотности и теплопроводности следует, что для обеспечения балластирующих и теплоизоляционных свойств трубной конструкции ТБК должен обладать плотностью $\rho = 1000 - 1500 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,161 - 0,25 \text{ Вт/(м*К)}$. При этом объемная доля древесного наполнителя находится в пределах от 55 % до 71,4 %.

2.3 Исследование передачи теплоты при прокладке теплопровода в подводной траншее

Трубную конструкцию можно рассматривать как цилиндрическую многослойную стенку (рис.2.4).

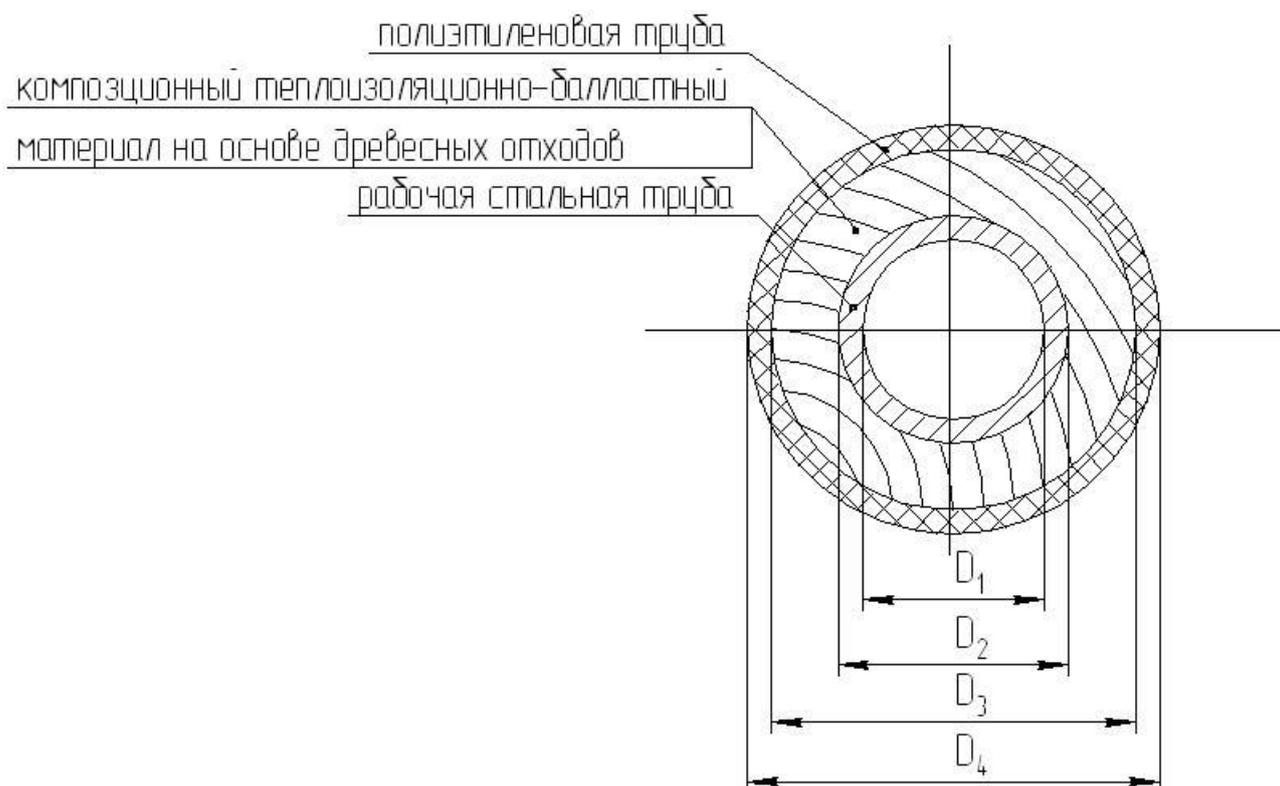


Рис. 2.4 Разрез разработанной трубной конструкции

Особенность теплопроводности через цилиндрическую стенку, как и через другие криволинейные ограждения, заключается в том, что при прохождении через нее тепла поверхности входа и выхода теплового потока не равны. При распространении тепла изнутри трубы, поверхность входа теплового потока меньше, чем поверхность его выхода [63, 64]. Расчеты передачи тепла выполним, используя схему рис.2.5.

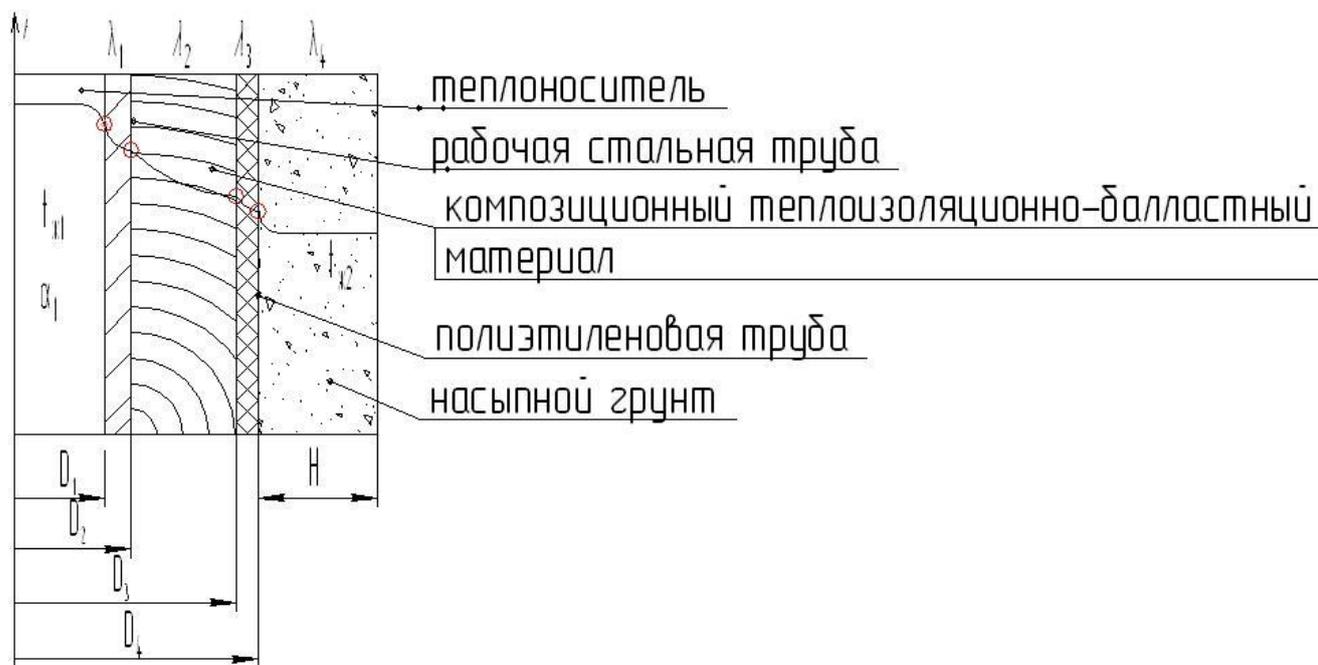


Рис. 2.5 Схема передачи тепла через многослойную цилиндрическую стенку и массив грунта.

В расчетных формулах приняты следующие обозначения, представленные в табл. 2.7.

Таблица 2.7 Принятые условные обозначения

Символ	Наименование	Единица измерения
$t_{ж1}$	температура теплоносителя в трубопроводе	К
$t_{ж2}$	температура окружающей среды (грунтовой засыпки траншеи)	К
α_1	коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя к стенке трубы	Вт/(м ² *К)
α_2	коэффициент теплоотдачи со стороны грунтовой засыпки траншеи	Вт/(м ² *К)
$t_{c1}, t_{c2}, t_{c3}, t_{c4}$	температура на внутренней и наружной поверхности: стальной трубы, тепловой изоляции, защитной полиэтиленовой оболочки	К
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	коэффициент теплопроводности стальной трубы, тепловой изоляции, защитной полиэтиленовой оболочки, засыпного грунта	Вт/(м*К)
D_1	внутренний диаметр стальной трубы	м
D_2	наружный диаметр стальной трубы – внутренний диаметр тепловой изоляции	м
D_3	наружный диаметр тепловой изоляции – внутренний диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
D_4	наружный диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
H	толщина засыпки траншеи	м

q	плотность теплового потока	Вт/м ²
k	коэффициент теплопередачи	Вт/(м ² *К)
λ	коэффициент теплопроводности	Вт/(м*К)
ν	коэффициент кинематической вязкости	м ² /с
a	коэффициент температуропроводности	м ² /с
w	скорость теплоносителя в трубопроводе	м/с
l	характерный линейный размер поверхности теплообмена	м
s	расстояние между осями трубопроводов	м
R	термическое сопротивление	(м ² *К)/Вт

При условии установившегося (стационарного) теплового состояния плотность теплового потока q , Вт/(м*К) через отдельные элементы трубопроводной конструкции равна [65]:

$$q = \frac{\pi(t_{жс1} - t_{жс2})}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}} \quad (2.5)$$

Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²*К) для трехслойной стенки определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}} \quad (2.6)$$

В общем случае для многослойной стенки трубы термическое сопротивление R , (м*К)/Вт определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1 D_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_4} \quad (2.7)$$

В общем случае коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²*К) трубопроводной конструкции будет равен:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}} \quad (2.8)$$

Внутри каждого слоя трубопроводной конструкции температура изменяется по логарифмическому закону. Для многослойной стенки температурная кривая представляет собой ломаную кривую рис.2.5.

Определение коэффициента теплоотдачи со стороны теплоносителя к стенке трубы α_1 и коэффициента теплоотдачи со стороны грунтовой засыпки траншеи α_2 является задачей, решение которой возможно только экспериментальным способом. Распространять результаты экспериментов можно только на подобные между собой явления. Теория подобия устанавливает, при каких условиях явления подобны, на какие явления можно распространять выводы данного опыта и пр. Теория подобия положена в основу метода моделирования, позволяющего производить исследование работы каких-либо устройств и аппаратов не на их самих, а на подобных им моделях. Закон теплового подобия определяет условия, при которых геометрически и гидромеханически подобные системы подобны и в тепловом отношении. Критерием теплового подобия являются [64]:

1. Критерий Рейнольдса, характеризующий отношение сил инерции и сил вязкости в потоке жидкости

$$Re = \frac{wl}{\nu} \quad (2.9)$$

2. Критерий Пекле, характеризующий отношение конвективных и кондуктивных потоков тепла при конвективном теплообмене

$$Pe = \frac{wl}{a} \quad (2.10)$$

3. Критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность теплообмена на границе «жидкость – стенка»

$$Nu = \frac{al}{\lambda} \quad (2.11)$$

4. Критерий Прандтля, характеризующий физические свойства жидкости

$$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a} \quad (2.12)$$

Критериальное уравнение для определения теплоотдачи капельной или упругой жидкости при турбулентном режиме течения ($Re > 10^4$) имеет вид:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (2.13)$$

Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке трубы α_1 , Вт/(м²*К) определяется по формуле:

$$\alpha_1 = 0,023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \quad (2.14)$$

Для расчета внешнего коэффициента теплоотдачи α_2 , Вт/(м²*К) подводного трубопровода применим формулу Форхгеймера:

$$\alpha_2 \approx \frac{2\lambda_4}{D_4 \ln \left[\frac{2H}{D_4} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D_4} \right)^2 - 1} \right]} \quad (2.15)$$

При $H / D_4 \gg 1$

$$\alpha_2 \approx \frac{2\lambda_4}{D_4 \ln \frac{4H}{D_4}} \quad (2.16)$$

Термическое сопротивление массива грунта R_{gp} , (м²*К)/Вт при совместной прокладке подающего и обратного трубопроводов определяется по формуле:

$$R_{gp} = \frac{\ln \left(\frac{4 \cdot H}{D_4} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ГР}} \quad (2.17)$$

Термическое сопротивление $R_{влиян}$, (м²*К)/Вт учитывающее взаимное влияние подающего и обратного трубопроводов определяется по формуле:

$$R_{влиян} = \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot H}{s} \right)^2}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ГР}} \quad (2.18)$$

Среднегодовые часовые удельные тепловые потери подающего $q_{под}$ и обратного $q_{обр}$, Вт(м*К) трубопроводов определяются по формулам:

$$q_{под} = \frac{(t_{под}^{ср.год.} - t_{ГР}^{ср.год.}) \cdot (R_{изол} + R_{ГР}) - (t_{обр}^{ср.год.} - t_{ГР}^{ср.год.}) \cdot R_{влиян}}{(R_{изол} + R_{ГР}) \cdot (R_{изол} + R_{ГР}) - R_{влиян}^2} \quad (2.19)$$

$$q_{обр} = \frac{(t_{обр}^{ср.год.} - t_{ГР}^{ср.год.}) \cdot (R_{изол} + R_{ГР}) - (t_{под}^{ср.год.} - t_{ГР}^{ср.год.}) \cdot R_{влиян}}{(R_{изол} + R_{ГР}) \cdot (R_{изол} + R_{ГР}) - R_{влиян}^2} \quad (2.20)$$

Физические свойства воды при максимальной температуре теплоносителя в подающем трубопроводе $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляют $\lambda = 68,4 \cdot 10^{-2}\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\nu = 2,03 \cdot 10^{-7}\text{ м}^2/\text{сек}$, $a = 6,22 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2/\text{ч}$.

Исследование выполним при следующих исходных данных:

1. Среднегодовая температура в подающем трубопроводе для температурного графика $150\text{-}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $79,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, в обратном трубопроводе – $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ [17];

2. Температура грунта – $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ [56];

3. Глубина заложения до верха трубопроводов – $1,0\text{ м}$ [37].

4. Расстояние между теплоизоляциями подающего и обратного трубопроводов – $0,5\text{ м}$ [37].

5. Коэффициент теплопроводности ТБК у учетом поправочного коэффициента $K_{\text{п}}$ примем $\lambda_{\text{изол}} = 0,161\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

6. Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{\text{гр}} = 1,1\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{\text{ст}} = 54,52\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, коэффициент теплопроводности полиэтилена $\lambda_{\text{полиэт}} = 0,35\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Критерий Прандтля рассчитываем по формуле (2.11):

$$\text{Pr} = \frac{2,03 \cdot 10^{-7} \cdot 3600}{6,22 \cdot 10^{-4}} = 1,18 \quad (2.21)$$

Выполним для разных типоразмеров стальной трубы расчет критерия Рейнольдса по формуле (2.9), критерия Нуссельта по формуле (2.11), коэффициента теплопередачи α_1 по формуле (2.14) и α_2 по формуле (2.15). Результаты сведем в табл.2.8.

Таблица 2.8 Расчетные значения критерия Рейнольдса, критерия Нуссельта и коэффициента теплоотдачи

Условный диаметр трубопровода D_y , мм	Re	Nu	α_1 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	α_2 Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)
50	246305	505	6914	10041
70	344828	662	6464	7769
80	394089	736	6294	7030
100	492611	880	6019	5964
125	615764	1052	5756	5079

150	738916	1217	5550	4468
200	985222	1532	5240	3178
250	1231527	1832	5011	2837
300	1477833	2119	4832	2588
350	1724138	2397	4685	2399
400	1970443	2668	4562	2250
450	2216749	2931	4456	2132
500	2463054	3189	4363	1956
600	2955665	3690	4206	1837
700	3448276	4174	4079	1755
800	3940887	4645	3971	1701
900	4433498	5104	3879	1670
1000	4926108	5552	3798	1668
1200	5911330	6424	3662	7769

Определим среднегодовые часовые удельные тепловые потери тепловой энергии для трубопроводных конструкций принятых типоразмеров по формулам (2.19) и (2.20) с использованием программы Microsoft Office Excel и сравним с нормируемыми значениями удельных тепловых потерь среднегодовыми часовыми удельными потерями тепловой энергии для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной, бесканальной прокладке по СП [30]. Результаты расчетов представлены на рис.2.6.

Таким образом, проведенные теоретические исследования показали, что теплоизоляционные характеристики разработанного композиционного теплоизоляционно-балластного материала на основе древесных отходов соответствуют предъявляемым требованиям по теплозащите трубопроводов с условным диаметром D_y200 включительно и более. Применение данной теплоизоляции трубопроводов для трубопроводов диаметром менее D_y200 возможно путем увеличения толщины изоляции.

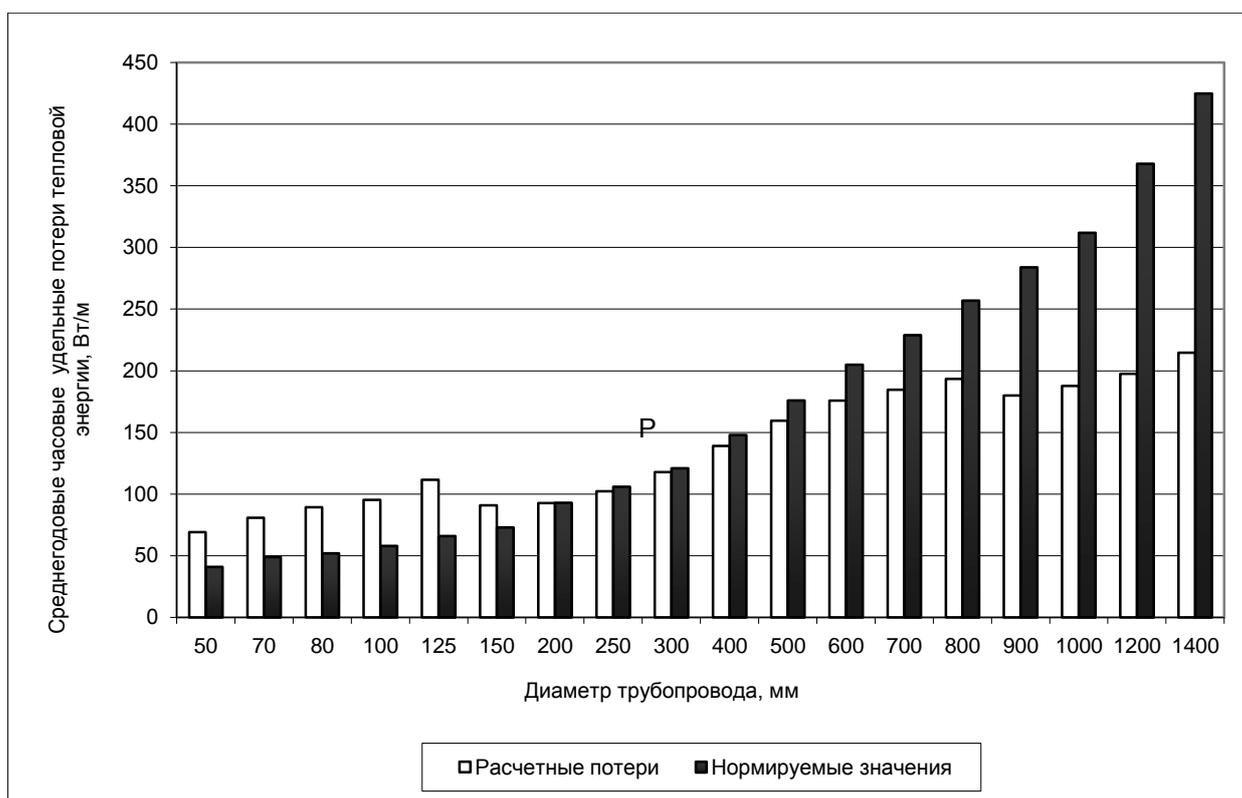


Рис.2.6 Среднегодовые часовые удельные тепловые потери тепловой энергии, Вт/м

2.4 Определение устойчивости против всплытия трубной конструкции

Под устойчивым состоянием подводного трубопровода понимается такое состояние, при котором он будет находиться в покое в заранее заданном (проектом) положении при самой неблагоприятной комбинации нагрузок, стремящихся вывести его из этого положения [67].

В общем случае такими нагрузками являются: выталкивающая Архимедова сила, горизонтальная и вертикальная составляющие гидродинамического воздействия потока. Для компенсации этих сил и воздействий используется собственная масса трубопроводной конструкции и заполняющего его перекачиваемого продукта, а также балластные устройства.

Самое неблагоприятное сочетание нагрузок имеет место, когда трубопровод не заглублен, т.е. находится на дне водоема в траншее. При обтекании потоком жидкости подводные трубопроводы подвергаются силовому воздействию потока

и действию подъемной силы Архимеда. При положении, когда трубопровод уложен в подводную траншею, засыпан грунтом и заполнен транспортируемым продуктом, число нагрузок, снижающих запас устойчивости, значительно уменьшается.

Для выполнения расчетов введем необходимые обозначения табл.2.9.

Таблица 2.9 Принятые условные обозначения

Символ	Название	Единица измерения
ρ	плотность воды водоема	кг/м ³
ρ_1	плотность теплоносителя	кг/м ³
ρ_2	плотность материала стальной трубы	кг/м ³
ρ_3	плотность теплоизоляционно-балластного покрытия	кг/м ³
ρ_4	плотность материала защитной полиэтиленовой оболочки	кг/м ³
D_1	внутренний диаметр стальной трубы	м
D_2	наружный диаметр стальной трубы – внутренний диаметр теплоизоляционно-балластного покрытия	м
D_3	наружный диаметр теплоизоляционно-балластного покрытия – внутренний диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
D_4	наружный диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
$m\bar{g}$	сила тяжести трубопроводной конструкции с теплоносителем и балластом	Н
\vec{F}_A	выталкивающая сила Архимеда	Н
\vec{N}	реакция опоры	Н
\vec{F}_{TP}	сила трения покоя	Н
\vec{P}_X	сила лобового сопротивления потока со скоростью \vec{v}	Н
\vec{P}_Y	подъемная сила потока со скоростью \vec{v}	Н
f_{TP}	коэффициент трения поверхности трубы о грунт	-
s	расстояние от трубопровода до дна траншеи	м
$v_{нов}$	скорость потока на поверхности водоема	м/с
$v_{дон}$	скорость потока у дна водоема	м/с
v	скорость потока в траншее на глубине y	м/с
$v_{дон,т}$	скорость потока у дна траншеи	м/с
$k_{у.с.}$	коэффициент запаса устойчивости на сдвиг	-
$\varphi_{ГР}$	угол внутреннего трения грунта	градус
n_1	коэффициент перегрузки по весу трубопровода и конструкции	-
n_2	коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда	-

Расчетная схема нагрузок и воздействий приведена на рис. 2.7.

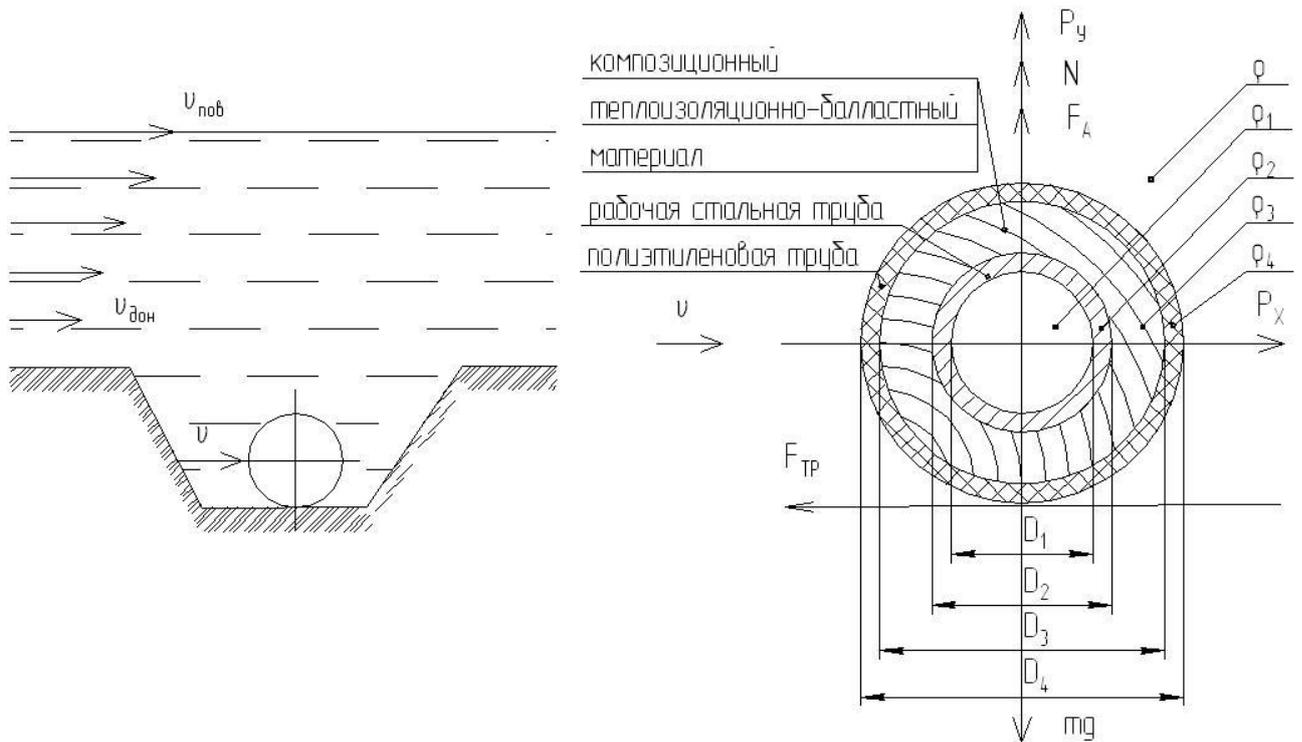


Рис. 2.7 Расчетная схема нагрузок и воздействий на подводный трубопровод в траншее

В общем виде уравнение условия равновесия для трубопроводной конструкции, помещенной в водоем:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{F}_{TP} + \vec{P}_X + \vec{P}_Y = 0 \quad (2.22)$$

Проекция сил на ось X:

$$\vec{F}_{TP} - \vec{P}_X = 0 \quad (2.23)$$

Проекция сил на ось Y:

$$-m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{P}_Y = 0 \quad (2.24)$$

Удельные величины сил на 1 м длины трубопровода:

1. Вес трубопроводной конструкции складывается из веса транспортируемого теплоносителя, стальной трубы, теплоизоляционно-балластного покрытия и полиэтиленовой трубы:

$$n_1 mg = \frac{1}{4} \pi [\rho_1 D_1^2 + \rho_2 (D_2^2 - D_1^2) + \rho_3 (D_3^2 - D_2^2) + \rho_4 (D_4^2 - D_3^2)] g \quad (2.25)$$

2. Выталкивающая сила Архимеда определяется по формуле:

$$F_A = \frac{1}{4} n_2 \rho g \pi D_4^2 \quad (2.26)$$

3. Сила трения трубопровода о грунт определяется по формуле:

$$F_{TP} = f_{TP}N \quad (2.27)$$

4. Составляющие гидродинамического воздействия потока определяются по формулам, в которой коэффициенты C_X, C_Y характеризуют следующие виды сопротивлений: сопротивление трения, обусловленное касательными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода; сопротивление давления, обусловленное нормальными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода:

$$P_X = \frac{1}{2}C_X\rho v^2 D_4 \quad (2.28)$$

$$P_Y = \frac{1}{2}C_Y\rho v^2 D_4$$

5. Из уравнения (2.23) следует: $F_{TP} = P_X$ (2.29)

6. Из уравнения (2.24) следует: $N = mg - F_A - P_Y$ (2.30)

7. Таким образом, устойчивость трубопроводной конструкции в пространстве определяется из условия:

$$P_X \langle (mg - F_A - P_Y) f_{TP} \quad (2.31)$$

8. В общем случае условие устойчивости единицы длины трубопровода с учетом коэффициента запаса устойчивости $k_{y.c.}$ имеет вид:

$$P_X \cdot k_{y.c.} \leq (mg - F_A - P_Y) f_{TP} \quad (2.32)$$

Авторы [54, 55, 59], обобщая результаты выполненных ими опытов и исследований, для трубопроводов с гладкими и синтетическими покрытиями по графику зависимости, полученной Визельсбергером и Рошко для $10^4 \langle \text{Re} \langle 1,5 \cdot 10^5$, рекомендуют принимать коэффициент лобового сопротивления $C_X = 1,2$. Коэффициент подъемной силы в практических расчетах при касании трубопровода дна ($s/D=0$), рекомендовано принимать $C_Y = 0,6$. Коэффициент перегрузки по весу трубопроводной конструкции для двухтрубной конструкции с заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором n_1 рекомендовано принимать при диаметре трубы $D \leq 600\text{мм}$ равным 1,00, для

трубы $D > 600 \text{ мм}$ принимать равным 0,95. Коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда рекомендовано принимать при диаметре трубы $D \leq 700 \text{ мм}$ для пресной воды равным 1,00, для трубы $D \geq 700 \text{ мм}$ равным 1,05. Указанными авторами также исследовано, что донная скорость потока составляет 0,4 – 0,6 от поверхностной скорости. Коэффициент устойчивости $k_{в.с.}$ принимается равным 1,10 при диаметре трубы $D \leq 600 \text{ мм}$ и 1,15 при $D > 600 \text{ мм}$. Наибольшее значение коэффициента трения поверхности трубы о грунт $f_{ТР}$ принимается равным $tg \varphi_{ГР}$. Угол внутреннего трения грунта $\varphi_{ГР}$ примем для глины, имеющей наименьшее значение по табл.2.10.

Таблица 2.10 Расчетные характеристики уплотненных влажных грунтов

Грунт	$\varphi_{ГР}$, градусы
Гравелистый песок	36...40
Песок средней крупности	33...38
Мелкий песок	30...36
Супеси	21...25
Суглинки	17...22
Глины	15...18
Торф	16...30

Используя приведенные выше расчетные формулы и рекомендации по определению составляющих, выполнена проверка устойчивости подводных трубопроводов из труб различного типоразмера.

Рабочая стальная труба принята согласно ГОСТ для стальных электросварных прямошовных труб, изготовленных по [74], применяемых для прокладки тепловых сетей.

Защитная полиэтиленовая оболочка изготовлена из полиэтиленовых труб, изготовленных согласно [75].

Толщина нанесенного на стальную трубу теплоизоляционно-балластного покрытия определяется как разность между внутренним диаметром полиэтиленовой трубы и наружным диаметром стальной трубы.

Результаты расчетов массы трубопроводной конструкции, включающей в себя массу теплоизоляционно-балластного покрытия, теплоносителя с учетом масс стальной трубы и полиэтиленовой трубы сведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11 Расчет веса трубопроводной конструкции и силы Архимеда с учетом коэффициентов перегрузки

№ п/п	Условный диаметр стальной трубы, мм	Теплоизоляционно-балластное покрытие		Масса теплоносителя кг/п.м	Вес трубопроводной конструкции с коэфф. n_1 , Н/п.м	Сила Архимеда с коэфф. n_2 , Н/п.м
		δ , мм	масса, кг/п.м			
1	50	48,5	18,33	2,29	248,45	197,14
2	70	39,0	16,16	4,07	275,09	197,14
3	80	32,5	14,33	5,67	285,35	197,14
4	100	33,0	16,84	8,33	379,34	249,51
5	125	20,5	11,68	12,86	403,41	249,51
6	150	73,0	60,65	18,62	986,78	764,12
7	200	108,5	127,00	35,61	1950,18	1559,42
8	250	105,5	143,48	55,75	2430,85	1925,21
9	300	79,5	116,85	79,38	2521,68	1925,21
10	400	59,0	105,54	137,82	3161,92	2414,99
11	500	40,5	89,17	214,72	3953,74	3056,47
12	600	27,5	76,74	303,7	5064,77	3882,00
13	700	26,0	85,13	397,95	5965,75	4928,54
14	800	24,4	94,01	516,31	7558,82	6549,57
15	900	72,5	278,69	651,49	10818,64	9783,93
16	1000	70,4	302,27	800,78	12925,64	11643,69
17	1200	79,0	407,49	1147,42	18009,17	16419,42
18	1400	62,5	390,84	1556,23	22635,35	20699,88

Результаты проверки устойчивости сведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12 Проверка устойчивости подводного трубопровода

№ п/п	Условный диаметр стальной трубы, мм	Сила лобового сопротивления потока R_x , Н/п.м	Сила лобового сопротивления с коэфф. устойчивости на сдвиг $K_{y.c.}$, Н/п.м.	Подъемная сила потока R_y , Н/п.м.	Реакция опоры N с коэфф. трения трубы о грунт $f_{тр}$, Н/п.м.
1	50	29,04	31,94	14,52	11,96
2	70	29,04	31,94	14,52	20,62
3	80	29,04	31,94	14,52	23,95
4	100	32,67	35,94	16,34	36,89
5	125	32,67	35,94	16,34	44,71
6	150	57,17	62,89	28,59	63,08
7	200	81,68	89,84	40,84	113,72
8	250	90,75	99,83	45,38	149,59
9	300	90,75	99,83	45,38	179,10
10	400	101,64	111,80	50,82	226,24
11	500	114,35	125,78	57,17	273,03
12	600	128,87	141,75	64,43	363,46
13	700	145,20	166,98	72,60	313,50
14	800	163,35	187,85	81,68	301,46

15	900	199,65	229,60	99,83	303,84
16	1000	217,80	250,47	108,90	381,24
17	1200	258,64	297,43	129,32	474,64
18	1400	290,40	333,96	145,20	581,84

Графическое изображение результатов проверки устойчивости трубопроводной конструкции с применением композиционного теплоизоляционно-балластного материала приведено на рис. 2.8.

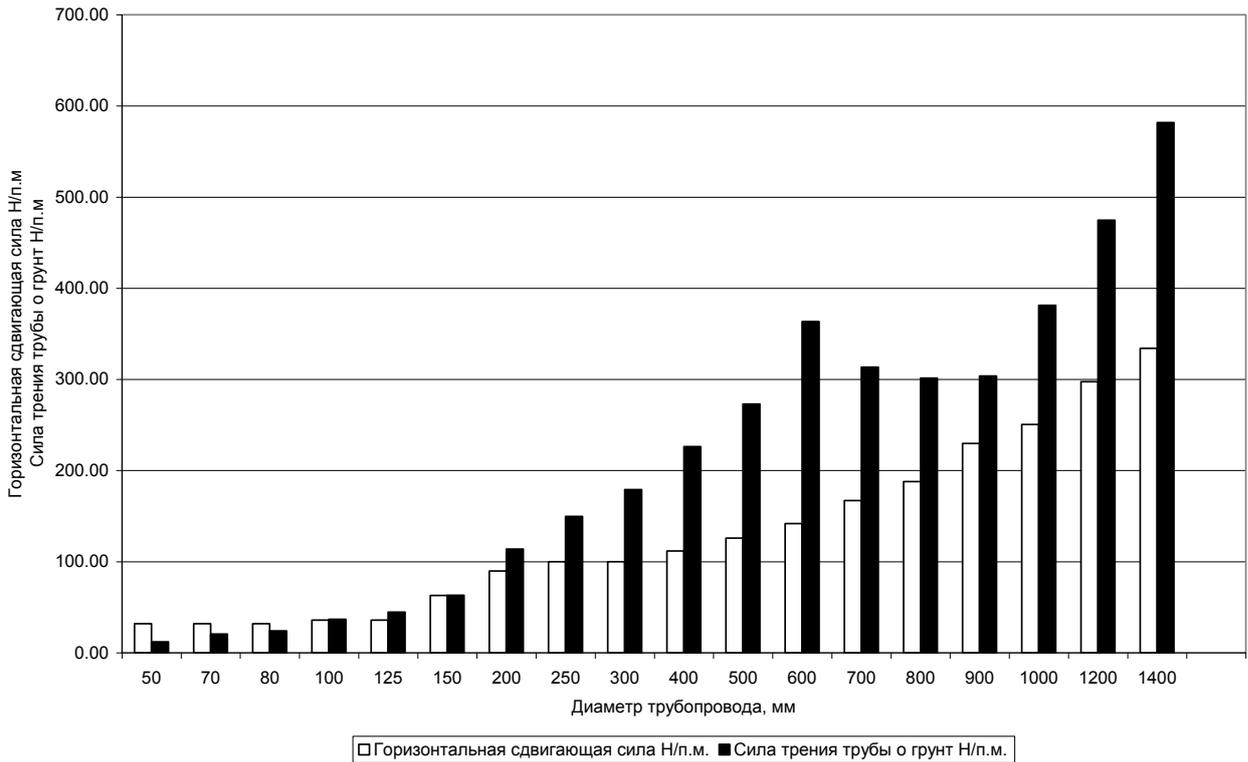


Рис. 2.8 Результаты проверки устойчивости трубопроводной конструкции.

Как следует из выполненной проверки устойчивости трубопроводной конструкции с применением композитного теплоизоляционно-балластного материала, плотность разработанного материала позволяет его использовать в качестве балласта для подводной прокладки теплопроводов, имеющих диаметр стальной трубы $D_y \geq 100$ мм. При необходимости прокладки подводных трубопроводов D_y 50, 70, 80 мм требуется дополнительная балластировка пригрузами весом более 16,73 Н/п.м, 11,32 Н/п.м, 7,99 Н/п.м. соответственно.

2.5 Расчет критического диаметра тепловой изоляции трубопровода

Особенность изолирования цилиндрических поверхностей заключается в неравномерности изменения тепловых потерь от толщины слоя изоляции [63]. Увеличение толщины слоя изоляции приводит, с одной стороны, к увеличению термического сопротивления теплопроводности, что направлено на снижение тепловых потерь, а с другой стороны, – приводит к увеличению площади наружной (теплоотдающей) поверхности, что уменьшает термическое сопротивление теплоотдачи и вызывает увеличение потерь теплоты. Изменение тепловых потерь при неправильном выборе материала для тепловой изоляции, когда сумма термических сопротивлений теплопроводности и теплоотдачи сначала понижается, что приводит к росту потерь, а затем возрастает, что соответствует снижению потерь. Диаметр изоляции, при котором тепловые потери максимальны, называется критическим диаметром тепловой изоляции.

Определим критический диаметр тепловой изоляции трубопровода, используя принятые условные обозначения табл.2.9 и разрез трубопроводной конструкции рис.2.4.

Термическое сопротивление теплопередачи R , $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ для рассматриваемой многослойной трубы определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4} \quad (2.33)$$

Из анализа формул (2.41) и (2.42) следует, при постоянных значениях $\alpha_1, D_1, D_2, D_3, \alpha_2$ полное термическое сопротивление теплопередачи многослойной цилиндрической стенки будет зависеть от внешнего диаметра D_4 . Из анализа формулы (2.42) следует, что количество передаваемого тепла Q при увеличении внешнего диаметра тепловой изоляции D_3 сначала будет возрастать, и при $D_3 = D_{кр}$ будет иметь максимум. При дальнейшем увеличении внешнего диаметра изоляции Q будет снижаться.

После выбора теплоизоляционного материала трубопровода рассчитывают критический диаметр для известных λ_2, α_2 . Если в результате вычислений $D_{кр.из} > D_3$, то применение данного материала в качестве тепловой изоляции нецелесообразно. В области $D_2 < D_3 < D_{кр.из}$ при увеличении толщины изоляции будет наблюдаться увеличение тепловых потерь. Только при $D_3 = D_{3эф}$ тепловые потери вновь станут такими же, как для первоначального неизолированного трубопровода. Следовательно, некоторый слой тепловой изоляции не будет оправдывать своего назначения.

Толщина теплоизоляционного слоя $(D_4 - D_3)/2$ определяет размер трубопроводной конструкции и принимается из условия максимального значения термического сопротивления.

Значения толщин стальной трубы и защитной полиэтиленовой оболочки стандартизированы, следовательно, D_2, D_3, D_4 являются постоянными для трубопровода, имеющего внутренний диаметр стальной трубы D_1 . Исследуя на максимум термическое сопротивление R как функцию D_4 , для чего возьмем производную и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d(R)}{d(D_4)} = \frac{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_2 - \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_1 + \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_3 - \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_2 + \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_4 - \frac{1}{2\lambda_2} \ln D_3 + \frac{1}{\alpha_2 D_4}}{d(D_4)} = \quad (2.34)$$

$$= 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + \frac{1}{2\lambda D_4} - 0 - \frac{1}{\alpha_2 D_4^2} = 0$$

Отсюда:
$$\frac{1}{2\lambda} = \frac{1}{\alpha_2 D_4}$$

(2.35)

Таким образом, критический диаметр тепловой изоляции равен:

$$D_{кр.из} = \frac{2\lambda_2}{\alpha_2} \quad (2.36)$$

Следовательно, для эффективной работы тепловой изоляции необходимо, чтобы

$$D_4 \geq D_{кр.из}. \quad (2.37)$$

Подставив значение в формулу (2.52) $\lambda_2 = 0,161 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$ и $\alpha_2 = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$ получим:

$$D_{кр.из} = \frac{2 \cdot 0,161}{3,5} = 0,092 \text{ м} \quad (2.38)$$

Из сравнения полученного значения с величиной наружного диаметра тепловой изоляции (табл.2.9) следует, что условие эффективной работы тепловой изоляции с применением композитного теплоизоляционно-балластного материала соблюдается для всего ряда типоразмеров труб.

2.6 Выводы по главе 2

1. Разработана трубная конструкция для бесканальной подводной прокладки теплопроводов, представляющая собой стальную рабочую трубу, помещенную в защитную полиэтиленовую оболочку с заполнением межтрубного материала ТБК. При этом трубная конструкция удовлетворяет заявленным требованиям по надежности, прочности, устойчивости против всплытия, теплоизоляционным свойствам.

2. Подобран компонентный состав ТБК. Объемные доли компонентов: балластирующий наполнитель (барит) - от 14,3 % до 33,3 %; теплоизоляционный наполнитель (древесные частицы) - от 55 % до 71,4 %. При этом компонентном составе плотность ТБК - от 1000 кг/м³ до 1500 кг/м³, коэффициент теплопроводности - от 0,161 Вт/(м*К) до 0,25 Вт/(м*К).

3. В результате выполненных расчетов установлено, что трубная конструкция с применением ТБК, обладающей указанными физико-механическими свойствами, обеспечивает:

а) Условие устойчивости на дне водоема трубопроводной конструкции, имеющей условный диаметр стальной трубы $D_y \geq 100$ мм. При необходимости прокладки подводных трубопроводов D_y 50, 70, 80 мм требуется дополнительная балластировка пригрузами весом более 16,73 Н/п.м, 11,32 Н/п.м, 7,99 Н/п.м. соответственно.

б) Требуемые теплозащитные свойства для труб $D_y \geq 200$ мм. Применение данного материала в качестве тепловой изоляции теплопроводов для трубопроводов диаметром менее $D_y 200$ возможно путем увеличения толщины изоляции.

4. Расчет критического диаметра тепловой изоляции трубопровода, показал, что для всего ряда типоразмеров труб условие эффективной работы тепловой изоляции соблюдается.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В данной главе сформулированы задачи экспериментальных исследований, даны характеристики примененного испытательного оборудования и измерительной аппаратуры, определены объекты измерений и контроля, изложены методики проведения экспериментов и обработки результатов.

Принимая во внимание, что физико-механические свойства материала компонентов трубной конструкции известны, за исключением свойств ТБК, выполнены экспериментальные исследования с целью решения следующих задач:

1. Исследование теплоизоляционно-балластных и прочностных свойств разработанного ТБК.
2. Исследование влияния компонентного состава на физико-механические свойства ТБК.
3. Определение оптимальных значений физико-механических характеристик композита с целью его применения в качестве теплоизоляционно-балластного материала для подводных трубопроводов.

Последовательность выполнения экспериментов, число опытов и наблюдений в каждом эксперименте, критерии оценки результатов определена видом поставленных задач.

3.1 Экспериментальное оборудование и измерительная аппаратура

Эксперименты выполнены с применением следующего оборудования и измерительной аппаратуры, указанные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Перечень оборудования и измерительной аппаратуры

Наименование оборудования	Марка	Назначение
Смеситель		Смешивание компонентов композиционного материала
Разрывная машина	Р-10	Испытание образцов на сжатие
Весы электронные	CAS	Определение массы образцов
Измеритель плотности теплового потока и температуры	ИТП-МГ4 «ПОТОК»	Определение сопротивления теплопередаче и термического сопротивления
Гигрометр психометрический	ВИТ-1	Определение температуры и

		относительной влажности воздуха в помещении
Линейка металлическая ГОСТ 427 с пределом измерений 150 мм		Определение линейных размеров
Штангенциркуль 250 мм (0,05) класс 1 "СТИЗ" ГОСТ 166		Определение линейных размеров
Угольник поверочный типа УП с Н=160 мм по ГОСТ 3749		Определение перпендикулярности граней

3.2 Объекты измерений и контроля

Объектами измерений и контроля являются:

1. Переменные факторы при проведении экспериментов сведены в табл. 3.2.
2. Постоянные факторы при проведении экспериментов сведены в табл. 3.3.
3. Выходные параметры в экспериментах, включающиеся в себя: масса и геометрические размеры образцов, термическое сопротивление материала, предел прочности на сжатие.

Далее изложены методики оценки представленных выше характеристик.

Таблица 3.2 Переменные факторы при проведении экспериментов

Наименование показателя	Ед. изм.	Переменные
Количество барита	кг	X_1
Количество древесного наполнителя	кг	X_2

Таблица 3.3 Постоянные факторы при проведении экспериментов

Наименование	Единица измерения	Показатели
Количество связующего компонента	кг	0,85
Температура окружающего воздуха в помещении твердения образцов	°С	22 ± 5
Относительная влажность воздуха в помещении твердения образцов	%.	50 ± 10
Размеры изготавливаемого образца: высота длина ширина	мм	150 ± 1 150 ± 1 150 ± 1
Влажность древесного наполнителя	%	8 – 12
Время выдержки в опалубке	сут	5
Время твердения образцов	сут	28

3.3 Методика определения плотности

Цель исследований – установление влияния содержания компонентов на величину плотности композиционного материала.

Плотность определяется на образцах кубической формы [76]. Геометрические размеры (длина, ширина, высота) измеряются в трех местах: на расстоянии 50 ± 5 мм от каждого края и посередине грани. Предел допускаемой погрешности измерения линейных размеров составляет $\pm 0,1$ мм. Отклонение от перпендикулярности смежных граней куба проверяется в четырех местах: посередине боковых и торцевых граней. Для измерения отклонения от перпендикулярности граней угольник прикладывается опорной поверхностью к торцевым (боковым) граням так, чтобы его измерительная поверхность касалась одной из граней и измеряется наибольший зазор между измерительной поверхностью угольника и поверхностью изделия. Результат измерения округляется до 1 мм. Измерение отклонения от плоскостности проверяется на двух гранях путем приложения к ним ребра линейки (угольника) и измерения другой линейкой зазоров между поверхностью изделия и ребром приложенной линейки (угольника). В каждой проверяемой грани линейка прикладывается посередине последовательно в двух направлениях вдоль всей длины изделия, и измеряется: наибольший зазор – для поверхности с вогнутостью; зазоры по краям – для поверхности с выпуклостью. Используя полученные замеры длины, ширины и высоты вычисляется объем куба. Затем исследуемый образец взвешивается на электронных весах рис. 3.1 с погрешностью не более 0,5 %.

Плотность ρ , г/см³ материала образца вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3.1)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, см³.



Рис. 3.1 Весы электронные CAS

3.4 Методика определения коэффициента теплопроводности

Цель исследований – установление влияния количества компонентов на теплозащитные свойства материала.

Определение теплопроводности и термического сопротивления проведено при стационарном тепловом режиме [77,78]. Метод заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Для исследования использованы образцы кубической формы, имеющие размеры 150x150x150 мм. Участки поверхности образцов, на которые устанавливают преобразователи теплового потока электронного измерителя плотности тепловых потоков ИТП-МГ4«ПОТОК», зачищают до устранения видимых и осязаемых на ощупь шероховатостей. На противоположных гранях образцов проводим разметку с целью определения середины для установки преобразователей. Преобразователи плотно прижимаются по всей поверхности к противоположным граням образцов и

закрепляются в этом положении. При этом обеспечивается постоянный контакт преобразователей теплового потока с поверхностью исследуемых участков в течение всех последующих измерений. При закреплении преобразователей между ними и поверхностями образцов не допускается образование воздушных зазоров. С этой целью в местах измерений наносится тонкий слой теплопроводной пасты КПП-8 или технического вазелина, перекрывающего неровности поверхности образцов. Схема установки для определения плотности тепловых потоков представлена на рис. 3.2 и схема установки преобразователей на объекте контроля представлены на рис. 3.3. Измерение плотности тепловых потоков представлено на рис. 3.4. Боковые тепловые потери или теплопоступления в процессе испытания ограничиваются посредством изоляции боковых граней испытываемого образца слоем теплоизоляционного материала, термическое сопротивление которого не менее величины термического сопротивления образца. С помощью нагревательного элемента создается разность температур внутреннего (внутри термического контейнера) и наружного (в помещении) воздуха $\Delta T=30-50$ °С. Показателем завершения переходного периода теплообмена и возможности проведения измерений плотности теплового потока считается повторяемость результатов измерения плотности тепловых потоков. Одновременно с помощью термодатчиков измеряется температура на противоположных гранях исследуемого образца. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м*К) определяется по формуле

$$\lambda = \frac{q}{\delta(T_{вн} - T_{нар})}, \quad (3.2)$$

где: q – плотность теплового потока, Вт;

δ – толщина образца, м;

$T_{вн}$ – температура на внутренней поверхности образца, К;

$T_{нар}$ – температура на наружной поверхности образца, К.

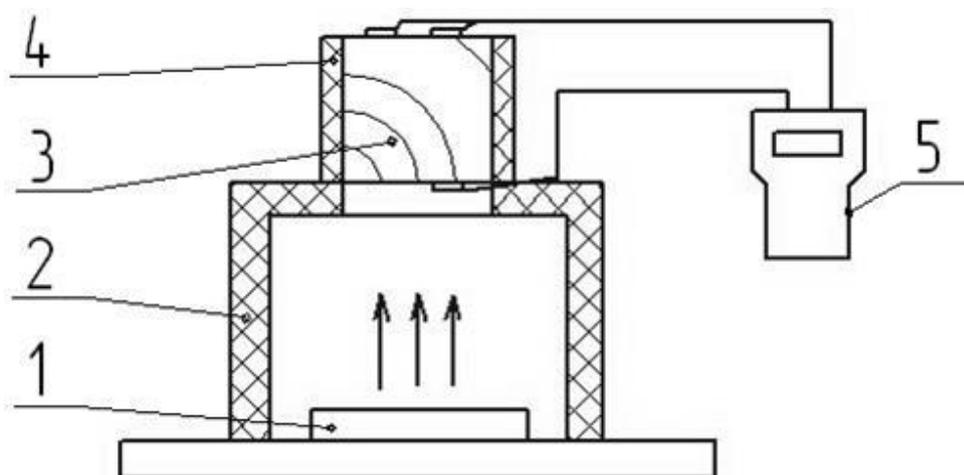


Рис. 3.2 Схема установки для определения плотности тепловых потоков 1 – нагревательный элемент, 2 – термический контейнер, 3 – исследуемый образец, 4 – теплоизоляционный материал, 5 – измеритель теплового потока с датчиками теплового потока и температуры

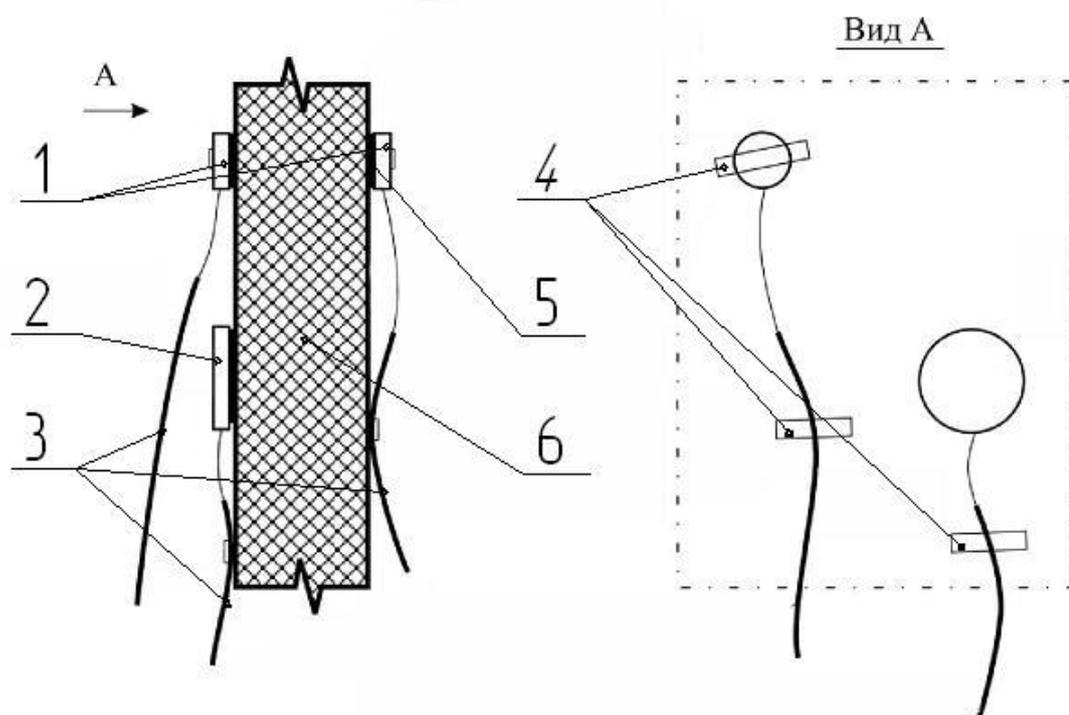


Рис. 3.3 Схема установки преобразователей на объекте контроля 1 – датчики температуры, 2 – датчик теплопроводности, 3 – соединительные кабели, 4 – клеящая лента, 5 – теплопроводная паста, 6 – объект измерения



Рис. 3.4 Измерение плотности тепловых потоков

3.5 Методика определения предела прочности на сжатие

Цель исследований – установить влияние количества компонентов древесно-цементной композиции на величину предела прочности на сжатие.

Определение прочности материала состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы композита при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки и последующем вычислении напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала [67]. Для проведения испытаний применена поверенная разрывная испытательная машина Р-10 (рис. 3.5). Согласно паспорту, машина обеспечивает скорость нагружения образца 5 – 10 мм/мин, позволяет измерить значение нагрузки с погрешностью, не превышающей 1% значения разрушающего усилия.

Испытания проводятся на образцах 150x150x150 мм. Погрешность измерения размеров поперечного сечения образца составляет не более 0,01 мм. Отклонения от плоскостности опорных поверхностей кубов и цилиндров, прилегающих к плитам пресса, не превышают 0,1 мм. Отклонения от

перпендикулярности смежных граней кубов и призм, а также опорных поверхностей и образующих цилиндров, предназначенных для испытания на сжатие, не превышает 1 мм. Перед испытанием образцы подвергаются визуальному осмотру с целью установки наличия дефектов в виде околос ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, околы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а также следы расслоения и недоуплотнения смеси, к испытанию не допускаются. Имеющие наплывы на ребрах опорных граней образцов удаляются напильником или абразивным камнем. Все образцы одной серии испытываются в расчетном возрасте в течение 1 ч. Перед установкой образца на испытательную машину частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины, удаляются. Нагружение образцов производится непрерывно со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в пределах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с. Время нагружения каждого образца составляет не менее 30 с. В процессе сжатия контролируется соблюдение равномерности деформирования (отсутствие бочкообразования и вогнутости). Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимается за разрушающую нагрузку и фиксируется. Разрушенный образец подвергается визуальному осмотру. Испытания образцов на сжатие проводится в условиях, обеспечивающих минимальный эксцентриситет приложения нагрузки и безопасность проведения экспериментов. Предел прочности на сжатие σ , МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) с точностью 0,01 МПа (0,1 $\text{кгс}/\text{см}^2$) вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{P}{S}, \quad (3.3)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

S – площадь нагружения, мм (см).

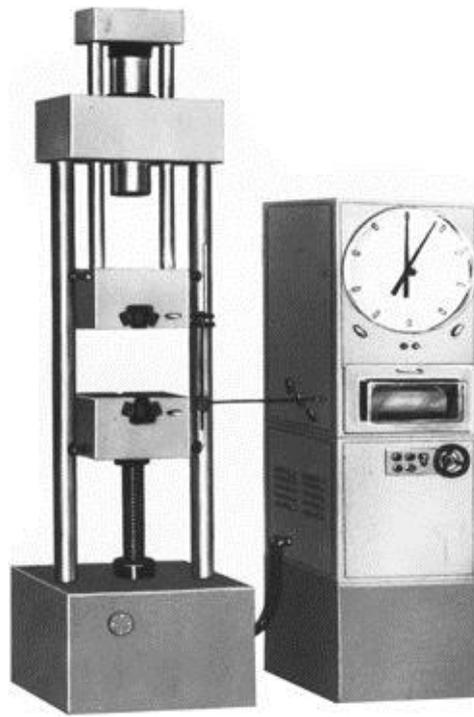


Рис. 3.5 Разрывная машина Р-10

Методическая сетка проведения экспериментов по определению физико-механических характеристик материала приведена в табл. 3.4.

Таблица 3.4 Методическая сетка проведения экспериментов

Исследуемая зависимость	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Число наблюдений в одном опыте
	Наименование	Значение	Наименование	Значение		
1	2	3	4	5	6	7
1. Влияние содержания барита и древесных частиц композитного материала на плотность	Количество связующего, кг Температура окружающей среды, °С Относительная влажность воздуха, % Влажность древесных частиц, % Время твердения образцов, сут	0,85 22±5 50±10 8 – 12 28	1.Количество барита, кг 2.Количество древесных частиц, кг	1,3 – 2,7 0,28 – 0,44	Плотность композита, кг/м ³	32
2. Влияние содержания барита и древесных частиц композитного материала на теплопроводность	Количество связующего, кг Температура окружающей среды, °С Относительная влажность воздуха, % Влажность древесных частиц, % Время твердения образцов, сут	0,85 22±5 50±10 8 – 12 28	1.Количество барита, кг 2.Количество древесных частиц, кг	1,3 – 2,7 0,28 – 0,44	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	32
3. Влияние содержания барита и древесных частиц композитного материала на прочность	Количество связующего, кг Температура окружающей среды, °С Относительная влажность воздуха, % Влажность древесных частиц, % Время твердения образцов, сут	0,85 22±5 50±10 8 – 12 28	1.Количество барита, кг 2.Количество древесных частиц, кг	1,3 – 2,7 0,28 – 0,44	Прочность на сжатие, МПа	32

Экспериментальные исследования разделены на этапы. На этапе проведения серии предварительных опытов, выполненных с целью установления характера зависимости выходных параметров от отдельных управляющих факторов, использовался классический эксперимент. В дальнейшем, когда требовалось изучение влияния нескольких переменных факторов на величину выходного параметра, проведен многофакторный эксперимент.

3.6 Предварительный этап эксперимента

На этапе предварительных испытаний установлены законы распределения, выполнен расчет минимального числа наблюдений [80]. Согласно методике, изложенной в [81-84] были изготовлены 10 экспериментальных образцов материала, следующего компонентного состава: портландцемент, барит, древесная стружка, вода в объемном соотношении 1:2:4:1,3. Для эксперимента использована стружка, полученная при обработке лесоматериалов в учебных мастерских ПГТУ. Качественная характеристика древесных отходов: породный состав – сосна 100%, размер древесных частиц 0,5 – 20 мм; влажность 8 – 12%. В качестве связующего использован портландцемент марки 400. В качестве балластного наполнителя использован барит ($BaSO_4$). Применена вода, соответствующая требованиям СанПиН. Исходные компоненты взвешивались на электронных весах. Точность дозирования компонентов принята следующей: портландцемент по массе $\pm 2\%$; древесной стружки по объему $\pm 5\%$, по массе $\pm 3\%$; воды по массе и объему $\pm 2\%$. Для установления объема дозатора он предварительно тарирован с учетом насыпной плотности заполнителя. Последовательность загрузки компонентов в смесительную емкость: древесная стружка, цемент, барит, вода. Перемешивание проводилось в течении 5 мин с помощью миксерной насадки дрели до получения однородного теста. Смесь укладывалась послойно в стандартные металлические формы, предварительно смазанные минеральным маслом, и уплотнялась штыкованием в течение не менее 5 мин при помощи

металлического стержня с закруглённым концом диаметром 16 мм. Образцы имеют кубическую форму (рис. 3.6) с размерами 150×150×150 мм [55]. Образцы выдержаны в опалубке 5 суток. Температурно-влажностный режим в помещении вызревания поддерживается: температура воздуха не ниже 15 °С и относительная влажность 60 – 80 %. Через 5 суток металлические формы распалублены, образцы осмотрены, промаркированы и перемещены на площадку естественного дозревания, где они хранились в течение 28 суток.



Рис. 3.6 Экспериментальные образцы в металлической опалубке

По истечении указанного времени проведены экспериментальные исследования на определение плотности, коэффициента теплопроводности, прочности на сжатие по методикам, указанным выше. Результаты предварительного этапа экспериментальных исследований приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 Результаты экспериментальных данных предварительных испытаний

№ образца	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Предел прочности на сжатие, МПа
1	1721	0,213	22,62
2	1626	0,200	21,06
3	1515	0,188	20,28
4	1504	0,186	20,20
5	1730	0,218	22,89
6	1618	0,204	21,06
7	1650	0,203	21,37
8	1646	0,190	20,28
9	1490	0,182	19,05
10	1635	0,202	21,30

По полученным экспериментальным данным определены статистические показатели, необходимые для дальнейших исследований и расчетов. Предполагая, что значения плотностей, коэффициента теплопроводности и предела прочности на сжатие представляют собой выборки одинакового объема, определим закон распределения этих случайных величин и минимальное количество наблюдений в опыте согласно методике [84].

Анализ исходных данных на однородность для средних значений по каждому исследуемому параметру выполнен с помощью t -критерия Стьюдента, оценка однородности дисперсий – по F -критерию Фишера, воспроизводимость – по G -критерию Кохрена. Используя компьютерную программу STATISTICA, определены основные величины, примененные для определения необходимого количества n по формуле:

$$n = \frac{t^2 C_v^2}{\Delta^2}, \quad (3.4)$$

где t – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $p=95\%$;

C_v – коэффициент вариации, %;

Δ – требуемая точность в определении порога 5 %.

Плотность: $n = 6,05$.

Коэффициент теплопроводности: $n = 7,1$.

Предел прочности на сжатие: $n = 6,1$.

Анализируя значение необходимого числа наблюдений плотности, теплопроводности, предела прочности на сжатие принимаем необходимое число наблюдений в дальнейшей серии экспериментальных исследований равное 8 для всех исследуемых показателей.

3.7 Основной этап эксперимента

После постановки серии предварительных опытов требуется выполнить планирование эксперимента с выбором варьируемых факторов. На основе имеющейся априорной информации можно выделить два основных фактора существенно влияющих на физико-механические свойства исследуемого теплоизоляционно-балластного материала – содержание барита и древесных отходов (табл. 3.6).

Таблица 3.6 Пределы варьирования переменных факторов

Наименование факторов	Обозначение	Код	Шаг варьирования	Ед. изм	Уровни варьирования		
					-1	0	+1
Содержание барита	Б	X ₁	0,5	объем. доля	1	1,5	2
Содержание древесных отходов	Д	X ₂	1	объем. доля	3	4	5

Для упрощения дальнейших исследований и расчетов примем следующие допущения. Соотношение компонентов принято в объемном исчислении, которое затем легко перевести в массовые доли. Объемное содержание портландцемента примем постоянным и равным единице, а содержание воды будет варьироваться и учитываться таким образом, чтобы доводить полученную смесь до необходимой консистенции по ГОСТ [56]. За единицу исчисления объемной доли компонентов примем один литр.

Наиболее простейшим является постановка эксперимента по полному факторному плану, количество опытов в котором составит

$$N = 2^k = 2^2 = 4 \quad (3.5)$$

где N – количество опытов в эксперименте,

2 – число уровней варьирования факторов,

к – количество факторов.

Результаты серии экспериментальных исследований представлены в табл. 3.7 – 3.9.

Таблица 3.7 Матрица базисных функций полного факторного плана для плотности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	1434	1782,98
2	+	-	-	1719	4989,43
3	-	+	-	1091	6301,70
4	+	+	+	1412	3430,98

Таблица 3.8 Матрица базисных функций полного факторного плана для теплопроводности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	0,25	0,0009
2	+	-	-	0,33	0,0011
3	-	+	-	0,17	0,0016
4	+	+	+	0,21	0,0019

Таблица 3.9 Матрица базисных функций полного факторного плана для прочности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	18,52	1,38
2	+	-	-	25,39	10,34
3	-	+	-	8,3	2,85
4	+	+	+	11,01	9,41

3.8 Результаты экспериментальных исследований

Выполним обработку выполненных экспериментальных данных с целью установления закономерностей влияния фракционного состава древесных частиц (опилки, стружка, щепа) на плотность, теплопроводность и прочность на сжатие композита с представлением результатов для удобства анализа графическом виде:

1. Зависимость плотности композиционного материала от содержания измельченной древесины различных фракций представлена на рисунке 2.9.

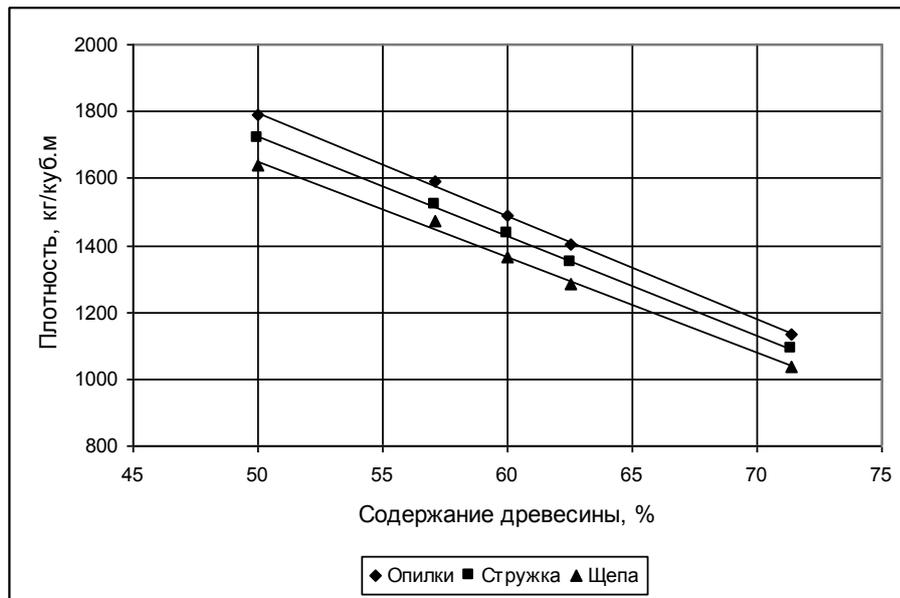


Рис. 3.7 Зависимость плотности композита от содержания измельченной древесины различных фракций

Как видно из графика на рис. 3.7, с увеличением содержания древесных частиц от 50 % до 71,4 % плотность композита снижается для всех видов фракционного состава древесного наполнителя. Наибольшей плотностью обладает материал с древесным наполнителем – опилки (от 1156,028 кг/м³ до 1787,754 кг/м³), наименьшей – щепка (от 939,033 кг/м³ до 1637,138 кг/м³). Материал с содержанием более 71,4 % древесного наполнителя в виде щепы не обладает балластирующими свойствами. Материал с древесным наполнителем – щепой обладает балластирующими свойствами в весьма узком диапазоне – от 70 % до 71,4 %.

2. Зависимость теплоизоляционных свойств композита от содержания древесных частиц различных фракций представлена на рис. 3.8.

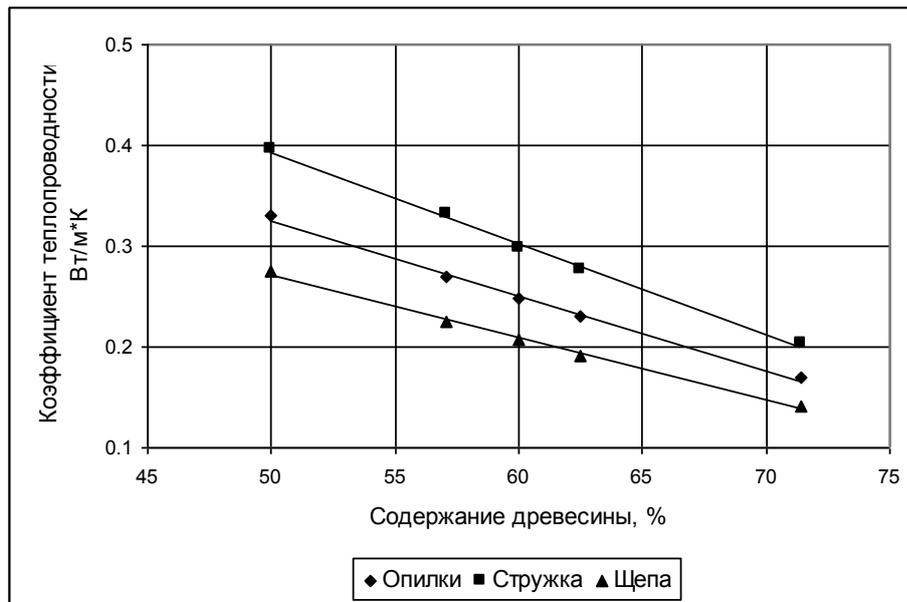


Рис. 3.8 Зависимость коэффициента теплопроводности композита от содержания измельченной древесины различных фракций

Как видно из графика на рисунке 3.8, с увеличением содержания древесного наполнителя исследуемого фракционного состава от 50 % до 71,4 % теплопроводность материала уменьшается. Увеличение размера фракции древесного наполнителя приводит к уменьшению теплопроводности композиционного материала. Наибольшей теплопроводностью обладают образцы с наполнителем – опилки (от 0,17 Вт/(м*К) до 0,4 Вт/(м*К)), наименьшей – щепа (от 0,142 Вт/(м*К) до 0,275 Вт/(м*К)). Коэффициент теплопроводности ниже 0,25 Вт/(м*К) имеют композиционные материалы при содержании щепы ≥ 53 %, стружки ≥ 60 % и опилок ≥ 65 %.

3. На рисунке 3.9 показана зависимость предела прочности на сжатие от содержания древесины, % различных фракций.

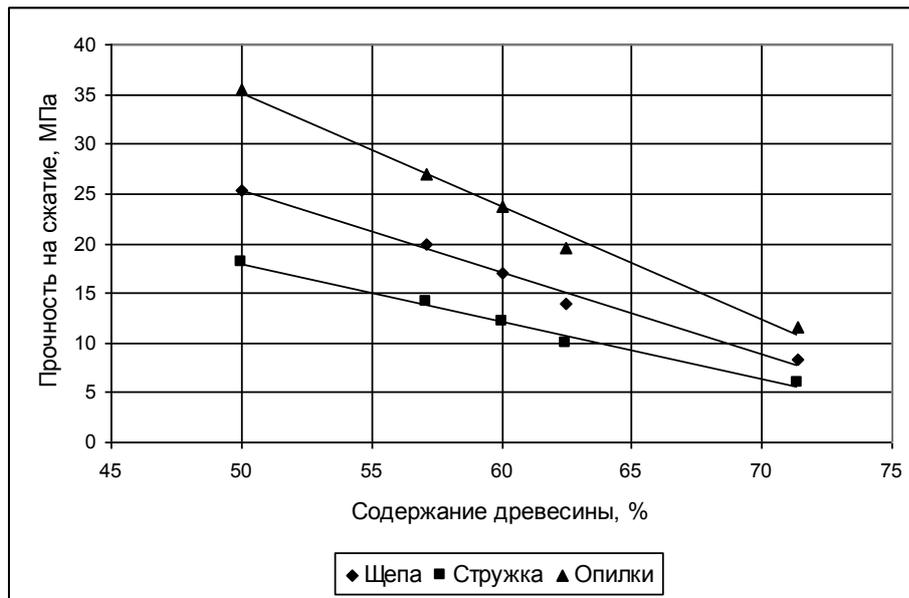


Рис. 3.9 Зависимость предела прочности на сжатие композита от содержания измельченной древесины различных фракций

Экспериментальные данные показали, что с увеличением содержания древесных частиц в композите от 50 % до 71,4 % происходит уменьшение предела прочности на сжатие: для щепы – от 35,54 МПа до 11,62 МПа; для стружки – от 25,38 МПа до 8,3 МПа; для опилок – от 18,14 МПа до 5,93 МПа. Увеличение размера фракционного состава древесных частиц увеличивает предел прочности на сжатие композита.

В результате выполненной обработки результатов исследований физико-механических свойств композита с древесным наполнителем различного фракционного состава с учетом предельно допустимых значений параметров, можно сделать основные выводы:

1. С увеличением доли содержания древесных частиц в смеси от 50 до 71,4 % плотность композитного материала снижается для всех видов наполнителя
2. С увеличением доли содержания древесных частиц от 50 до 71,4 % теплопроводность композиционного материала уменьшается
3. С увеличением содержания древесных частиц от 50 до 71,4 % предел прочности композиционного материала снижается.

На основании изложенного, применение стружки в качестве древесного наполнителя наиболее предпочтительно для удовлетворения предъявляемых требований физико-механических свойств (плотность, теплопроводность, прочность на сжатие).

Используя полученные результаты и выводы выполненных экспериментальных исследований, выполним экспериментальные исследования по выявлению зависимости физико-механических свойств композиционного материала от доли содержания балластного наполнителя барита. Результаты для удобства анализа представим в графическом виде.

1. Зависимость плотности композита от содержания барита при постоянном содержании древесного наполнителя в виде стружки (рис.3.10).



Рис. 3.10 Зависимость плотности композита от содержания барита

С увеличением содержания барита от 0 % до 25 % плотность материала возрастает от 760 кг/м³ до 1412 кг/м³. При содержании барита менее 12,5 % композиционный материал имеет плотность менее 1000 кг/м³, следовательно, не обладает балластирующими свойствами.

2. Зависимость коэффициента теплопроводности материала от содержания барита представлена на рис. 3.11.

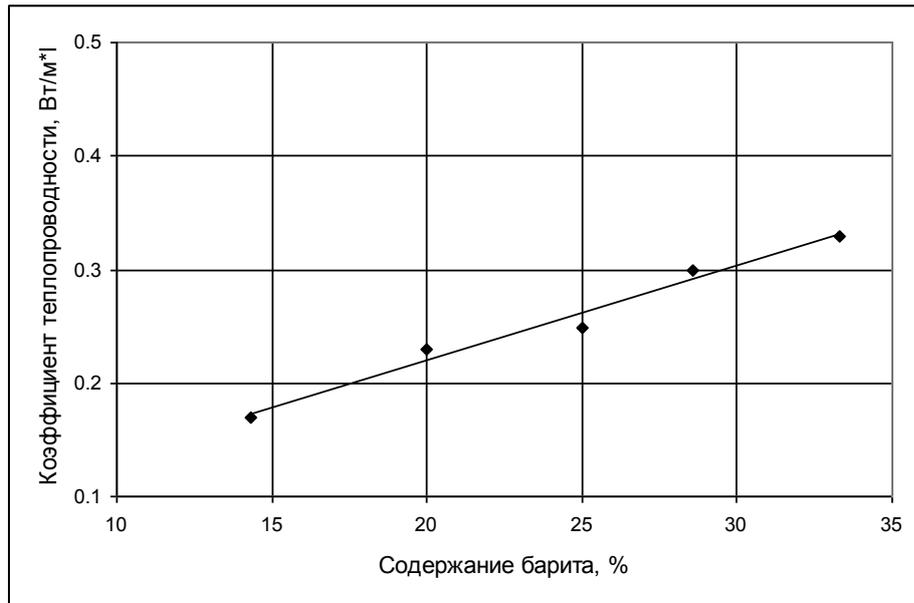


Рис. 3.11 Зависимость коэффициента теплопроводности композита от содержания барита

С увеличением содержания барита с 0 % до 33 % коэффициент теплопроводности увеличивается от 0,13 Вт/(м*К) до 0,33 Вт/(м*К). При содержании барита более 20 %, коэффициент теплопроводности материала $\lambda \geq 0,25$ Вт/(м*К), следовательно, композит не является теплоизоляционным материалом.

3. На рисунке 3.12 показана зависимость предела прочности на сжатие композита от содержания барита.

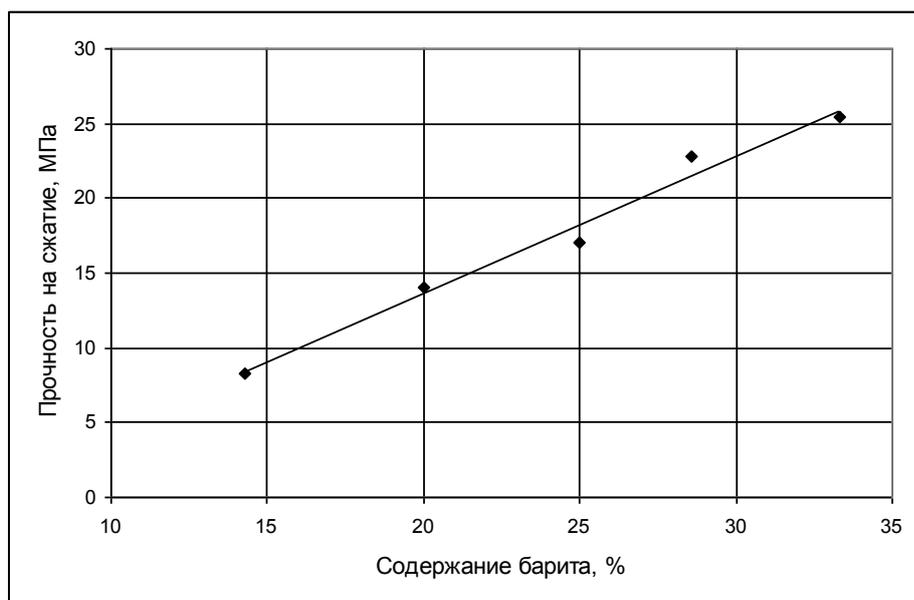


Рис. 3.12 Зависимость предела прочности на сжатие от содержания барита

При возрастании содержания барита с 0 % до 33 % предел прочности на сжатие композиционного материала увеличивается от 5,6 МПа до 25,38 МПа. Предел прочности на сжатие композита удовлетворяет требованиям СНиП ($\sigma \geq 0,4 \text{ МПа}$).

Таким образом, основной вывод состоит в том, что при возрастании доли содержания балластного наполнителя – барита плотность, коэффициент теплопроводности и предел прочности на сжатие композита возрастают.

3.9 Уравнения регрессии зависимости физико-механических свойств материала от компонентного состава

Для построения уравнения регрессии математической модели необходимо получить коэффициенты, которые рассчитываются по формулам [81]:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{4}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \\
 b_1 &= \frac{1}{4}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) \\
 b_2 &= \frac{1}{4}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) \\
 b_{12} &= \frac{1}{4}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4)
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Матрица базисных функций полного факторного плана для коэффициента теплопроводности представлена в табл. 3.10.

Таблица 3.10 Матрица базисных функций полного факторного плана для плотности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	1434	1782,98
2	+	-	-	1719	4989,43
3	-	+	-	1091	6301,70
4	+	+	+	1412	3430,98

Используя матрицу базисных функций полного факторного плана для коэффициента теплопроводности, с помощью программы Excel получим

следующие коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = 1414; b_1 = 151,5; b_2 = -162,5; b_{12} = 9.$$

Уравнение регрессии примет вид: $y = 1414 + 151,5x_1 - 162,5x_2 - 9x_1x_2$.

Данное уравнение представлено в формальном виде. На следующем этапе необходимо выполнить проверку значимости полученных коэффициентов регрессии по t -критерию Стьюдента по формуле:

$$|b_i| \geq S\{b_i\}t_a(f_1)$$

(3.7)

где $t_a(f_1)$ – значение критерия Стьюдента при уровне значимости a и числе степеней свободы f_1 ;

$S\{b_i\}$ – дисперсия i -го коэффициента регрессии.

В результате расчета получено: $S\{b_1\} = 11,36$. При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 7$ табличное значение $t_{табл} = 2,36$ меньше $t_p = 13,34$. Таким образом, коэффициент b_1 значим.

Аналогично проверяем значимость других коэффициентов регрессивного уравнения: b_2 - значим; b_{12} - не значим.

Уравнение регрессии в нормализованном виде примет вид:

$$y = 1414 + 151,5x_1 - 162,5x_2 \quad (3.8)$$

Перевод уравнения регрессии к натуральному виду выполним путем замены формальных коэффициентов (x_1, x_2) натуральными с учетом

зависимости:
$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}$$

где X_i - текущее значение i -го фактора;

\bar{X}_i - среднее значение i -го фактора;

ΔX_i - уровень варьирования i -го фактора.

После математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде для плотности (кг/м^3) примет вид:

$$Y_1 = 1609,5 + 303X_1 - 162,5X_2 \quad (3.9)$$

Полученное уравнение регрессии характеризует зависимость плотности композиционного материала от доли содержания балластного наполнителя в виде барита и теплоизоляционного наполнителя в виде древесных отходов в виде стружки.

По аналогичной методике построим уравнение регрессии для коэффициента теплопроводности.

Матрица базисных функций полного факторного плана для коэффициента теплопроводности представлена в табл. 3.11.

Таблица 3.11 Матрица базисных функций полного факторного плана для коэффициента теплопроводности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	0,25	0,0009
2	+	-	-	0,33	0,0011
3	-	+	-	0,17	0,0016
4	+	+	+	0,21	0,0019

Используя матрицу базисных функций полного факторного плана для коэффициента теплопроводности, с помощью программы Excel получим следующие коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = 0,24; b_1 = 0,03; b_2 = -0,05; b_{12} = -0,01.$$

Уравнение регрессии примет вид: $y = 0,24 + 0,03x_1 - 0,05x_2 - 0,01x_1x_2$.

В результате расчета получено: $S\{b_i\} = 0,087$. При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 7$ табличное значение $t_{табл} = 2,36$ меньше $t_p = 7,81$. Таким образом, коэффициент b_1 значим.

Аналогично проверяем значимость других коэффициентов регрессивного уравнения: b_2 значим; b_{12} не значим.

Уравнение регрессии в нормализованном виде примет вид:

$$y = 0,24 + 0,03x_1 - 0,05x_2 \quad (3.10)$$

После математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде для коэффициента теплопроводности (Вт/(м·К)) примет вид:

$$Y_2 = 0,35 + 0,06X_1 - 0,05X_2 \quad (3.11)$$

Полученное уравнение регрессии характеризует зависимость коэффициента теплопроводности композиционного материала от доли содержания балластного наполнителя в виде барита и теплоизоляционного наполнителя в виде древесных отходов в виде стружки.

Построим уравнение регрессии для предела прочности на сжатие.

Матрица базисных функций полного факторного плана для предела прочности на сжатие представлена в таблице 3.12.

Таблица 3.12 Матрица базисных функций полного факторного плана для прочности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	18,52	1,38
2	+	-	-	25,39	10,34
3	-	+	-	8,3	2,85
4	+	+	+	11,01	9,41

Используя матрицу базисных функций полного факторного плана для предела прочности на сжатие, с помощью программы Excel получим следующие коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = 15,805; b_1 = 2,395; b_2 = -6,15; b_{12} = -1,04.$$

Уравнение регрессии примет вид: $y = 15,805 + 2,995x_1 - 6,15x_2 - 1,04x_1x_2$.

В результате расчета получено: $S\{b_i\} = 0,46$. При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 7$ табличное значение $t_{табл} = 2,36$ меньше $t_p = 5,21$. Таким образом, коэффициент b_1 значим.

Аналогично проверяем значимость других коэффициентов регрессивного уравнения: b_2 значим; b_{12} не значим.

Уравнение регрессии в нормализованном виде примет вид:

$$y = 0,24 + 0,03x_1 - 0,05x_2 \quad (3.12)$$

После математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде для предела прочности на сжатие, МПа примет вид:

$$Y_3 = 33,22 + 4,79X_1 - 6,15X_2 \quad (3.13)$$

Полученное уравнение регрессии характеризует зависимость плотности композиционного материала от доли содержания балластного наполнителя в виде барита и теплоизоляционного наполнителя в виде древесных отходов в виде стружки.

Полученные математические зависимости свойств материала позволяют прогнозировать выходные величины в пределах варьирования: доли барита 35 – 56 масс. %, древесные частицы в виде стружки 6 – 12 масс. %.

Графическое изображение полученных зависимостей выходных параметров от переменных факторов приведено на рис.3.13.

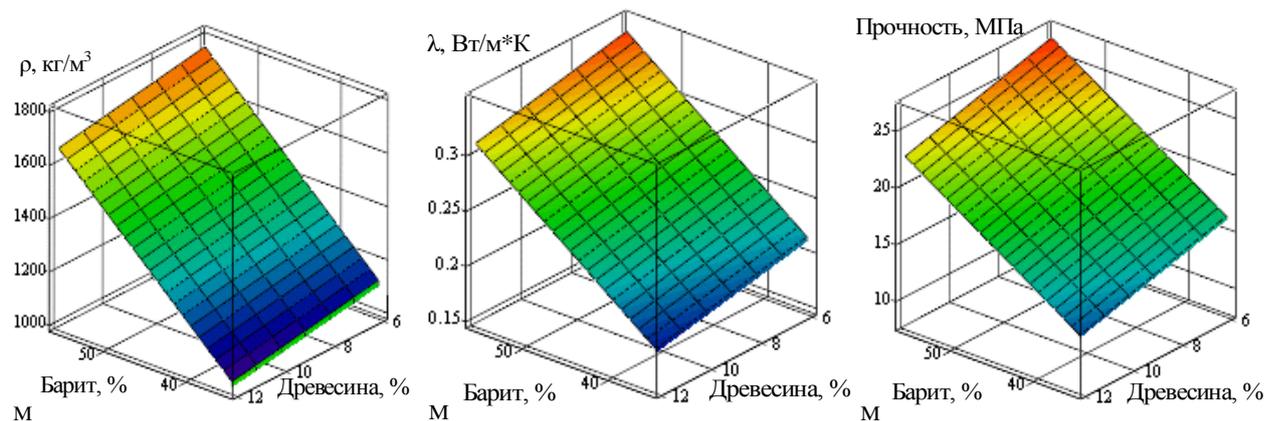


Рис.3.13 Зависимости выходных параметров регрессивных уравнений от переменных факторов

3.10 Анализ согласованности теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств

В данном подразделе проведем анализ степени согласованности результатов расчета физико-механических свойств ТБК по теоретическим формулам (глава 1), найденным по уравнениям регрессии (3.9, 3.11, 3.13), а также полученным экспериментальными исследованиями (таблицы Приложения В). Для выполнения данной задачи сведем результаты анализа в табл. 3.13.

Полученные в ходе экспериментальных исследований зависимости физико-механических свойств разработанного композита от компонентного состава согласуются с теоретическими расчетами.

Проведены исследования распределения в композиционном материале диспергированной фазы в виде древесных частиц и непрерывной фазы, состоящей из портландцемента и барита и связанной воды. Как видно на срезе ТБК (рис. 3.14) его поверхность характеризуется равномерным распределением древесных частиц в среде цемента и барита, образующих единую непрерывную фазу (матрицу). Образование единой фазы этих компонентов подтверждает справедливость теоретического предположения, сделанного выше.



Рис. 3.14 Срез ТБК

Определим средний поправочный коэффициент K_p к формуле Максвелла-Вагнера, учитывающий пластинчатую форму включений для разработанной ТБК. Результаты сведем в таблицу 3.14.

Табл.3.14 Поправочный коэффициент к формуле обобщенной проводимости Максвелла-Вагнера

Показатель	Соотношение компонентов (цемент, барит, древесина)			
	1:2:3	1:1:3	1:2:5	1:1:5
λ_m по формуле Максвелла	0,993	0,898	0,993	0,898
$\lambda_{\text{комп}}$ по формуле Максвелла	0,461	0,347	0,356	0,267
$\lambda_{\text{комп}}$ эксперимент	0,33	0,248	0,21	0,17
Поправочный коэффициент к $\lambda_{\text{комп}}$ по формуле Максвелла	0,716	0,714	0,589	0,637
$\lambda_{\text{комп}}$ по формуле Максвелла с	0,301724	0,227228	0,233234	0,174628

учетом поправочного коэффициента				
Абсолютное отклонение	0,028276	0,020772	-0,02323	-0,00463
Относительное отклонение	0,093713	0,091414	-0,09962	-0,0265

Средний поправочный коэффициент к формуле Максвелла для композита – $K_{\text{д}} = 0,654$. Среднее относительное отклонение не превышает 10%

Таблица 3.13 Сопоставление результатов теоретических, экспериментальных исследований и уравнений регрессии

Соотношение компонентов цемент:барит:древесная стружка	Значение плотности, кг/м ³				Значение коэффициента теплопроводности, Вт/(м*К)				Значение предела прочности на сжатие, МПа		
	определенное по формуле (2.1)	найденное по уравнению регрессии (3.9)	полученное экспериментальными исследованиями	Степень расхождения, %	определенное по формуле (2.4)	найденное по уравнению регрессии (3.11)	полученное экспериментальными исследованиями	Степень расхождения, %	найденное по уравнению регрессии (3.13)	полученное экспериментальными исследованиями	Степень расхождения, %
1:2:3	1922	1728,0	1718,593	10,5	0,293	0,32	0,33	11,2	24,35	25,38	4,1
1:1:3	1290	1425,0	1433,852	10,0	0,239	0,26	0,248	8,1	19,56	18,49	5,5
1:2:5	1431,25	1403,0	1412,152	2,0	0,226	0,22	0,21	7,1	12,05	11,02	8,5
1:1:5	965,1	1100,0	1090,593	12,3	0,161	0,16	0,17	5,9	7,26	8,30	12,5

3.11 Выводы по главе 3

В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В ходе эксперимента получено подтверждение выполненных в главе 1 теоретических исследований физико-механических свойств трубной конструкции с применением ТБК. Трубная конструкция обладает необходимыми балластирующими, прочностными и теплозащитными свойствами.

2. Определено рациональное значение соотношения масс компонентов, при котором свойства материала удовлетворяют требованиям по его применению в качестве теплоизоляционно-балластного материала для теплопроводов, прокладываемых под водой: портландцемент 23 %; барит 35 %; древесные частицы 12 %; вода 30 %. При этом плотность материала - 1090,593 кг/м³, коэффициент теплопроводности – 0,17 Вт/(м*К), предел прочности на сжатие – 8,3 МПа.

3. В результате обработки данных экспериментальных исследований получены уравнения регрессии для плотности, коэффициента теплопроводности, предела прочности на сжатие, позволяющие определить рациональные свойства трубной конструкции.

4. Сопоставлением значений теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств трубной конструкции с применением ТБК, выявлена их согласованность.

5. В результате обработки результатов экспериментальных исследований определен поправочный коэффициент к формуле Максвелла-Вагнера $K_{\Pi} = 0,654$. Степень расхождения с теоретическим значением, выполненным в главе 2, не превышает 10 %.

ГЛАВА 4. Экономическая эффективность применения разработанной конструкции теплопроводов в составе энергетической системы

Определение экономической эффективности внедрения техники и технологии произведем, применяя методику оценки, основные показатели которой позволяют наиболее полно охарактеризовать проект в плане инвестиционной привлекательности (индекс доходности, чистый доход, чистый дисконтированный доход и т.п.).

4.1 Определение экономической эффективности производства трубной конструкции с использованием ТБК

С целью определения себестоимости и экономической эффективности производства трубной конструкции с использованием нового материала, предложена блок-схема изготовления и определены технические характеристики готового изделия.

4.1.1 Блок-схема технологии производства трубной конструкции

Технология производства трубной конструкции с использованием ТБК включает следующие технологические операции:

1. подготовка древесного наполнителя;
2. дозирование компонентов (портландцемент, барит, древесный наполнитель, вода);
3. загрузка смесителя компонентами;
4. перемешивание смеси;
5. подготовка опалубки к заполнению композиционным материалом;
6. заполнение опалубки композиционным материалом;
7. уплотнение композиционного материала вибрированием;
8. выдержка композиционного материала в опалубке;
9. снятие опалубки;
10. естественное дозревание композита.

Предлагаемая технология отличается от традиционно применяемых технологий производства древесно-цементных композитов [73-78]

использованием древесной стружки хвойных пород в качестве теплоизоляционного наполнителя и барита в качестве балластного наполнителя с целью придания материалу требуемых физико-механических свойств. Блок-схема представлена на рис. 4.1.

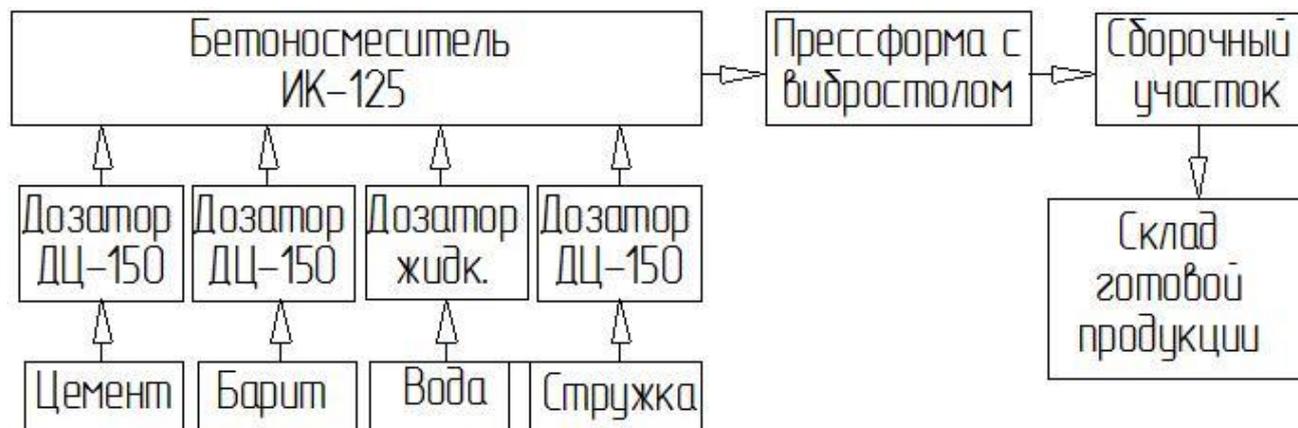


Рис. 4.1 Блок-схема технологического процесса изготовления трубной конструкции

Древесная стружка подается в промежуточный бункер и сетчатый мерник дозатор, затем в ванну с раствором хлористого калия или хлорида алюминия для замачивания. Процесс замачивания длится не менее 15 мин. Обработка растворами хлорида кальция и хлорида алюминия значительно повышают его адгезию с цементным камнем, а также снижает водопоглощение, повышает прочность и ускоряет твердение композита. Обработанная стружка в контейнере поступает на площадку выдерживания, а затем высыпается в ковш подъемника и направляется в бетономешалку БП-2Г-750 (производительность 30 м³/ч, мощность N=20 кВт). Также в бетономешалку из дозаторов ДЦ-150 подается цемент, барит и вода затворения из дозатора жидкости.

Подбор компонентов связующего, теплоизоляционного древесного наполнителя, балластного наполнителя выполнен в предыдущей главе. Дозирование отдельных компонентов происходит в каждом случае по отношению к массе абсолютно сухой древесины [79]. Точность дозирования компонентов составляет: цемента по массе ± 2 ; древесной стружки по объему ± 5 , по массе ± 3 ; воды по массе и объему ± 2 . Дозировка компонентов, масс. %:

- портландцемент М 400 – 17-25
- барит – 35-56
- древесная стружка – 5-12
- вода – 20-30

Дозировка составлена при влажности древесного наполнителя 8-12 %, при использовании сырья с более высокой влажностью требуется корректировка доли воды в сторону уменьшения. Влагосодержание древесины измеряется непрерывно влагомером и учитывается при определении водоцементного соотношения. Все материалы дозируются по массе. Так как схемой предусмотрена предварительная замочка древесной стружки, то компоненты в бетоносмеситель загружаются в следующей последовательности: древесная стружка, портландцемент, барит, вода. Продолжительность перемешивания смеси компонентов, считая с момента загрузки всех материалов в смеситель циклического действия и до начала выгрузки, составляет не менее 5 мин [92,93].

Готовая смесь композиционного материала с помощью насоса подается через течку – раздатчик в металлическую опалубку, представляющую собой разборный полый цилиндр с глухими торцами, внутрь которого помещена стальная рабочая труба с нанесенным внешним антикоррозионным покрытием. Металлическая опалубка изнутри обработана солидолом с целью уменьшения контакта смеси с металлом корпуса опалубки. Размеры металлической опалубки и рабочей стальной трубы подбираются согласно предлагаемому сортаменту. Металлическая опалубка установлена на вибрационном столе. Вибрационный стол представляет собой металлическую плиту с четырьмя резиновыми опорами. К тыльной стороне плиты прикреплен вибратор серии «И». После уплотнения материала не менее 5 мин., форму переносят на пост вызревания в промежуточный склад. Композит выдерживается в форме в течение 5 суток. Температурно-влажностный режим в помещении вызревания должен быть: температура воздуха не ниже 15 °С и относительная влажность 60 – 80 %. Через 5 суток осуществляется распалубка металлической формы, и изделие перемещается на участок естественного дозревания промежуточного склада, где

оно хранится в течение 28 суток. Затем изделие поступает на сборочный участок, где производится установка защитной оболочки в виде полиэтиленовой трубы. Затем изделие поступает на склад готовой трубной продукции (рис.4.2). Трубная конструкция в виде готового изделия представляет собой стальную трубу для транспортировки теплоносителя, помещенную в защитную полиэтиленовую трубу – оболочку, с заполнением межтрубного пространства, разработанным ТБК (рис.4.3). Приоритет конструкции защищен патентом на ПМ №122746 от 10.12.2012.



Рис. 4.2 Экспериментальный участок сборки трубной конструкции



Рис. 4.3 Трубная конструкция в виде готового изделия

Технические характеристики разработанной трубной конструкции в зависимости от типоразмера стальной (ГОСТ 10704-91) и полиэтиленовой (ГОСТ 18599-2001) трубной продукции представлены в таблице 4.1. Толщина композиционного теплоизоляционно-балластного материала обусловлена стандартизированными диаметрами рабочей стальной и полиэтиленовой труб.

Таблица 4.1 Технические характеристики готовой трубной конструкции

Наружный диаметр и толщина рабочей стальной трубы, мм	Наружный диаметр и толщина полиэтиленовой трубы-оболочки, мм	Толщина теплоизоляционно-балластного материала, мм
57x3	140x3	38,5
76x4	160x3	39,0
89x4	180x3	42,5
108x5	200x4	43,0
133x5	250x4	54,5
159x5	280x4	55,5
219x6	355x5	62,0

273x6,5	450x7	81,5
325x7	500x8	79,5
377x7	560x8	82,7
426x7	600x8	77,6
480x7	630x9,5	65,5
530x7	710x12,5	78,9
630x8	800x14	72,5
720x8	900x15,6	76,0
820x9	1100x17,5	122,5
920x9	1425x23,5	229,0
1020x10	1425x23,5	179,0
1220x11	1600x27,5	159,8

4.1.2 Состав и стоимость технологического оборудования

Состав и стоимость технологического оборудования для производства трубной конструкции принимаются согласно разработанной выше технологической схеме и рыночных цен (табл. 4.2)

Таблица 4.2 Состав и стоимость технологического оборудования

Наименование оборудования	Потребное количество, шт	Стоимость оборудования, тыс. руб
Маятниковая пила АЦ-3С	1	70
Гидравлическая установка Молния-600	1	60
Стружечный станок S-600	1	199
Дозатор для взвешивания цемента ДЦ-150	1	144
Дозатор для взвешивания барита ДЦ-150	1	144
Дозатор для жидкости	1	29,5
Бетоносмеситель БП-2Г-750	1	660
Итого		1306,5

4.1.3 Потребность и стоимость сырья и материалов

Потребность и стоимость сырья и материалов на изготовление 1 м³ ТБК определим исходя из разработанной технологии и цен на материалы [94]. Результаты сведем в табл. 4.3.

Таблица 4.3 Потребность и стоимость сырья и материалов на изготовление 1 м³ материала

Наименование сырья и материалов	Единица измерения	Расход на ед.изм.	Цена за единицу, руб	Стоимость, руб
Древесные отходы	т	0,19	125	185
Портландцемент, марки 400	т	0,356	3800	1353
Баритовый концентрат	т	0,557	15000	8355
Вода	т	1,6	15,59	25
Всего:				9918

4.1.4 Расчет численности основных рабочих и фонда заработной платы

Число дней работы одного рабочего примем исходя из 5-ти дневной часовой рабочей неделе с продолжительностью рабочего дня 8 часов с учетом праздничных дней – 247. Часовая тарифная ставка оператора машины IV разряда – 120 руб [106]. Результаты расчета сведем в табл. 4.4.

Таблица 4.4 Численность основных рабочих и ФЗП

Рабочие	Кол-во, чел	Число дней работы в году	Потребность в чел-дн.	Тарифная ставка, руб./ч	ФЗП, тыс.руб.
Оператор маятниковой пилы	1	247	247	120	237,12
Оператор гидравлической установки	1	247	247	120	237,12
Оператор стружечного станка	1	247	247	120	237,12
Оператор дозатора	3	247	741	120	711,36
Оператор бетоносмесителя	1	247	247	120	237,12
Всего	7				1659,84

Годовой фонд заработной платы основных рабочих с учетом дополнительной заработной платы 13 % – 1875,619 тыс.руб.

Отчисления на социальные нужды составляют 34 % – 637,71 тыс.руб.

4.1.5 Расчет численности вспомогательных рабочих и фонда заработной платы

Трудозатраты на вспомогательные работы включают затраты труда слесаря-ремонтника и электрика по обслуживанию установленного оборудования. Часовая тарифная ставка электрика – 96 руб, слесаря-ремонтника – 90 руб. Результаты расчета сведем в табл. 4.5.

Таблица 4.5 Расчет численности вспомогательных рабочих и ФЗП

Рабочие	Кол-во, чел	Число дней работы в году	Потребность в чел-дн.	Тарифная ставка, руб./ч	ФЗП, тыс.руб.
Слесарь-ремонтник	1	247	247	90	177,84
Электрик	1	247	247	96	189,70
Всего					367,54

Годовой фонд заработной платы основных рабочих с учетом дополнительной заработной платы 13 % – 415,32 тыс.руб.

Отчисления на социальные нужды составляют 34 % – 121,41 тыс.руб.

4.1.6 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления рассчитываем с целью возмещения износа основных средств производства. Расчет амортизации производим по действующим нормам амортизационных отчислений H_A в процентах от балансовой стоимости фондов ОФ по формуле

$$A = \frac{ОФ \cdot H_A}{100}, \% \quad (4.1)$$

Стоимость отдельных видов основных средств определяется как произведение балансовой стоимости объектов на их списочное количество.

Списочное количество оборудования примем из табл. 5.2. Нормы амортизационных отчислений принимаем согласно [95]. Результаты расчетов приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Балансовая стоимость, тыс. руб	Количество единиц, шт.	Всего, тыс. руб	Норма амортизации, %	Амортизационные отчисления, тыс.руб
Маятниковая пила АЦ-3С	70	1	70	8,3	5,81
Гидравлическая установка Молния-600	60	1	60	8,3	4,98
Стружечный станок S-600	199	1	199	8,3	16,517
Дозатор для взвешивания стружки ДЦ-150	144	2	288	8,3	23,904
Дозатор для жидкости	29,5	1	29,5	8,3	2,449
Бетоносмеситель БП-2Г-750	660	1	660	8,3	54,78
Всего					108,44

4.1.7 Потребность в электроэнергии

Потребность и стоимость электроэнергии на производство выполняем на основании объемов работ и норм расхода электроэнергии применяемым оборудованием. Перечень оборудования принимаем из таблицы 5.2. Нормы расхода принимаем согласно пособию [92]. Тариф за 1 кВт*час электроэнергии - 2,99 руб. Расчеты приведены в табл.4.7.

Таблица 4.7 Расчет потребности электроэнергии

Оборудование	Кол-во единиц	Установленная мощность, кВт	Время работы, ч	Потребность эл.энергии, кВт*ч
Маятниковая пила АЦ-3С	1	22,0	1976	43472
Гидравлическая установка Молния-600	1	15,0	1976	29640
Стружечный станок S-600	1	18,5	1976	36556
Дозатор ДЦ-150	2	0,4	591	472,8
Дозатор для жидкости	1	0,4	591	236,4
Бетоносмеситель БП-2Г-750	1	20,0	1976	39520
Всего				149897,2

Общая стоимость электроэнергии определяется умножением общего потребного количества на тариф за 1 кВт*час – 448,193 тыс.руб.

4.1.8 Затраты на техническое обслуживание и ремонт

Затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования принимаем в размере 9 % от его стоимости.

Таблица 4.8 Смета затрат на содержание и эксплуатацию оборудования

Затраты	Сумма, тыс.руб.
Оплата труда вспомогательного персонала	415,32
Отчисления на социальные нужды	121,41
Расходы на электроэнергию	448,193
Амортизационные отчисления	108,44
Техническое обслуживание и ремонт	117,585
Итого	1210,948

4.1.9 Калькуляция себестоимости продукции

Калькуляция себестоимости продукции составляется по статьям затрат на калькулируемую единицу (табл. 4.9). Затраты по статьям калькуляции

рассчитаны выше. Прочие производственные затраты принимаем в размере 5 % от суммы всех предыдущих расходов. Коммерческие расходы принимаем в размере 4 %.

Таблица 4.9 Калькуляция себестоимости продукции

Статьи расходов	Годовой объем – 37500 м ³	
	Сумма затрат, тыс.руб	Затраты на 1 м ³ продукции, руб
Сырье и материалы	371925	9918,00
Оплата труда производственных рабочих	1875,619	64,31
Отчисления на социальные нужды	637,71	21,86
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	1210,948	44,99
Прочие расходы	18782,464	502,46
Итого затраты на производство	394431,471	10551,62
Коммерческие расходы	15777,27	422,06
Полная себестоимость	410209,011	10938,91

Оптовая цена предприятия ($OЦ_{пр}$) включает полную себестоимость и прибыль: $OЦ_{пр} = 10938,91 \cdot 1,005 = 10993 \text{ руб} / \text{м}^3$.

4.1.10 Показатели экономической эффективности производства

Определив оптовую цену и затраты на производство, рассчитывают чистые денежные поступления от производственной деятельности как сумму амортизации оборудования, входящего в состав технологической линии, и прибыли после налогообложения.

Таблица 4.10 Затраты на производство продукции, выручка и прибыль, тыс.руб

Наименование показателей	Значение
Объем продаж продукции, м ³	37500
Цена продажи продукции руб/м ³	10993
Выручка от продажи продукции, тыс.руб.	411827,29
Продолжение таблицы 4.9	
Наименование показателей	Значение
Затраты на производство продукции, тыс.руб.	410209,011
Балансовая прибыль	2126,57
Платежи из прибыли в бюджет	510,377
Чистая прибыль	1616,193

С целью выявления потенциальной привлекательности проекта для возможных участников дадим оценку его коммерческой эффективности. Показатели коммерческой эффективности проекта в целом определяются на основании денежных потоков от операционной и инвестиционной деятельности (табл. 4.11).

Таблица 4.11 Денежные потоки от операционной и инвестиционной деятельности, тыс.руб

Показатели	Горизонт расчета				
	0	1	2	3	4
1. Сальдо денежного потока от операционной деятельности	0	1616,193	1616,193	1616,193	1616,193
Инвестиционная деятельность:					
2. Притоки	0	0	0	0	0
3. Оттоки	-4291,5	0	0	0	0
4. Сальдо денежного потока от инвестиционной деятельности	-4291,5	0	0	0	0
5. Сальдо суммарного денежного потока от операционной и инвестиционной деятельности	-4291,5	1616,193	1616,193	1616,193	1616,193
6. Сальдо накопленного суммарного потока	-4291,5	-2675,307	-1059,114	557,079	2173,272
7. Коэффициент дисконтирования ($i=0,15$)	1	0,870	0,756	0,658	0,572
8. Дисконтированное сальдо суммарного потока	-4291,5	1406,088	1221,842	1063,455	924,462
9. Накопленное дисконтированное сальдо суммарного потока	-4291,5	-2885,412	-1663,570	-600,115	324,347

Для признания проекта эффективным необходимо, чтобы чистый доход, а главное, чистый дисконтированный доход проекта был положительным. Как видно из табл. 4.11 чистый доход равен 2173,272 тыс.руб., а чистый дисконтированный доход равен 324,347 тыс.руб.

Индекс доходности ID_H – отношение суммы элементов денежного потока от операционной деятельности к абсолютной величине суммы элементов денежного потока от инвестиционной деятельности:
 $ID_H = (1616,193 + 1616,193 + 1616,193 + 1616,193) : 4291,5 = 1,51$.

Дисконтированный индекс доходности инвестиций составит:
 $ИД_D = (1406,088 + 1221,842 + 1063,455 + 924,462) : 4291,5 = 1,08$.

Сроком окупаемости является период времени от начала расчета до момента окупаемости. Моментом окупаемости является наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий ЧД или соответствующий текущий ЧДД становятся и в дальнейшем остаются неотрицательными. Дисконтированный срок окупаемости составляет:
 $3 + 600,115 : (600,115 + 324,347) = 3,65$ года.

4.1.11 Сравнение стоимости различных видов теплоизоляционных материалов

Затраты на производство композиционного теплоизоляционно-балластного материала на основе древесных частиц с учетом стоимости сырья, материалов, электроэнергии, машин и механизмов, заработной платы, плановых накоплений составляет 10993 руб/м³. Для сравнения, стоимость производства современных теплоизоляционных материалов составляет: пенополиуретана – 19491,82 руб/м³, минеральной ваты URSA – 1041,67 руб/м³.

Из сравнения физико-механических характеристик разработанного ТБК (плотность $\rho = 1090,593 - 1433,852$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,17 - 0,248$ Вт/(м*К) с известными, применяемыми в настоящее время теплоизоляционными материалами: минеральной ватой ($\rho = 75 - 150$ кг/м³, $\lambda = 0,055$ Вт/(м*К), пенополиуретаном ($\rho = 80 - 100$ кг/м³, $\lambda = 0,03$ Вт/(м*К), пенополимерминеральной изоляцией ($\rho = 200 - 250$ кг/м³, $\lambda = 0,048$ Вт/(м*К) следует вывод, что ни один из известных теплоизоляционных материалов не обладает достаточными теплоизоляционными и балластирующими свойствами, поэтому не может быть использован для подводной прокладки теплопроводов без применения балластного материала, увеличивающего стоимость трубной конструкции.

Приведем сравнение стоимости материалов трубной конструкции с различными видами теплоизоляционного материала и балластировки на

примере рабочей стальной трубы \varnothing 530x8 мм с внешней защитной полиэтиленовой оболочкой \varnothing 710x12,5 мм (табл. 4.12)

Таблица 4.12 Стоимость материалов трубной конструкции Ду 500 мм с различными видами теплоизоляционного материала (руб/п.м.)

Теплоизоляционный материал	Труба стальная 530x8 мм	Труба полиэтилен. 710x12,5 мм	Тепловая изоляция $V=0,122\text{м}^3$	Балластировка УЧК – 500 масса 450 кг, шаг 4 м	Итого
ТБК	3656,34	858,70	1348,10	-	5863,14
Пенополиуретан	3656,34	858,70	2378,00	3937,50	10830,54
Минеральная вата URSA	3656,34	858,70	127,08	3937,50	8579,62

Как видно затраты на материалы при применении композиционного теплоизоляционно-балластного материала являются наименьшими.

4.2 Определение экономической эффективности применения разработанной трубопроводной конструкции при сооружении переходов через водные преграды (на примере г. Йошкар-Ола)

Одним из аспектов развития локальных систем теплоснабжения является повышение энергетической эффективности за счет энергосбережения и ресурсосбережения при их создании и эксплуатации. Этот аспект рассмотрен на примере системы теплоснабжения городского округа «Город Йошкар-Ола»

4.2.1 Характеристика схемы теплоснабжения г. Йошкар-Олы

Городской округ «Город Йошкар-Ола» расположен на Марийской низменности, в 50 км к северу от Волги на ее левом притоке реки Малая Кокшага, в 862 км к востоку от Москвы. Город основан в 1584 г. Площадь городского округа 101,8 км². По состоянию на 1 января 2013 г. в городе насчитывается 257,015 тыс. чел. По данным теплоснабжающих организаций отапливается 1957 жилых домов, 281 административное здание, 311 общественных зданий, 1652 нежилых здания и помещения, 123 прочих здания. Протяженность тепловых сетей ТЭЦ-1 составляет 216 км, в т.ч. паровых 2,2 км в двухтрубном исполнении. Протяженность тепловых сетей, находящихся на

балансе ТЭЦ-2, составляет 30,36 км в двухтрубном исполнении, в том числе 13,4 км магистральных и 16,9 км квартальных сетей. Схема теплоснабжения в основном двухтрубная, открытая с зависимым подключением систем теплопотребления [84]/

Теплоснабжение городского округа осуществляется от МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» (включая ОК №37 «Заречная»), от Йошкар-Олинской ТЭЦ-2 Филиала «Марий Эл и Чувашии» ПАО «Т Плюс», а также квартальных отопительных котельных предприятий и организаций города.

По состоянию на 01.01.2019 год на ТЭЦ-1 установлены водогрейные котлы КГВМ-50-150 (2 шт.), ПТВМ-30М-4 (5 шт.), паровые котлы КЕ-35-24/370 ГМ (3 шт.).

Целевые показатели эффективности ТЭЦ-1 в обобщенном виде представлены в табл. 4.13.

Таблица 4.13 Целевые показатели эффективности ТЭЦ-1 2018г.

№ п/п	Целевые показатели	Размерность	Значение
1.	Установленная электрическая мощность турбоагрегатов ТЭЦ	МВт	5,1
2.	Установленная тепловая мощность ТЭЦ, в т.ч.:	Гкал/ч	323,34
2.1.	встроенных конденсационных пучков	Гкал/ч	20
2.2.	пиковых водогрейных котлоагрегатов	Гкал/ч	258,04
3.	УРУТ на выработку электроэнергии	г.у.т./кВтч	401,4
4.	УРУТ на выработку тепловой энергии	кг.у.т./Гкал	156,2
5.	УРУТ на отпуск электроэнергии с шин ТЭЦ	г.у.т./кВтч	446
6.	УРУТ на отпуск тепловой энергии с коллекторов ТЭЦ	кг.у.т./Гкал	159,9
7.	Коэффициент использования установленной электрической мощности	%	16,36
8.	Коэффициент использования установленной тепловой мощности	%	29,7

В котельной №37 «Заречная» установлены водогрейные котлы КВГМ-20-150 (4 шт.), КВГМ-50-150 (2 шт.), паровые котлы ДЕ-16-14ГМ (2 шт.), ДЕ-25-14ГМ (1 шт.).

Целевые показатели эффективности ОК №37 в обобщенном виде представлены в табл. 4.14.

Таблица 4.14. Целевые показатели работы ОК № 37 «Заречная» 2018г.

№ п/п	Целевые показатели	Размерность	Значение
1	Установленная тепловая мощность	МВт	251,2
2	Располагаемая тепловая мощность	Гкал/ч	172,91
3	Потери установленной тепловой мощности	%	9,44
4	Средневзвешенный срок службы	лет	12,56
5	УРУТ на выработку тепловой энергии	кг.у.т/Гкал	150,8
6	Собственные нужды	Гкал/ч	3,07
7	УРУТ на отпуск тепловой энергии	кг.у.т/Гкал	154,2
8	Удельный расход электроэнергии	кВтч/Гкал	27,3
9	Удельный расход теплоносителя	м ³ /Гкал	34,1
10	Коэффициент использования установленной тепловой мощности	%	27,8

На ТЭЦ-2 установлены и эксплуатируются паровые котлы ТПЕ-430А (2 шт.), водогрейные котлы КВГМ-100/150 (3 шт.)

Помимо котлов на ТЭЦ-2 установлены две паровые турбины ПТ-80/100-130/13 и Тп-115/125-130-1с производственным и теплофикационным отборами.

Целевые показатели эффективности ТЭЦ-2 в обобщенном виде представлены в табл. 4.15.

Таблица 4.15. Целевые показатели эффективности ТЭЦ-2

№ п/п	Показатель	Размерность	Значение
1	Установленная электрическая мощность турбоагрегатов ТЭЦ	МВт	195
2	Установленная тепловая мощность ТЭЦ, в т.ч.:	Гкал/ч	660
2.1	УРУТ на выработку электроэнергии	г.у.т./кВтч	436,69
2.2	УРУТ на выработку тепловой энергии	кг.у.т./Гкал	204,8
3	УРУТ на отпуск электроэнергии с шин ТЭЦ	г.у.т./кВтч	305,43
4	УРУТ на отпуск тепловой энергии с коллекторов ТЭЦ	кг.у.т./Гкал	142,07
5	Коэффициент использования установленной электрической мощности	%	44,1
6	Коэффициент использования установленной тепловой мощности	%	29,8

4.2.2 Анализ затрат сооружения подводного перехода по вариантам

Согласно генеральному плану ГО «Город Йошкар-Ола» в северо-восточной части города планируется строительство микрорайона

«Прибрежный», ограниченный улицами Водопроводная – Оршанское шоссе – Луговая – Серова с общей тепловой нагрузкой 10,715 Гкал/час. (рис. 4.4)

Наиболее реализуемыми являются два варианта подключения микрорайона к схеме теплоснабжения: к ТЭЦ-1, при этом потребуется перекладка около 2,5 км тепловых сетей с увеличением диаметров трубопроводов в условиях плотной городской застройки и к ОК №37 «Заречная» со строительством 0,984 км теплосети по зоне перспективной застройки и 132 м перехода с учетом береговых сооружений через реку М. Кокшага в створе ул. Серова (рис.4.2) Подключение микрорайона в сетям ТЭЦ-2 по причине значительной удаленности и технико-экономической неэффективности не рассматривается.

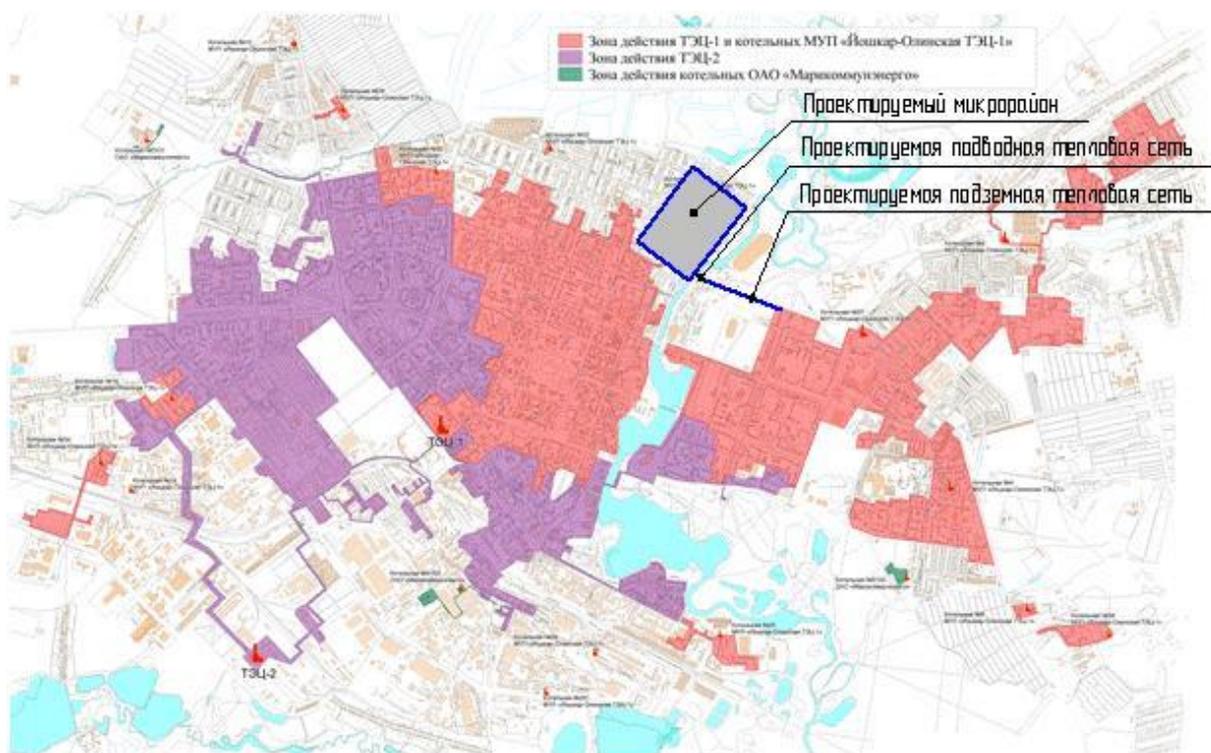


Рис. 4.4 Генплан г. Йошкар-Олы с нанесением перспективного микрорайона «Прибрежный»



Рис.4.5 Переход теплопровода через р. М. Кокшага

С учетом целевых показателей эффективности ТЭЦ-1 и ОК №37 «Заречная», а также выполнения в перспективе оперативных связей между источниками тепла с целью повышения надежности теплоснабжения потребителей, наиболее предпочтительным является вариант подключения проектируемого микрорайона к ОК №37 «Заречная».

Выполним анализ затрат сооружения перехода теплопроводов через водную преграду: строительство мостового сооружения, прокладка дюкера и прокладка по дну водоема в траншее с применением разработанной трубной конструкции. Результаты затрат и объем основных материалов приведены в табл.4.16 и 4.17.

Таблица 4.16 Затраты на сооружение перехода через водную преграду по вариантам

Статья расходов	Мостовая конструкция	Дюкер	Бесканальная
Материалы (основные)	10 215 150,42 руб	26 754 379,17 руб	2 216 157,35 руб
Фонд оплаты труда	991 157,58 руб	5 444 867,63 руб	932 809,58 руб
Трудозатраты	5 257,34 чел/час	20 925,63 чел/час	4 134,34 чел/час
Накладные расходы	1 024 571,05 руб	4 367 458,18 руб	1 080 726,99 руб

Сметная прибыль	782 313,06 руб	3 979 072,44 руб	649 120,07 руб
НДС, 20%	2 988 291,19 руб	8 285 434, 75 руб	1 368 451,38 руб
Итого	16 001 483,30 руб	88 138 212,17 руб	6 247 265,37 руб

Таблица 4.17 Объем основных материалов сооружения перехода через водную преграду по вариантам

Показатели	Мостовая конструкция	Дюкер	Бесканальная
Бетон и железобетон, м ³	102	51,8	51,8
Стальные конструкции, т	70,66	651,1	0,475

Анализ результатов затрат показал, что вариант сооружения бесканального перехода в траншее по дну водоема с применением разработанной конструкции по сравнению с другими дает наибольший экономический эффект. Срок окупаемости инвестиционно-строительного проекта по варианту сооружения с применением разработанной конструкции является наименьшим (табл.4.18).

Таблица 4.18 Инвестиционно-строительные показатели проекта по трем вариантам сооружения перехода р. М. Кокшага г. Йошкар-Ола, тыс.руб.

Показатели	Мостовая конструкция	Дюкер	Бесканальный переход
Инвестиции на строительство тепловой сети	28644,3	54995,0	20545,1
Ежегодные расходы	16768,58	16757,88	16768,18
Ежегодный доход	31984,74	31984,74	31984,74
Ежегодная прибыль	15216,16	15226,86	15216,56
Срок окупаемости инвестиций, год	1,9	3,6	1,4
Трудозатраты, человеко-час	13265,0	37852,4	11678,2

4.3 Оценка влияния разработанного технического решения перехода через водную преграду на целевые показатели эффективности энергетической системы

В основу анализа влияния технического решения на эффективности энергетической системы примем целевые показатели эффективности котельной за 2018 год. Согласно распоряжениям Главы Администрации г. Йошкар-Олы о включении и отключении системы отопления объектов города, продолжительность отопительного сезона составила 216 суток. Средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон по данным

Республиканского Гидрометцентра – минус 5,7 °С. Подключенную нагрузку примем по заключенным договорам с потребителями, величину потерь и затрат тепловой энергии на собственные нужды по нормативам (табл. 4.19).

Таблица 4.19 Подключенная тепловая нагрузка ОК №37 «Заречная»

Тепловая нагрузка	Существующая	М-н «Прибрежный»	Перспективная
Отопление, Гкал/час	105,857	8,47	114,327
Вентиляция Гкал/час	7,2452	0,8	8,0452
ГВС Гкал/час	12,5746	1,13	13,7046
Потери Гкал/час	8,84	0,07	8,91
Собств.нужды Гкал/час	3,0829	0,245	3,3279
Итого, Гкал/час	137,5997	10,715	148,3147

Количество выработанной тепловой энергии за 2018 год составило 305 523,525 Гкал/год или 58,9359 Гкал/час. Установленная мощность 212,235 Гкал/час.

Таблица 4.20 Показатели эффективности ОК №37 «Заречная» при реализации инвестиционного проекта с применением разработанной конструкции

Показатель	Отпуск тепловой энергии, Гкал/час	Коэффициент использования установленной мощности, K_v
Факт базового 2018 г.	58,9	27,76
С учетом перспективы подключения м-на «Прибрежный»	61,2	28,84

В результате реализации проекта отпуск тепловой энергии увеличится на 3,9 %, коэффициент использования установленной мощности источника тепла увеличится на 1,08 %, прибыль увеличится на 15,2 млн. руб/год. При этом затраты на реализацию предложенного технического решения перехода теплопроводами через водную преграду из трех рассмотренных вариантов являются минимальными

На основании выполненного анализа следует, что внедрение бесканальной подводной прокладки теплопроводов с использованием разработанной конструкции улучшает показатели эффективности централизованных систем теплоснабжения.

4.4. Технология сооружения перехода через водную преграду

Технология заключается в выполнении действий в следующей последовательности. На противоположных берегах водоема в котлованах

монтируются железобетонные конструкции, состоящие из уложенного на одной вертикальной отметке с дном подводной траншеи основания с ложементом и трех боковых стенок со стороны берега. На стенках предусмотрены вертикальные роликовые направляющие. На берегу выше по течению собирается плеть трубопровода, сформированная из прямолинейных участков, соединенных в виде буквы «П» с помощью крутоизогнутых отводов. Конструкция представляет собой рабочую трубу, помещенную во внешнюю защитную полиэтиленовую оболочку рабочей трубы с приваренными на концах фланцами с установленными заглушками. Заглушки предназначены для предотвращения внутреннего повреждения трубы и попадания внутрь грязи или влаги. Межтрубное пространство заполнено ТБК в качестве теплоизоляционно-балластного покрытия, обладающим нормируемым сопротивлением теплопередачи и балластным свойством, необходимым для обеспечения отрицательной плавучести конструкции. Затем грунт перед железобетонными конструкциями со стороны водоема удаляется, и плеть транспортируется по воде с заведением внутрь железобетонных конструкций. Рабочий трубопровод через открытые фланцевые соединения заполняется химочищенной водой и по роликовым направляющим погружается на ложементы основания в проектное положение. Присоединив подводный участок к подземным береговым участкам трубопроводов с помощью фланцевых соединений, монтируется фиксирующая трубопровод четвертая боковая стенка железобетонной конструкции со стороны водоема и плита перекрытия с люками. После засыпки грунтом железобетонных конструкций и подводной траншеи речная вода из внутреннего объема строительных конструкций удаляется. Предлагаемое техническое решение позволяет также упростить ремонт подводного трубопровода, который производится путем отключения подводного участка береговыми задвижками, снятия плиты перекрытия железобетонной конструкции, разборки боковой стенки со стороны водоема, разъединения фланцевых соединений подводного участка и подземных трубопроводов, удаления вода из трубопровода, в результате чего трубопровод всплывает на поверхность водоема.

На рис.4.6 показан общий вид смонтированного перехода через водную преграду, железобетонная конструкция, конструкция трубы и узел присоединения подводного трубопровода с подземным участком теплопровода. Конструкция подводного трубопровода размещена на берегах 1 водоема 2 и закреплена в железобетонных конструкциях 3, состоящих из основания 4 с ложементом 5 и боковых стенок 6 с роликовыми направляющими 7. Собранный на берегу плетень трубопровода П-образной формы 8 с заглушенными фланцами 9 перемещен по воде и заведен внутрь железобетонных конструкций. После снятия заглушек с фланцев трубопровод заполнен химочищенной водой и по роликовым направляющим боковых стенок приведен в проектное положение на ложементы основания железобетонных конструкций. Подводный трубопровод соединен с подземными участками теплопроводов с помощью фланцевых соединений 10. Смонтирована четвертая боковая стенка со стороны водоема и плита перекрытия с люками 11. Железобетонная конструкция и подводная траншея засыпана грунтом 12. Труба состоит из стальной рабочей трубы 13 с фланцами на концах для соединения с подземными участками теплопроводов, имеющими приваренные аналогичные ответные фланцы, теплоизоляционно-балластного покрытия 14 и внешней защитной полиэтиленовой оболочки 15 с заглушками на концах 16, предназначенными для защиты открытых торцов теплоизоляционно-балластного покрытия от механических повреждений и намокания. Разработанное техническое решение позволяет упростить и удешевить прокладку трубопровода централизованного теплоснабжения в стесненных городских условиях и сократить продолжительность ремонта подводного участка трубопровода.

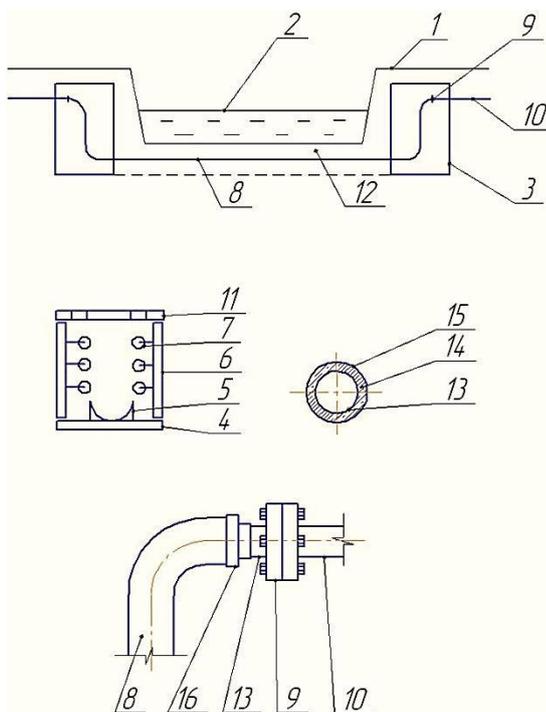


Рис 4.6 Схема подводного перехода теплопровода

Разработанная конструкция трубопровода позволяет равномерно распределить нагрузку утяжеления по его длине, повысить безопасность за счет применения экологически чистых материалов, повысить эксплуатационную надежность за счет дополнительной защиты трубы от механических и коррозионных воздействий.

Труба централизованного теплоснабжения для сооружения переходов через водные преграды содержит стальную рабочую трубу 1, имеющую антикоррозионное покрытие 2, внешнюю защитную полиэтиленовую оболочку 3, теплоизоляционно-балластный слой 4, центрирующие стойки 5, сигнальные медные провода системы оперативного дистанционного контроля 6 (рис.4.7).

Центрирующие стойки выполнены из диэлектрического материала и имеют отверстия диаметром 5 мм для сигнальных медных проводов. Расстояние между центрирующими стойками не более 1 м.

Сигнальные медные провода системы оперативного дистанционного контроля в количестве 2 шт. проложены по центрирующим стойкам параллельно оси трубы в положении «2 и 10 час».

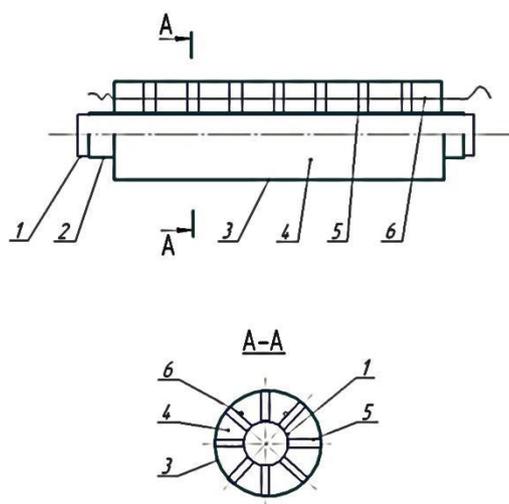


Рис. 4.7 Трубная конструкция с системой ОДК

Для контроля состояния ТБК в конструкции предусмотрена система оперативного дистанционного контроля (СОДК) с выводом сигналов на центральный диспетчерский пульт. Техническое устройство состоит из корпуса в антивандальном исполнении, в котором размещены: электронный блок диагностики и трансляции состояния изоляции и сигнальных проводов СОДК, выполненный на одной печатной плате, включающий в себя устройство измерения электрического сопротивления тепловой изоляции, контроллер, формирователь одиночного импульса, GSM-модем, а также внутренняя GSM-антенна и вторичный блок питания. Связь предлагаемого технического устройства с диспетчерским пунктом инициализируется в виде одиночного аварийного сигнала, только при возникновении хотя бы одного из следующих дефектов: снижение сопротивления изоляции $R_{из} < 1 \text{ МОм}$, обрыв сигнальных проводов $R_{из} > 200 \text{ Ом}$, намокание изоляции (или контакт провода с металлической трубой) $R_{из} < 5 \text{ кОм}$. После отправки сигнала связь с диспетчерским пунктом разрывается. Оператор диспетчерского пункта, приняв аварийный сигнал, направляет ремонтную бригаду на аварийный участок тепловой сети. По устранению дефекта СОДК техническое устройство приводится в исходное положение

На рис.4.8 представлена установка детектора системы оперативного диспетчерского контроля в схеме дистанционного мониторинга предварительно изолированных трубопроводов.

Установленный в контрольной точке теплотрассы детектор системы оперативного диспетчерского контроля 1 (рис.4.9), через коммутационный терминал 2, комплект удлинения кабеля в защитной оболочке 3 соединен с сигнальными проводами, проложенными в тепловой изоляции трубопроводов теплотрассы 4. Передача сообщения о наличии повреждения изоляции на центральный диспетчерский пункт 6 (рис.4.10) осуществляется по мобильной сотовой связи 5.

Применение технического устройства в системе дистанционного мониторинга предварительно изолированных трубопроводов позволяет:

- снизить эксплуатационные затраты на контроль состояния предварительно изолированных трубопроводов за счет уменьшения оплаты услуг GSM-связи, упрощения программного обеспечения, снижения требований к характеристикам конфигурации компьютера диспетчерского пункта.
- снять ограничения по установке приборов в общественных местах (улица, подвальные помещения и т.п.).

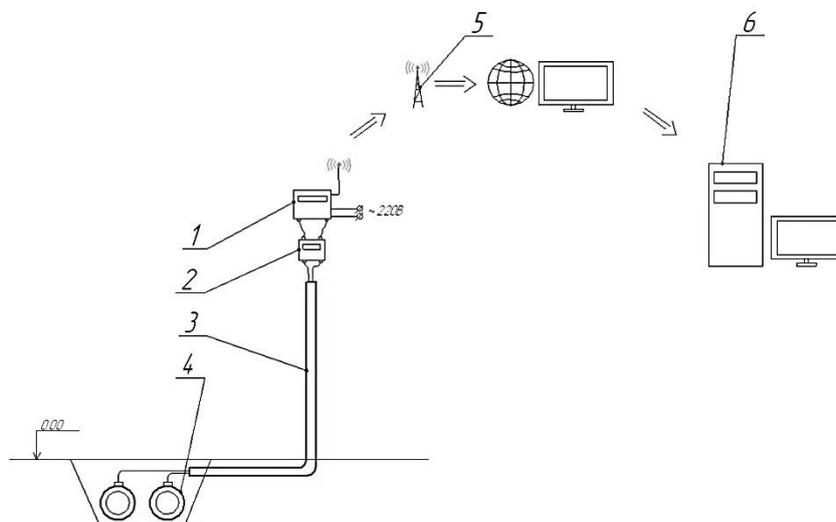


Рис.4.8 Установка детектора СОДК



Рис.4.9 Детектор системы оперативного диспетчерского контроля

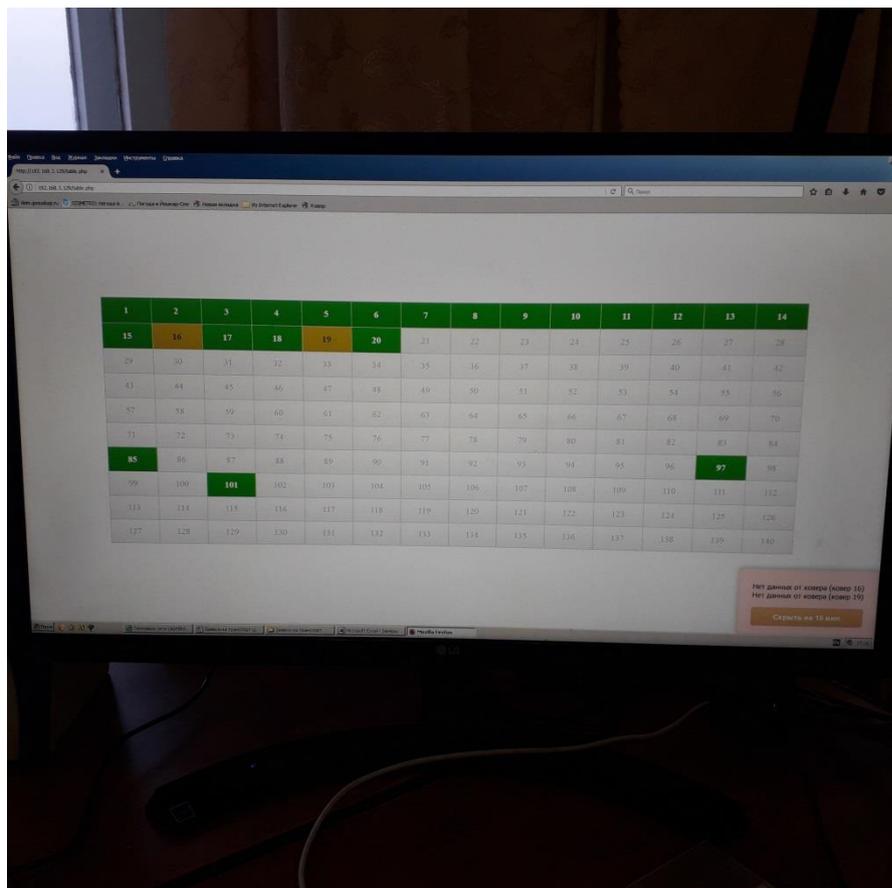


Рис.4.10 Монитор центрального диспетчерского пункта

4.5 Выводы по главе 4

В главе рассмотрена экономическая эффективность применения разработанной конструкции в системе транспортировки теплоты и теплоносителей энергетических систем. Основные показатели инвестиционной привлекательности - индекс доходности, чистый доход, чистый дисконтированный доход, свидетельствуют об экономической эффективности проекта. Срок окупаемости инвестиций в производство трубной конструкции составляет 3,65 года.

Оптовая цена предприятия, включая полную себестоимость и прибыль предприятия, составляет 10993 руб за кубический метр. Сравнивая со стоимостью производства современных теплоизоляционных материалов: пенополиуретаном – 19491,82 руб/м³, минеральной ваты URSA – 1041,67 руб/м³, можно сделать вывод о сопоставимости уровня их цен.

Сравнение стоимости разработанной трубной конструкции с применением разработанного материала 5863,14 руб/п.м. и стоимости конструкции с другими известными теплоизоляционными материалами (пенополиуретан - 10830,54 руб/п.м.; минеральная вата URSA - 8579,62 руб/п.м.) и дополнительной балластировкой показало, что затраты при применении композиционного теплоизоляционно-балластного материала на основе древесных отходов являются наименьшими.

Проведена технико-экономическая оценка эффективности применения разработанной конструкции при сооружении перехода через водную преграду теплопроводами системы теплоснабжения ОК №37 «Заречная».

При этом затраты на реализацию предложенного технического решения перехода теплопроводами через водную преграду из трех рассмотренных вариантов являются минимальными, что свидетельствует об инвестиционной привлекательности проекта. Срок окупаемости инвестиций в предложенный вариант проекта является наименьшим из трех конкурирующих, и равен 1,4 года.

Полученные данные технико-экономического обоснования инвестиционно-строительного проекта по трем конкурирующим вариантам свидетельствуют, что разработанное техническое решение является наиболее энерго- и ресурсосберегающим. При этом произойдет улучшение экономических показателей энергетической системы. В результате реализации инвестиционно-строительного проекта с применением разработанной трубной конструкции отпуск тепловой энергии на источнике тепла увеличится на 3,9 %, коэффициент использования установленной мощности источника тепла увеличится на 1,08 %, прибыль увеличится на 15,2 млн. руб/год.

Предложена технология сооружения перехода через водную преграду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана обладающая новизной трубная конструкция, обладающая нормируемыми физико-механическими характеристиками для бесканальной подводной прокладки теплопроводов энергетических систем, состоящая из рабочей стальной трубы, помещенной в защитную полиэтиленовую оболочку с заполнением межтрубного пространства ТБК. Приоритет подтвержден патентами РФ № 2544194, ПМ № 122746, ПМ 136518, ПМ № 132895.

3. Проведены экспериментальные исследования физико-механических свойств трубной конструкции и ТБК. Полученные результаты экспериментальных исследований в виде уравнений регрессии позволяют определить рациональные физико-механические свойства трубной конструкции. Определен оптимальный состав ТБК: портландцемент М400 17 – 25 масс. %, барит 35 – 56 масс. %, древесная стружка 6 – 12 масс. %, вода 20 – 30 масс. %. При этом материал обладает следующими физико-механическими характеристиками: плотность $\rho=1090,593 - 1433,852$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,17 - 0,248$ Вт/(м*К), предел прочности на сжатие $\sigma_{\text{в}}=8,3 - 18,49$ МПа.

4. Определены затраты на производство ТБК с учетом стоимости сырья, материалов, электроэнергии, машин и механизмов, заработной платы, плановых накоплений составляют 11050 руб/м³. Основные показатели инвестиционной привлекательности – индекс доходности, чистый доход, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости инвестиций свидетельствуют об экономической эффективности производства.

5. Проведена оценка влияния применения трубной конструкции на инвестиционные показатели и энергоэффективность системы теплоснабжения на примере г. Йошкар-Ола. Срок окупаемости инвестиционного проекта с применением разработанной конструкции из трех рассмотренных вариантов является наименьшим – 1,4 года. В результате реализации инвестиционно-строительного проекта с применением разработанной трубной конструкции повысится эффективность системы отопления ОК№37 «Заречная» г. Йошкар-

Ола: отпуск тепловой энергии увеличится на 3,9 %, коэффициент использования установленной мощности увеличится на 1,08 %, прибыль увеличится на 15,2 млн.руб/год.

6. Полученные результаты диссертационной работы целесообразно использовать на стадии проектирования систем транспорта теплоты и теплоносителей при выборе способа преодоления водных преград. Предложенный способ позволит улучшить финансово-экономические показатели систем теплоснабжения, повысит их инвестиционную привлекательность, что в свою очередь, положительно скажется на эффективности энергетических систем на муниципальном и региональном уровне.

Направлением дальнейшей разработки исследования диссертационной работы является исследование применения иных материалов для изготовления трубной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов А.Л. Тенденции развития теплоснабжения в России Режим доступа - www.abok.ru
- 2 Семенов В.Г. Стратегия развития теплоснабжения и когенерации в Российской Федерации до 2025 года – Режим доступа: www.rosteplo.ru
3. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ (ред. от 27.12.2018 г.) "Об энергосбережении, о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.01.2019 г.): [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г.]
4. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. N 190-ФЗ (ред. от 29.07.2018 г.) "О теплоснабжении": [принят Гос. Думой 9 июля 2010 г.].
5. Методические рекомендации по разработке схем теплоснабжения (утв. приказом Министерства энергетики РФ и Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2012 № 565/667).
6. О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения (утв. Постановлением Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. №154).
7. Кравченко В.М. Текущее состояние отрасли теплоснабжения Режим доступа – www.ipcrem.hse.ru
8. Стенников Н.В. Методы комплексной реконструкции теплоснабжающих систем при совместной работе источников на единые тепловые сети. Диссертация к.т.н. Иркутск 2009.
9. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 6–е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с. : ил.
10. Манюк В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей – М.: Стройиздат. 2013. – 212 с.: ил.
11. Громов Н.К. Городские теплофикационные системы. М., «Энергия», 1974. – 256 с.: ил.

12. "Проектирование тепловых сетей" (Справочник проектировщика) под ред. Николаева А.А. – М.: Издательство литературы по строительству, 1965. – 360 с.
13. Щекин Р.В., Корневский С.М., Беём Г.Е. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга первая. Отопление и теплоснабжение Будівельник, 1997. – 418 с.
14. Авдолимов Е. М., Шальнов А. П. Водяные тепловые сети - М.: Стройиздат, 1984. - 288 с.: ил.
15. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 480 с.
16. Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков В.Н., Терлецкая Е.Н. Теплоснабжение: Учебник для вузов Издательство: Стройиздат, 1982. – 336 с.
17. Громов Н.К., Беяйкина И.В., Витальев В.П. Водяные тепловые сети Справочное пособие по проектированию – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
18. Громов Н.К. Абоненские устройства водяных тепловых сетей: (Проектирование и эксплуатация). – 2-е. изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1979. – 248 с.: ил.
19. Регламент проведения конкурентных отборов мощности. Утвержден 30 августа 2010 года (Протокол № 21-П/2010 заседания Наблюдательного совета НП «Совет рынка»).
20. Гашо Е.Г., Козырь А.В. Опыт и проблемы реализации регионального балансового подхода на территории мегаполиса. // Новости теплоснабжения 2002 г., №2.
21. Гашо Е.Г. Методика регионального энергоанализа. – М.: Изд-во «Дело», 1992 г.
22. Аракелов В.Е. Методические вопросы экономии энергоресурсов – М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
23. Сазанов Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1990 г.

24. Варнавский Б.П., Колесников А.И. Энергоаудит промышленных и коммунальных предприятий. Учебное пособие. – М.: Ассоциация энергоменеджеров, 1999 г.

25. Михайлов С.А., Вакулко А.Г., Гашо Е.Г. Методические материалы по проведению энергетических обследований. // Энергосбережение. 2001 г. №6.

26. Гашо Е.Г., Спиридонов А.Г. Функциональные особенности систем теплоснабжения и комплексная оценка их эффективности. //Новости теплоснабжения. 2001г., №3.

27. Дегтев Г.В. Территориальные аспекты энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве крупного города. //Энергосбережение. 2001 г. №6.

28. Шелгинский А.Я. Энерготехнологические комплексы промышленных предприятий – уровень решения основных задач энергосбережения [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. - №10 (122), октябрь 2010 г. – Режим доступа: www.ntsni.ru.

29. Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2017 г. №1562 «Об определении в ценовых зонах теплоснабжения предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность), включая индексацию предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность), и технико-экономических параметров работы котельных и тепловых сетей, используемых для расчета предельного уровня цены на тепловую энергию (мощность).

30. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов/ Госстрой России. - М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 32 с.

31. ГОСТ 16381-77* Материалы и изделия строительные и теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования – М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с.

32. Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: Учеб. - метод. пособие / В.М.Копко. – Минск: Технопринт, 2002. – 160 с. : ил.

33. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. Учебник для средних

профессионально-технических учебных заведений. — М.: ИНФРА-М, 2003. — 268с.

34. Умеркин Г.Х. Надежность систем теплоснабжения. /Автореф. дисс. докт.техн.наук. – ОАО «Объединение ВНИПИЭНЕРГОПРОМ», 2003. – 35 с.

35. Абакумов И.Е. ППУ и ППМ изоляции. Области применения в тепловых сетях – М.: Новости теплоснабжения №2, 2009г. – 43-45 с.

36. Зюлко Е., Орлик Г. Монтаж стальных конструкций - М.: Стройиздат, 1984. - 284 с.

37. Бородавкин П.П., Березин В.Л. Сооружение магистральных трубопроводов: Учебник – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Недра, 1987. – 238 с.

38. Мустафин Ф.М., Быков Л.И, Васильев Г.Г., Гумеров А.Г., А.Е. Лаврентьев, И.Ф. Кантемиров, А.М. Нечваль, И.Ш. Гамбург, А.Ф. Суворов, Р.Ф. Гильметдинов, С.К. Рафиков, Н.И. Коновалов. Технология сооружения газонефтепроводов. Под ред. Г.Г. Васильева. Т.1: Учебник. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. – 632 с.

39. Мустафин Ф.М. Строительные конструкции нефтегазовых объектов: учебник /Ф.М.Мустафин, Л.И. Быков, В.Н. Мохов и др. – СПб: ООО «Недра», 2008. – 780 с.

40 Свечкопалов А.П. Разработка технологии изготовления трубных конструкций высокой надежности для подводных трубопроводов. / Автореф. дисс.канд. техн. наук. – М. РГУНиГ им. И.М.Губкина. 2011. – 20 с.

41. Патент №2257503 Россия. Способ нанесения балластного покрытия на поверхность трубы для подводного трубопровода Текст. /А.П.Свечкопалов [и др.] ОАО МТЗК №2003131175; Опубл.27.07.05// Бюл. №21

42. Ming Chang N and Anderson H 1971 Apparatus and method for laying underwater pipelines *United States Patent* 3616651

43. Jegousse M 1978 Method and apparatus for assembling and laying underwater pipeline *United States Patent* 4068490

44. Lamy J 1980 Laying of underwater pipelines *United States Patent* 4183697

45. MdShamsuddoha, MdMainul Islam, Thiru Aravinthan, Allan Manalo and Kin-tak Lau 2013 Effectiveness of using fibre-reinforced polymer composites for underwater steel pipeline repairs *Composite Structures* 100 40-54
46. Zhi Yong Zhang, Bing Shi, Ya Kun Guo and Li Peng Yang 2013 Numerical investigation on critical length of impermeable plate below underwater pipeline under steady current *Science China Technological Sciences* 56 1232–1240
47. Croll J 1997 A simplified model of upheaval thermal buckling of subsea pipelines *Thin-Walled Structures* 29 59-78
48. Bouchonneau N, Sauvante-Moynot V, Choqueuse D, Grosjean F, Poncet E and Perreux D 2010 Experimental testing and modelling of an industrial insulated pipeline for deep sea application *Journal of Petroleum Science and Engineering* 73 1-12
49. Vestrum O, Kristoffersen M, Polanco-Loria M, Ilstad H, Langseth M and Børvik T 2018 Quasi-static and dynamic indentation of offshore pipelines with and without multi-layer polymeric coating *Marine Structures* 62 60-76
50. Wilmott M, Highams J, Ross R and Kopystinski A 2000 Coating and thermal insulation of subsea or buried pipelines *Journal of Protective Coatings & Linings* 17 47-54
51. Janoff D, McKie N and Davalath J 2004 Prediction of Cool Down Times and Designing of Insulation for Subsea Production Equipment *Offshore Technology Conference*
52. Bouchonneau N, Moynot V, Grosjean F, Choqueuse D, Poncet E and Perreux D 2007 Thermal Insulation Material for Subsea Pipelines: Benefits of Instrumented Full-Scale Testing To Predict the Long-Term Thermomechanical Behaviour *Offshore Technology Conference*
53. Yang J, Lourenço M and Estefen S 2018 Thermal insulation of subsea pipelines for different materials *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 168 100-109

54. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Бондалетова Л.И, Бондалетов В.Г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
55. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. – М.: Стандартиформ, 2006. – 10 с.
56. ГОСТ Р 53231-2008 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М.: Стандартиформ, 2010. – 14 с.
57. ГОСТ 10181.1-81 Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости. – М.: Госстрой России, 1997. – 13 с.
58. Арболит / Под ред. Г.А. Бужевича. М.: Стройиздат, 1968. – 244 с.
59. Арболит. Производство и применение / сост. В.А. Арсенцев; науч. Ред. А.С.Щербаков, Н.К. Якунин - М.: Стройиздат, 1977. - 347 с. : ил., рис.
60. ГОСТ 3158-75 Реактивы. Барий сернокислый. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с.
61. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. и др. Теплотехника: Учебник для ВУЗов – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с. : ил.
62. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. Л., «Энергия», 1974. - 264 с. ил.
63. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. – 344 с.
64. Швец И.Т.и др. Общая теплотехника. – М., Машгиз, 1961. – 463 с.
65. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие /А.Г.Коротких; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 97 с.
66. Бородавкин П.П., Березин В.Л. Сооружение магистральных трубопроводов: Учебник – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Недра, 1987. – 238 с.
67. Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. – М., Недра, 1979. – 415с.
68. СП 131.13330.2012 Строительная климатология М ФАУ «ФЦС» 120 с
69. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Госстрой России, 2012.

70. Тугунов. П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Изд. 2-е, переработанное. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 658 с.

71. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М.: Недра, 1982. – 384 с.

72. Горбунов-Посадов М.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения /М.И.Горбунов-Посадов, В.А.Ильичев, В.И.Крутов и др.; Под общ.ред. Е.А.Сорчана и Ю.Г.Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480с., ил.

73. ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 49 с.

74. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.

75. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. – М.: Стандартинформ. 2008. – 111 с.

76. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2006. – 30 с.

77. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М.: МНТКС, 1999. – 22 с.

78. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2000. – 29 с.

79. ГОСТ Р 53231-2008 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности – М.: Стандартинформ, 2010. – 14 с.

80. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

81. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и

деревообрабатывающей промышленности: Учебное пособие для ФПКП и аспирантов. ч. I / Под ред. А.А. Пижурин. – М.: МЛТИ, 1972. – 89 с.

82. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Учебное пособие для ФПКП и аспирантов. ч. II / Под ред. А.А. Пижурин. – М.: МЛТИ, 1972. – 92 с.

83. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Учебное пособие для ФПКП и аспирантов. ч. III / Под ред. А.А. Пижурин. – М.: МЛТИ, 1972. – 92 с.

84. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке: Учебник для вузов. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.

85. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях [Текст] М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.

86. Арболит. Производство и применение / сост. В.А. Арсенцев; науч. ред. А.С. Щербаков, Н.К. Якунин - М.: Стройиздат, 1977. - 347 с. : ил.

87. Архангельский, В.Д. Переработка вторичного древесного сырья / В.Д. Архангельский. - М.: Гослесбумиздат, 1961. - 154с.: ил.

88. Багаев, Н.Г. Комплексная переработка древесины: Обзор / Н.Г. Багаев, М.А. Мизев. - М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1978. - 28 с.: схем.

89. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции – 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.

90. Наназашвили И.Х. Производство арболита - эффективный способ утилизации древесных отходов. М., ЦБНТИ Строительная индустрия, 1972, вып. № 11

91. Инструкция по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов (конструктивных и высокопрочных, поризованных). - М.: Стройиздат, 1966. -84 с.: черт.

92. Симонов, М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов. - М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.
93. СН 549-82 Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита. – М.: Стандартиформ, 1983. – 28 с.
94. Информационно-аналитический бюллетень по вопросам ценообразования в строительстве Республики Марий Эл. Выпуск №1(64) - 2014. - Йошкар-Ола, ГБУ РМЭ ЦЦС, 2014 – 76 с.
95. Кортаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесн. Пром-сть, 1972. – 144 с.
96. Схема теплоснабжения городского округа «Город Йошкар-Ола» до 2027 года. Режим доступа i-ola.> city/urban_ekonomy/teploschema
97. Мустафин, Ф.М. Технология сооружения газонепроводов: Учебник. Т.1 / Ф.М.Мустафин, Л.И.Быков, Г.Г.Васильев, А.Г.Гумеров, А.Е.Лаврентьев, И.Ф.Кантемиров, А.М.Нечваль, И.Ш.Гамбург, А.Ф.Суворов, Р.Ф.Гильметдинов, С.К.Рафиков, Н.И.Коновалов; под ред. Г.Г. Васильева. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. – 632 с.
98. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1973. – 630 с.
99. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды» – М.; Стандартиформ, 2001. – 18 с.
100. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона – М.; Стандартиформ, 2006. – 10 с.
101. Проектирование водохозяйственных систем: методические указания по выполнению курсового проекта / сост. В.П.Сапцин. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 120 с.
102. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования // М.: Экономика. 2000. – 421 с.

103. Дмитриев А.Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев, И.Н. Ковалев, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин // М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.

104. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов // Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике; рук. авт. кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000. – 421 с.

105. Вопросы повышения эффективности переработки и энергетического использования отходов лесозаготовок: Сб. науч. тр. / ЦНИИМЭ. – Химки: 1987. – 243 с.

106. Кардакова, Р.В. Организация производства и планирование на предприятиях лесопромышленного комплекса: Учебное пособие / Р.В.Кардакова. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. – 154 с.

107. Житомирской, Б.Ф. Рациональное использование древесины в деревообработке / Б.Ф. Житомирской, В.В. Кислый. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 111 с.

108. Холодов И.И. Трубопроводы. Виды теплоизоляции. [Статья] Режим доступа tutterplo.ru

109. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / А.А. Батаев. – М.: Логос, 2006. – 398 с.

110. Патент РФ №2544194 МПК F 16 L 1/16 C 04 B 111/00 C 04 B 18/26 Композитный теплоизоляционно-балластный материал на основе древесных отходов / Чемоданов А.Н., Горинов Ю.А., Сафин Р.Г, Алибеков С.Я., Гайнуллин Р.Х. // заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет» – заявка №2014103401/03; заявл.31.01.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. №7. – 5 с.: ил.

111. Патент ПМ №122746 РФ, МПК F16L59/02. Труба централизованного теплоснабжения для сооружения переходов через водные преграды / Горинов Ю.А., Чемоданов А.Н., Алибеков С.Я. // заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный технический университет». – заявка №2012122952/28; заявл.04.06.2012; опубл.10.12.2012, Бюл.№34. – 3 с. : ил.

112. Патент ПМ №136518 РФ, МПК F16L1/16 Конструкция подводного трубопровода централизованного теплоснабжения / Горинов Ю.А., Чемоданов А.Н., Алибеков С.Я., Сафин Р.Г. // заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет». – заявка №2012149976/06; заявл.22.11.2012; опубл.10.01.2014, Бюл.№1. – 1 с. : ил.

113. Патент ПМ №132895 РФ, МПК G01N27/10. Детектор системы оперативного дистанционного контроля состояния изоляции предварительно изолированных трубопроводов транспортировки тепловой энергии. / Горинов Ю.А., Чемоданов А.Н., Алибеков С.Я., Сафин Р.Г. // заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет» – заявка №2013119276/28; заявл.25.04.2013; опубл.27.09.2013, Бюл.№27. – 3 с.: ил.

114. Горинов Ю.А. Экспериментальные исследования композитного теплоизоляционно-балластного материала для подводных теплопроводов [Текст] / Чемоданов А.Н., Сафин Р.Г. // ИВУЗ. Проблемы энергетики КГЭУ 2014. 2-4 с.80-84

**Проверка нормальности распределения ряда измерений на
предварительном этапе экспериментальных исследований и определение
необходимого числа наблюдений**

При проведении эксперимента количество повторов определения физико-механических характеристик опытных образцов композитного теплоизоляционно-балластного материала на основе древесных отходов составляет 10 раз (плотность, теплопроводность, прочность). Характеристики в виде ранжированного ряда в порядке убывания представим в форме таблице 1.

Таблица 1. - Выборки повторов эксперимента

Свойство	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Плотность, кг/м ³	1730	1721	1664	1650	1635	1626	1546	1515	1504	1490
Теплопроводность Вт/м*К	0,218	0,213	0,204	0,203	0,202	0,200	0,190	0,188	0,186	0,182
Прочность, МПа	22,89	22,62	21,44	21,37	21,30	21,06	20,71	20,28	20,20	19,05

Расчет статистических показателей произведем с помощью программного пакета MSExcel.

1. Плотность

- Среднее значение опытных данных: $\bar{X}_9 = 1608,1 \text{ кг/м}^3$
- Коэффициент вариации опытных данных: $C_{v9} = \sqrt{\frac{0,027393}{10-1}} = 0,05517$

- Коэффициент асимметрии опытных данных:

$$C_{s9} = \frac{10 \cdot (-0,0000716)}{(10-1)(10-2)0,05517^3} = -0,0592$$

- Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации:

$$\frac{C_{s9}}{C_{v9}} = \frac{-0,0592}{0,05517} = -1,0738579$$

- Среднеквадратичное отклонение опытных данных:

$$\sigma_9 = 0,05517 \cdot 1608,1 = 88,71859$$

- Дисперсия опытных данных: $D_{\text{э}} = 7870,989$
- Доверительный интервал опытных данных:

$$X_{\max} = 1608,1 + 2 \cdot 88,71859 = 1785,537 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\min} = 1608,1 - 2 \cdot 88,71859 = 1430,663 \text{ кг/м}^3$$

Ряд опытных данных находится внутри доверительного интервала.

- Коэффициент вариации аналитических данных: $C_{va} = \sqrt{\frac{0,088}{10-1}} = 0,099$

- Среднеквадратичное отклонение аналитических данных:

$$\sigma_a = 0,099 \cdot 1607,216 = 158,9804$$

- Дисперсия аналитических данных: $D_a = 25287,99$

- Критерий Фишера:

$$\text{Степень свободы } \nu_1 = n_1 - 1 = 9 \quad \nu_2 = n_2 - 1 = 9$$

$$\text{Уровень значимости } \alpha = 0,05$$

$$F_{\text{табл}} = 3,345 [75]$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{25287,99}{7870,989} = 3,212809 < 3,345$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза об однородности дисперсий двух рядов принимается.

- Критерий Кохрена:

$$\text{Степень свободы } \nu = n - 1 = 9$$

$$G_{\text{табл}} = 0,795 [75]$$

$$G_{\text{расч}} = \frac{25287,99}{25287,99 + 7870,989} = 0,762629 < 0,795$$

Достоверно. Воспроизводимость обеспечена.

- Критерий Стьюдента:

$$\text{Степень свободы } \nu = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$$

$$t_{\text{табл}} = 2,106 [75]$$

$$t_{расч} = \frac{1608.1 - 1607.216}{\sqrt{10 \cdot 7870.989 + 10 \cdot 25287.99}} \sqrt{\frac{10 \cdot 10(10 + 10 - 2)}{10 + 10}} = 0,014571 < 2,106$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза однородности среднеарифметических значений сравниваемых рядов принимается.

- Необходимое число наблюдений: $n = \frac{2,23^2 \cdot 5,517^2}{5^2} = 6,05$

2. Теплопроводность.

- Среднее значение опытных данных: $\bar{X}_э = 0,1986 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$
- Коэффициент вариации опытных данных: $C_{vэ} = \sqrt{\frac{0,032108}{10 - 1}} = 0,059729$
- Коэффициент асимметрии опытных данных:

$$C_{sэ} = \frac{10 \cdot 0,00027707}{(10 - 1)(10 - 2)0,059729^3} = 0,180592$$

- Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации:

$$\frac{C_{sэ}}{C_{vэ}} = \frac{0,180592}{0,059729} = 3,02352619$$

- Среднеквадратичное отклонение опытных данных:

$$\sigma_э = 0,059729 \cdot 0,1986 = 0,011862$$

- Дисперсия аналитических данных: $D_э = 0,000141$

- Доверительный интервал опытных данных:

$$X_{\max} = 0,1986 + 2 \cdot 0,011862 = 0,222324 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

$$X_{\min} = 0,1986 - 2 \cdot 0,011862 = 0,174876 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

Ряд опытных данных находится внутри доверительного интервала.

- Коэффициент вариации аналитических данных $C_{va} = \sqrt{\frac{0,074}{10 - 1}} = 0,090$

- Среднеквадратичное отклонение аналитических данных:

$$\sigma_a = 0,090 \cdot 0,197468 = 0,017853$$

- Дисперсия аналитических данных: $D_a = 0,000320418$

- Критерий Фишера:

$$\text{Степень свободы } \nu_1 = n_1 - 1 = 9 \quad \nu_2 = n_2 - 1 = 9$$

$$\text{Уровень значимости } \alpha = 0,05$$

$$F_{\text{табл}} = 3,345 [75]$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{0,000320418}{0,000141} = 2,277134 < 3,345$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза об однородности дисперсий двух рядов принимается.

- Критерий Кохрена:

$$\text{Степень свободы } \nu = n - 1 = 9$$

$$G_{\text{табл}} = 0,795 [75]$$

$$G_{\text{расч}} = \frac{0,000320418}{0,000320418 + 0,000141} = 0,694855 < 0,795$$

Достоверно. Воспроизводимость обеспечена.

- Критерий Стьюдента

$$\text{Степень свободы } \nu = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$$

$$t_{\text{табл}} = 2,106 [75]$$

$$t_{\text{расч}} = \frac{0,000320418 - 0,000141}{\sqrt{10 \cdot 0,000320418 + 10 \cdot 0,000141}} \sqrt{\frac{10 \cdot 10(10 + 10 - 2)}{10 + 10}} = 0,158148 < 2,106$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза однородности среднеарифметических значений сравниваемых рядов принимается.

- Необходимое число наблюдений: $n = \frac{2,23^2 \cdot 5,9729^2}{5^2} = 7,1$

3. Прочность

- Среднее значение опытных данных: $\bar{X}_o = 21,082 \text{ МПа}$

- Коэффициент вариации опытных данных: $C_{vэ} = \sqrt{\frac{0,027614}{10 - 1}} = 0,055392$

- Коэффициент асимметрии опытных данных:

$$C_{sэ} = \frac{10 \cdot (-10,00007904)}{(10-1)(10-2)0,055392^3} = -0,06459$$

- Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации:

$$\frac{C_{sэ}}{C_{vэ}} = \frac{-0,06459}{0,055392} = -1,1660365$$

- Среднеквадратичное отклонение опытных данных:

$$\sigma_э = 0,055392 \cdot 21,082 = 1,16777$$

- Дисперсия аналитических данных: $D_э = 1,363687$

- Доверительный интервал опытных данных:

$$X_{\max} = 21,082 + 2 \cdot 1,16777 = 23,41754 \text{ МПа}$$

$$X_{\min} = 21,082 - 2 \cdot 1,16777 = 18,74646 \text{ МПа}$$

Ряд опытных данных находится внутри доверительного интервала.

- Коэффициент вариации аналитических данных: $C_{va} = \sqrt{\frac{0,088}{10-1}} = 0,099$

- Среднеквадратичное отклонение аналитических данных:

$$\sigma_a = 0,099 \cdot 21,0704 = 2,084759$$

- Дисперсия аналитических данных: $D_a = 4,346221$

- Критерий Фишера:

$$\text{Степень свободы } \nu_1 = n_1 - 1 = 9 \quad \nu_2 = n_2 - 1 = 9$$

Уровень значимости $\alpha = 0,05$

$$F_{\text{табл}} = 3,345 [75]$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{4,346221}{1,363687} = 3,187111 < 3,345$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза об однородности дисперсий двух рядов принимается.

- Критерий Кохрена:

$$\text{Степень свободы } \nu = n - 1 = 9$$

$$G_{\text{табл}} = 0,795 [75]$$

$$G_{расч} = \frac{4,346221}{4,346221 + 1,363687} = 0,761172 < 0,795$$

Достоверно. Воспроизводимость обеспечена.

- Критерий Стьюдента:

$$\text{Степень свободы } \nu = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$$

$$t_{табл} = 2,106 [75]$$

$$t_{расч} = \frac{21,082 - 21,0704}{\sqrt{10 \cdot 4,346221 + 10 \cdot 1,363687}} \sqrt{\frac{10 \cdot 10(10 + 10 - 2)}{10 + 10}} = 0,014557 < 2,106$$

Достоверно. Из приведенного неравенства (условия) заключаем, что гипотеза однородности среднеарифметических значений сравниваемых рядов принимается.

- Необходимое число наблюдений: $n = \frac{2,23^2 \cdot 5,5392^2}{5^2} = 6,1$

Анализируя значение необходимого числа наблюдений плотности, теплопроводности, прочности на сжатие принимаем необходимое число наблюдений в дальнейшей серии экспериментальных исследований равное 8 для всех исследуемых показателей.

Таблица 1 – Плотность, кг/м³

№ п/п	X _{из}	K _{из}	K _{из} - 1	(K _{из} - 1) ²	(K _{из} - 1) ³	$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$	P (Блохинов)	P _{ср}	P%	K _{ра}	X _{иа}	K _{иа}	K _{иа} - 1	(K _{иа} - 1) ²
1	1730	1,076	0,075804	0,005746	4,36E-04	9,1	5,88	7,49	5	1,16	1865,396	1,161	0,161	0,026
2	1721	1,070	0,070207	0,004929	3,46E-04	18,2	15,69	16,93	15	1,105	1776,951	1,106	0,106	0,011
3	1664	1,035	0,034762	0,001208	4,20E-05	27,3	25,49	26,38	25	1,065	1712,627	1,066	0,066	0,004
4	1650	1,026	0,026056	0,000679	1,77E-05	36,4	35,29	35,83	35	1,04	1672,424	1,040	0,040	0,002
5	1635	1,017	0,016728	0,000280	4,68E-06	45,5	45,10	45,28	45	1,015	1632,222	1,016	0,016	0,000
6	1626	1,011	0,011131	0,000124	1,38E-06	54,5	54,90	54,72	55	0,988	1588,803	0,989	-0,011	0,000
7	1546	0,961	-0,03862	0,001491	-5,76E-05	63,6	64,71	64,17	65	0,9625	1547,796	0,963	-0,037	0,001
8	1515	0,942	-0,05789	0,003352	-1,94E-04	72,7	74,51	73,62	75	0,9325	1499,553	0,933	-0,067	0,004
9	1504	0,935	-0,06473	0,004191	-2,71E-04	81,8	84,31	83,07	85	0,8935	1436,837	0,894	-0,106	0,011
10	1490	0,927	-0,07344	0,005394	-3,96E-04	90,9	94,12	92,51	95	0,833	1339,547	0,833	-0,167	0,028
Σ	16081		4,44E-16	0,027393	-7,16E-05		500,00				16072,16		-0,001	0,088
\bar{X}	1608.1						50,00				1607,216			

Таблица 2 – Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)

№ п/п	X _{из}	K _{из}	K _{из} - 1	(K _{из} - 1) ²	(K _{из} - 1) ³	$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$	P (Блохинов)	P _{ср}	P%	K _{ра}	X _{иа}	K _{иа}	K _{иа} - 1	(K _{иа} - 1) ²
1	0,218	1,098	0,097684	0,009542	0,00093211	9,1	5,00	7,05	10	1,13	0,224418	1,136	0,136	0,019
2	0,213	1,073	0,072508	0,005257	0,0003812	18,2	15,00	16,59	15	1,1	0,21846	1,106	0,106	0,011
3	0,204	1,027	0,02719	0,000739	2,0102E-05	27,3	25,00	26,14	25	1,06	0,210516	1,066	0,066	0,004
4	0,203	1,022	0,022	0,000491	1,0875E-05	36,4	35,00	35,68	35	1,03	0,204558	1,030	0,030	0,001
5	0,202	1,017	0,01712	0,000293	5,0176E-06	45,5	45,00	45,23	45	1,009	0,200387	1,015	0,015	0,000
6	0,200	1,007	0,007049	4,97E-05	3,5031E-07	54,5	55,00	54,77	55	0,985	0,195621	0,991	-0,009	0,000
7	0,190	0,957	-0,0433	0,001875	-8,12E-05	63,6	65,00	64,32	65	0,959	0,190457	0,964	-0,036	0,001
8	0,188	0,947	-0,05337	0,002849	-0,000152	72,7	75,00	73,86	75	0,93	0,184698	0,935	-0,065	0,004
9	0,186	0,937	-0,06344	0,004025	-0,0002554	81,8	85,00	83,41	85	0,896	0,177946	0,901	-0,099	0,010
10	0,182	0,916	-0,08359	0,006986	-0,000584	90,9	95,00	92,95	95	0,844	0,167618	0,849	-0,151	0,023
Σ	1,986		1,33E-15	0,032108	0,00027707		500,00				1,97468		-0,006	0,074
\bar{X}	0,1986						50,00				0,197468			

Таблица 3 – Предел прочности на сжатие, МПа

№ п/п	$X_{iэ}$	$K_{iэ}$	$K_{iэ} - 1$	$(K_{iэ} - 1)^2$	$(K_{iэ} - 1)^3$	$p = \frac{m}{n + 1} 100\%$	P (Блохинов)	P_{cp}	P%	K_{pa}	X_{ia}	K_{ia}	$K_{ia} - 1$	$(K_{ia} - 1)^2$
1	22.89	1.086	0.08576	0.007355	0.00063075	9.1	5.88	7.49	5	1.16	24.45512	1.161	0.161	0.026
2	22.62	1.073	0.072953	0.005322	0.00038827	18.2	15.69	16.93	15	1.105	23.29561	1.106	0.106	0.011
3	21.44	1.017	0.016981	0.000288	4.8968E-06	27.3	25.49	26.38	25	1.065	22.45233	1.066	0.066	0.004
4	21.37	1.014	0.014	0.000187	2.5494E-06	36.4	35.29	35.83	35	1.04	21.92528	1.041	0.041	0.002
5	21.30	1.010	0.010341	0.000107	1.1057E-06	45.5	45.10	45.28	45	1.015	21.39823	1.016	0.016	0.000
6	21.06	0.999	-0.00104	1.09E-06	-1.136E-09	54.5	54.90	54.72	55	0.988	20.82902	0.989	-0.011	0.000
7	20.71	0.962	-0.03804	0.001447	-5.505E-05	63.6	64.71	64.17	65	0.9625	20.29143	0.963	-0.037	0.001
8	20.28	0.962	-0.03804	0.001447	-5.505E-05	72.7	74.51	73.62	75	0.9325	19.65897	0.933	-0.067	0.004
9	20.10	0.953	-0.04658	0.00217	-0.0001011	81.8	84.31	83.07	85	0.8935	18.83677	0.894	-0.106	0.011
10	19.05	0.904	-0.09639	0.00929	-0.0008954	90.9	94.12	92.51	95	0.833	17.56131	0.833	-0.167	0.028
Σ	210.82		-0.0204	0.027614	-7.904E-05		500.00			стр81	210.704		0.000	0.088
\bar{X}	21.082						50.00				21.0704			

Результаты экспериментальных исследований

Таблица 1 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесные опилки – 1:2:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	5,924	5,666	6,161	6,375	5,872	5,972	5,924	6,365	6,032
Плотность, кг/м ³	1755,212	1678,791	1825,469	1888,948	1743,150	1769,386	1755,212	1885,866	1787,754
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,436	0,391	0,332	0,434	0,409	0,358	0,370	0,440	0,40
Предел прочности на сжатие, МПа	20,55	16,09	21,32	16,77	16,83	16,21	16,51	20,79	18,14

Таблица 2 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесные опилки – 1:1:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	5,015	4,772	4,909	5,181	5,075	5,150	4,963	5,198	5,033
Плотность, кг/м ³	1485,891	1414,783	1454,560	1535,194	1503,963	1525,949	1470,383	1540,125	1491,356
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,226	0,311	0,310	0,329	0,282	0,312	0,331	0,280	0,298
Предел прочности на сжатие, МПа	11,82	11,55	11,53	12,17	13,16	13,73	12,06	12,59	12,33

Таблица 3 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесные опилки – 1:2:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,945	4,372	4,947	4,847	4,916	4,923	4,978	4,963	4,861
Плотность, кг/м ³	1465,173	1295,355	1465,778	1436,160	1456,711	1458,525	1474,845	1470,614	1440,395
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,164	0,120	0,246	0,122	0,181	0,169	0,179	0,176	0,170
Предел прочности на сжатие, МПа	8,44	10,04	9,57	8,81	8,41	5,64	9,65	5,81	8,30

Таблица 4 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесные опилки – 1:1:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,004	3,990	4,352	3,886	3,835	3,583	3,458	4,109	3,902
Плотность, кг/м ³	1185,315	1182,175	1289,589	1151,395	1136,320	1061,570	1024,510	1217,351	1156,028
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,197	0,144	0,295	0,146	0,217	0,203	0,215	0,211	0,204
Предел прочности на сжатие, МПа	6,03	7,18	6,84	6,29	6,01	4,04	6,89	4,15	5,93

Таблица 5 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная стружка – 1:2:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	5,696	5,448	5,924	6,130	5,646	5,742	5,696	6,120	5,800
Плотность, кг/м ³	1687,704	1614,222	1755,259	1816,296	1672,889	1701,333	1687,704	1813,333	1718,503
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,363	0,326	0,277	0,362	0,341	0,298	0,308	0,367	0,330
Предел прочности на сжатие, МПа	28,71	22,53	29,85	23,48	23,55	22,70	23,12	29,11	25,38

Таблица 5 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная стружка – 1:1:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,822	4,588	4,720	4,982	4,880	4,952	4,772	4,998	4,839
Плотность, кг/м ³	1428,741	1359,407	1398,519	1476,148	1445,926	1467,259	1413,926	1480,889	1433,852
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,188	0,259	0,258	0,274	0,241	0,260	0,276	0,225	0,248
Предел прочности на сжатие, МПа	17,73	17,33	17,30	18,26	19,74	20,59	18,09	18,89	18,49

Таблица 6 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная стружка – 1:2:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,848	4,286	4,850	4,752	4,820	4,826	4,880	4,866	4,766
Плотность, кг/м ³	1436,444	1269,956	1437,037	1408,001	1428,148	1429,926	1445,926	1441,778	1412,152
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,177	0,167	0,211	0,149	0,256	0,271	0,243	0,208	0,210
Предел прочности на сжатие, МПа	10,57	6,52	11,46	8,62	12,38	16,97	11,83	9,78	11,02

Таблица 7 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная стружка – 1:1:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	3,774	3,764	4,106	3,666	3,618	3,380	3,262	3,876	3,681
Плотность, кг/м ³	1118,222	1115,259	1216,593	1086,222	1072,001	1001,481	966,519	1148,444	1090,593
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,164	0,120	0,246	0,122	0,181	0,169	0,179	0,176	0,170
Предел прочности на сжатие, МПа	8,44	10,04	9,57	8,81	8,41	5,65	9,65	5,81	8,30

Таблица 8 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная щепа – 1:2:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	5,426	5,190	5,643	5,839	5,378	5,470	5,426	5,830	5,525
Плотность, кг/м ³	1607,337	1537,354	1671,675	1729,806	1596,292	1620,317	1607,337	1726,984	1637,138
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,303	0,271	0,230	0,301	0,284	0,248	0,257	0,305	0,275
Предел прочности на сжатие, МПа	40,28	31,54	41,79	32,87	32,97	31,77	32,36	40,75	35,54

Таблица 9 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная щепа – 1:1:3

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,593	4,372	4,496	4,745	4,648	4,716	4,545	4,760	4,609
Плотность, кг/м ³	1360,706	1295,589	1332,015	1405,855	1377,256	1397,389	1346,505	1410,371	1365,711
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,157	0,216	0,215	0,228	0,196	0,217	0,230	0,194	0,207
Предел прочности на сжатие, МПа	23,08	22,56	22,52	23,77	25,70	26,81	23,55	24,59	24,07

Таблица 10 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная щепа – 1:2:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	4,488	3,968	4,490	4,399	4,462	4,467	4,517	4,504	4,412
Плотность, кг/м ³	1330,282	1176,099	1330,832	1303,940	1322,599	1324,246	1339,064	1332,604	1307,458
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,154	0,145	0,183	0,130	0,223	0,235	0,211	0,180	0,183
Предел прочности на сжатие, МПа	19,02	11,73	20,62	15,51	22,26	30,53	21,27	17,59	19,82

Таблица 11 – Результаты экспериментов при соотношении компонентов портландцемент: барит: древесная щепа – 1:1:5

Характеристика	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Масса, кг	3,174	3,164	3,153	3,071	3,363	3,136	3,138	3,156	3,169
Плотность, кг/м ³	940,356	937,535	934,077	909,869	996,319	929,135	929,825	935,150	939,033
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,137	0,100	0,205	0,102	0,151	0,141	0,150	0,147	0,142
Предел прочности на сжатие, МПа	11,82	14,07	13,41	12,33	11,78	7,92	13,50	8,13	11,62

Таблица 12 – Результаты экспериментов определения предела прочности на сжатие (МПа) в зависимости от продолжительности перемешивания композиционной смеси

Продолжительность перемешивания, мин	Номер образца								Среднее значение по серии
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4.35	4.15	4.30	4.24	4.51	4.35	4.33	4.35	4,3
2	6.49	6.31	6.56	6.45	6.45	6.61	6.55	6.62	6,5
3	7.42	7.25	7.35	7.50	7.31	7.41	7.46	7.55	7,4
4	7.55	7.74	7.65	7.85	7.72	7.65	7.75	7.71	7,7
5	8.44	10.04	9.57	8.81	8.41	5.65	9.65	5.81	8.3
6	8.30	8.25	8.41	8.11	8.45	8.43	8.21	8.33	8.3
7	8.35	8.35	8.25	8.23	8.25	8.45	8.30	8.25	8.3

Математическое описание экспериментальных данных

1. Плотность

Таблица 1. – Матрица базисных функций полного факторного плана для плотности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	1434	1782,98
2	+	-	-	1719	4989,43
3	-	+	-	1091	6301,70
4	+	+	+	1412	3430,98

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 X_1 + \epsilon_2 X_2 + \epsilon_{12} X_1 X_2$$

1. Расчет коэффициентов:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) = \frac{1434 + 1719 + 1091 + 1412}{4} = 1414$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{4}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) = \frac{-1434 + 1719 - 1091 + 1412}{4} = 151,5$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{4}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) = \frac{-1434 - 1719 + 1091 + 1412}{4} = -162,5$$

$$\epsilon_{12} = \frac{1}{4}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4) = \frac{1434 - 1719 - 1091 + 1412}{4} = 9$$

Модель: $y = 1414 + 151,5X_1 - 162,5X_2 + 9X_1X_2$

2. Проверка значимости коэффициентов

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{n \cdot N} = \frac{4126,27}{8 \cdot 4} = 128,95$$

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}} = 11,36$$

$$q = 0,05$$

$$f = n - 1 = 8 - 1 = 7 \Rightarrow t_{табл} = 2,36$$

$$t_{расч} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}} = \frac{151,5}{11,36} = 13,34$$

$$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow \text{коэффициент } \epsilon_1 \text{ значим}$$

$$t_{расч} = \frac{162,5}{11,36} = 14,30$$

$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент ϵ_2 значим

$$t_{расч} = \frac{9}{11,36} = 0,79$$

$t_{расч} < t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент ϵ_{12} не значим

Уравнение в окончательном виде:

$$y = 1414 + 151,5X_1 - 162,5X_2$$

3. Проверка адекватности модели:

$$y_{1p} = 1425 \quad y_{2p} = 1728 \quad y_{3p} = 1100 \quad y_{4p} = 1403$$

$$S_{ад} = 8((1434 - 1425)^2 + (1719 - 1728)^2 + (1091 - 1100)^2 + (1412 - 1403)^2) = 2592$$

$$f_{ад} = N - p = 4 - 3 = 1$$

$$S_{ад}^2 = \frac{S_{ад}}{f_{ад}} = 2592$$

$$f_y = N(n - 1) = 4 \cdot 7 = 28$$

$$F_{расч} = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}} = \frac{2592}{4126,27} = 0,63$$

$$F_{табл} = 250$$

$F_{расч} < F_{табл}$ модель адекватна

4. Уравнение в натуральном виде:

$$y = 1414 + 151,5 \left(\frac{X_1 - 1,5}{0,5} \right) - 162,5 \left(\frac{X_2 - 4}{1} \right) =$$

$$= 1414 + 303X_1 - 454,5 - 162,5X_2 + 650 = 1609,5 + 303X_1 - 162,5X_2$$

2. Коэффициент теплопроводности

Таблица 2. – Матрица базисных функций полного факторного плана для теплопроводности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	0,25	0,0009
2	+	-	-	0,33	0,0011

3	-	+	-	0,17	0,0016
4	+	+	+	0,21	0,0019

1. Расчет коэффициентов:

$$b_0 = \frac{1}{4}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) = \frac{0,25 + 0,33 + 0,17 + 0,21}{4} = 0,24$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) = \frac{-0,25 + 0,33 - 0,17 + 0,21}{4} = 0,03$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) = \frac{-0,25 - 0,33 + 0,17 + 0,21}{4} = -0,05$$

$$b_{12} = \frac{1}{4}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4) = \frac{0,25 - 0,33 - 0,17 + 0,21}{4} = -0,01$$

Модель: $y = 0,24 + 0,03X_1 - 0,05X_2 - 0,01X_1X_2$

2. Проверка значимости коэффициентов:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{n \cdot N} = \frac{0,24}{8 \cdot 4} = 0,0075$$

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}} = 0,087$$

$$t_{расч} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}} = \frac{0,03}{0,0064} = 4,69$$

$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент b_1 значим

$$t_{расч} = \frac{|-0,05|}{0,0064} = 7,81$$

$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент b_2 значим

$$t_{расч} = \frac{|-0,01|}{0,0064} = 1,56$$

$t_{расч} < t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент b_{12} не значим

Модель: $y = 0,24 + 0,03X_1 - 0,05X_2$

3. Проверка адекватности модели:

$$y_{1p}=0,26 \quad y_{2p}=0,32 \quad y_{3p}=0,16 \quad y_{4p}=0,22$$

$$S_{ад} = 8((0,25-0,26)^2 + (0,33-0,32)^2 + (0,17-0,16)^2 + (0,21-0,22)^2) = 0,0032$$

$$f_{a\delta} = N - p = 4 - 3 = 1$$

$$S_{a\delta}^2 = \frac{S_{a\delta}}{f_{a\delta}} = 0,0032$$

$$f_y = N(n-1) = 4 \cdot 7 = 28$$

$$F_{расч} = \frac{S_{a\delta}^2}{S^2\{y\}} = \frac{0,0032}{0,0014} = 2,89$$

$$F_{табл} = 250$$

$F_{расч} < F_{табл}$ модель адекватна

4. Уравнение в натуральном виде:

$$y = 0,24 + 0,03 \left(\frac{X_1 - 1,5}{0,5} \right) - 0,05 \left(\frac{X_2 - 4}{1} \right) =$$

$$= 0,24 + 0,06X_1 - 0,09 - 0,05X_2 + 0,2 = 0,35 + 0,06X_1 - 0,05X_2$$

3. Предел прочности на сжатие

Таблица 3. – Матрица базисных функций полного факторного плана для прочности

№ п/п	Значения формальных коэффициентов			Результаты опытов	Дисперсия $S^2\{y\}$
	X_1	X_2	X_1X_2		
1	-	-	+	18,52	1,38
2	+	-	-	25,39	10,34
3	-	+	-	8,3	2,85
4	+	+	+	11,01	9,41

1. Расчет коэффициентов:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) = \frac{18,52 + 25,39 + 8,3 + 11,01}{4} = 15,805$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{4}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) = \frac{-18,52 + 25,39 - 8,3 + 11,01}{4} = 2,395$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{4}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) = \frac{-18,52 - 25,39 + 8,3 + 11,01}{4} = -6,15$$

$$\epsilon_{12} = \frac{1}{4}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4) = \frac{18,52 - 25,39 - 8,3 + 11,01}{4} = -1,04$$

Модель: $y = 15,805 + 2,995X_1 - 6,15X_2 - 1,04X_1X_2$

2. Проверка значимости коэффициентов:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{n \cdot N} = \frac{6,721}{8 \cdot 4} = 0,21$$

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}} = 0,46$$

$$t_{расч} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}} = \frac{2,395}{0,46} = 5,21$$

$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент ϵ_1 значим

$$t_{расч} = \frac{|-6,15|}{0,46} = 13,37$$

$t_{расч} > t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент ϵ_2 значим

$$t_{расч} = \frac{|-1,04|}{0,46} = 2,26$$

$t_{расч} < t_{табл} \Rightarrow$ коэффициент ϵ_{12} не значим

Модель: $y = 15,805 + 2,395X_1 - 6,15X_2$

3. Проверка адекватности модели:

$$y_{1p} = 19,56 \quad y_{2p} = 24,95 \quad y_{3p} = 7,26 \quad y_{4p} = 12,05$$

$$S_{ад} = 8((18,25 - 19,56)^2 + (25,39 - 24,35)^2 + (8,3 - 7,26)^2 + (11,01 - 12,05)^2) = 34,61$$

$$f_{ад} = N - p = 4 - 3 = 1$$

$$S_{ад}^2 = \frac{S_{ад}}{f_{ад}} = 34,61$$

$$f_y = N(n - 1) = 4 \cdot 7 = 28$$

$$F_{ад} = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}} = \frac{34,61}{6,721} = 5,15$$

$$F_{табл} = 250$$

$F_{расч} < F_{табл}$ модель адекватна

4. Уравнение в натуральном виде:

$$y = 15,805 + 2,995 \left(\frac{X_1 - 1,5}{0,5} \right) - 6,15 \left(\frac{X_2 - 4}{1} \right) =$$

$$= 15,805 + 4,79X_1 - 7,185 - 6,15X_2 + 24,60 = 33,22 + 4,79X_1 - 6,15X_2$$

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 122746

**ТРУБА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ
ПРЕГРАДЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Марийский государственный технический университет (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012122952

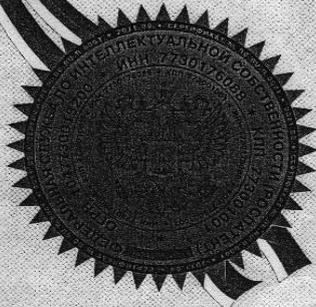
Приоритет полезной модели 04 июня 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 декабря 2012 г.

Срок действия патента истекает 04 июня 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **122 746** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
F16L 59/02 (2006.01)**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012122952/28, 04.06.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.06.2012

(45) Опубликовано: 10.12.2012 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл, г.Йошкар-
Ола, пр. Ленина, 3, ФГБОУ ВПО Марийский
государственный технический университет,
отдел интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Горинов Юрий Аркадьевич (RU),
Чемоданов Александр Николаевич (RU),
Алибеков Сергей Якубович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования Марийский
государственный технический
университет (RU)

(54) ТРУБА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕГРАДЫ

(57) Формула полезной модели

Труба централизованного теплоснабжения для сооружения переходов через водные преграды, включающая покрытую антикоррозионным материалом рабочую стальную трубу, теплоизоляционно-балластный слой, внешнюю защитную полиэтиленовую оболочку, центрирующие стойки, сигнальные провода системы оперативного дистанционного контроля, отличающаяся тем, что в качестве теплоизоляционно-балластного материала использован арболит, обладающий нормируемым сопротивлением теплопередаче и балластным свойством, необходимым для обеспечения отрицательной плавучести конструкции.

RU 1 2 2 7 4 6 U 1

RU 1 2 2 7 4 6 U 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2544194

КОМПОЗИТНЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-
БАЛЛАСТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ
ОТХОДОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный технологический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014103401

Приоритет изобретения 31 января 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 05 февраля 2015 г.

Срок действия патента истекает 31 января 2034 г.

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 544 194** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
C04B 18/26 (2006.01)
C04B 28/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014103401/03, 31.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.01.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.01.2014

(45) Опубликовано: 10.03.2015 Бюл. № 7

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2399828 C2 (СВЕЧКОПАЛОВ
А.П.), 20.09.2010 . RU 2455553 C1
(СВЕЧКОПАЛОВ А.П.), 10.07.2012 . RU
2437020 C1 (СВЕЧКОПАЛОВ А.П.),
20.12.2011. WO 1998001402 A1 (ТОМА I),
15.01.1998 .

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл, г.Йошкар-Ола,
пл. Ленина, 3, ФГБОУ ВПО "Поволжский
государственный технологический университет",
отдел интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Чемоданов Александр Николаевич (RU),
Горинов Юрий Аркадьевич (RU),
Сафин Рушан Гареевич (RU),
Алибеков Сергей Якубович (RU),
Гайнуллина Ренат Харисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Поволжский государственный
технологический университет" (RU)(54) КОМПОЗИТНЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-БАЛЛАСТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ
ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области
строительства, в частности к материалам на
основе отходов деревообработки, и может быть
использовано для тепловой изоляции и
баллаستировки подводных тепловодов.
Технический результат заключается в повышении
прочности, снижении коэффициента
теплопроводности, плотности. Композитныйматериал содержит цемент, наполнитель, воду и
дополнительно наполнитель. При этом в качестве
наполнителя использована баритовая руда с
размером частиц от 0,01 до 160 мкм, наполнителя
- древесная стружка размером частиц от 0,5 до 20
мм при следующем соотношении компонентов,
мас. %: цемент - 17-25, баритовая руда - 35-56,
древесная стружка - 6-12, вода - 20-30. 1 табл.

RU 2 544 194 C 1

RU 2 544 194 C 1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 544 194** ⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
C04B 18/26 (2006.01)
C04B 28/02 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014103401/03, 31.01.2014

(24) Effective date for property rights:
31.01.2014

Priority:

(22) Date of filing: 31.01.2014

(45) Date of publication: 10.03.2015 Bull. № 7

Mail address:

424000, Respublika Marij Ehl, g. Joshkar-Ola, pl.
Lenina, 3, FGBOU VPO "Povolzhskij
gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet", otdel
intellektual'noj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Chemodanov Aleksandr Nikolaevich (RU),
Gorinov Jurij Arkad'evich (RU),
Safin Rushan Gareevich (RU),
Alibekov Sergej Jakubovich (RU),
Gajnullina Renat Kharisovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Povolzhskij
gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet"
(RU)(54) **COMPOSITE HEAT INSULATION-BALLAST MATERIAL BASED ON WOOD WASTES**

(57) Abstract:

FIELD: construction.

SUBSTANCE: composite material contains cement,
filler, water and additionally a filler. At the same time
the filler is barite ore with particle size from 0.01 to
160 mcm, filler - wood chips with particle size from
0.5 to 20 mm at the following ratio of components, wt%: cement - 17-25, barite ore - 35-56, wood chips - 6-
12, water - 20-30.EFFECT: increased strength, reduced coefficient of
heat conductivity, density.

1 tbl

R U 2 5 4 4 1 9 4 C 1

R U 2 5 4 4 1 9 4 C 1

RU 2 544 194 C1

Изобретение относится к области строительства, в частности к материалам, произведенным на основе отходов деревообработки, и может быть использовано для тепловой изоляции и балластировки подводных теплопроводов. Подводная трубопроводная конструкция должна обладать отрицательной плавучестью, прочностью и иметь тепловую изоляцию для снижения потерь транспортируемой тепловой энергии.

Известен теплоизоляционный материал, получаемый путем смешения предварительно обработанного раствором древесного заполнителя, портландцемента, добавки и воды с последующим формованием и твердением, в котором в качестве древесного заполнителя берут технологическую щепу, в качестве раствора для обработки заполнителя используют 30%-ный раствор стекла натриевого в количестве 10% от массы древесного заполнителя, в качестве связующего берут цемент на основе портландцементного клинкера с пределом прочности 40 МПа, предварительно смешанного с добавкой, в качестве которой берут хлорид кальция в порошкообразном состоянии с массовой долей хлористого кальция не менее 90% и в количестве 2% от массы портландцемента, после смешения компонентов с водой в смесь дополнительно вводят техническую пену из водного раствора гидролизата протеинов 1%-ной концентрации (Патент №2493136 РФ, МПК C04B 40/00, C04B 18/26, C04B 20/00. Способ получения теплоизоляционного материала / Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Р., Сафин Р.Г. и др. №2012107547/03; Заявл. 28.02.2012; Опубл. 20.09.2013). Коэффициент теплопроводности материала от 0,142 до 0,153 Вт/(м²*°С), плотность от 305 до 326 кг/м³.

Недостатками данного материала являются большое количество компонентов и их дороговизна, а также низкая плотность, вследствие чего его применение в подводной прокладке трубопроводов усложняет конструкцию, т.к. требует дополнительную балластировку от всплытия.

Наиболее близким по технической сущности является балластный материал, который содержит цемент, заполнитель и воду. При этом в качестве заполнителя он содержит баритовую руду следующих фракций: крупной фракции с размером зерен свыше 5 мм до 25 мм, мелкой фракции с размером зерен свыше 0,16 мм до 5 мм, очень мелкой фракции с размером частиц от 0,01 мкм до 160 мкм. Дополнительно заявляемый балластный материал содержит пластификатор, а именно поликарбоацетил (Патент №2399828 РФ, МПК F16L 58/06, C04B 28/00, C04B 111/20. Балластный материал / Свечкопалов А.П., Шапорин И.И. №2008127272/03; Заявл. 07.07.2008; Опубл. 20.09.2010).

Недостатком данного материала является невозможность его применения в качестве теплоизолятора. Заявленный материал имеет плотность более 3060 кг/м³, следовательно входит в группу тяжелых бетонов. У материалов, входящих в эту группу, коэффициент теплопроводности превышает 1,35 Вт/(м²*°С). По этому показателю, применение таких материалов в качестве теплоизолирующих материалов теплопроводов технико-экономически не оправдано.

Целью изобретения является создание композитного теплоизоляционно-балластного материала с применением отходов деревообработки, обладающего низкой теплопроводностью, отрицательной плавучестью, высокой прочностью, а именно следующими физико-механическими свойствами: коэффициент теплопроводности не выше 0,17 Вт/(м²*°С), плотность не менее 1000 кг/м³, прочность на сжатие по истечении 28 суток не менее 5 МПа.

Указанная цель достигается тем, что заявляемый материал содержит цемент, заполнитель, воду и дополнительно наполнитель. При этом в качестве заполнителя

RU 2 544 194 C1

использована баритовая руда с размером частиц от 0,01 до 160 мкм, наполнителя - древесная стружка с размером частиц от 0,5 до 20 мм при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Цемент - 17-25

5 Баритовая руда - 35-56

Древесная стружка - 6-12

Вода - 20-30.

Предлагаемый композитный материал на основе отходов деревообработки позволяет использовать его для подводных теплопроводов в качестве тепловой изоляции и балласта одновременно.

В патентной и научно-технической литературе предложенного состава материала с указанными свойствами и показателями не обнаружено.

С целью осуществления процесса заполнения кольцевого пространства пластичность материала обеспечивается отношением воды к древесной стружке в пределах 2,5-3,5 и размером фракции баритовой руды 0,01 до 160 мкм.

Для обеспечения монолитности материала размер фракций наполнителя должен находиться в интервале 0,5-20 мм.

Примеры составов материала и его характеристики представлены в таблице.

В качестве цемента использован портландцемент марки М400.

20 Определение средней плотности смесей, коэффициентов теплопроводности и прочности, представленных в таблице, выполнено в соответствии с ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 25380-82 и ГОСТ 10180-90.

Результаты натуральных экспериментов, отображенные в таблице, показывают преимущества свойств предлагаемого материала по изобретению.

25

Таблица

№	Состав композита, г/мас. %		Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·°С)	Предел прочности при сжатии, МПа
30	Компоненты		1433,852	0,248	18,52
	портландцемент	1201/25			
	барит	1881/39			
	древесная стружка	384/8			
	вода	1400/28			
35	Компоненты		1718,593	0,330	25,51
	портландцемент	1201/18			
	барит	3762/56			
	древесная стружка	384/6			
	вода	1400/20			
40	Компоненты		1090,593	0,17	8,3
	портландцемент	1201/23			
	барит	1881/35			
	древесная стружка	640/12			
	вода	1600/30			
45	Компоненты		1412,148	0,21	11,01
	портландцемент	1201/17			
	барит	3762/52			
	древесная стружка	640/9			
	вода	1600/22			
5	Прототип		3060-3400	Нет данных	56-75
	портландцемент	12-17			
	поликарбоацетил	0,2-0,3			
	трибутилофосфат	0,0015			
	вода	4-10			

RU 2 544 194 C1

барит	остальное			
-------	-----------	--	--	--

Формула изобретения

Композитный теплоизоляционно-балластный материал на основе древесных отходов,
5 содержащий цемент, наполнитель и воду, отличающийся тем, что он содержит в качестве
заполнителя баритовую руду с размером частиц от 0,01 до 160 мкм и дополнительно
наполнитель - древесную стружку с размером частиц от 0,5 до 20 мм при следующем
соотношении компонентов, мас. %:

10	Цемент	17-25
	Баритовая руда	35-56
	Древесная стружка	6-12
	Вода	20-30

15

20

25

30

35

40

45

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132895

**ДЕТЕКТОР СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
ИЗОЛЯЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОВОЙ
ЭНЕРГИИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный технологический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013119276

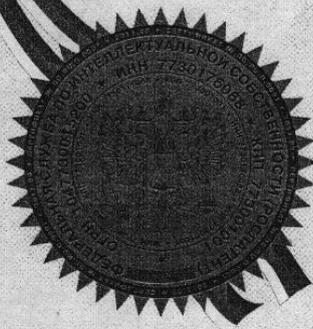
Приоритет полезной модели 25 апреля 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 25 апреля 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **132 895** ⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
G01N 27/10 (2006.01)**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013119276/28, 25.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.04.2013

(45) Опубликовано: 27.09.2013 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-
Ола, пл. Ленина, 3, ФГБОУ ВПО
"Поволжский государственный
технологический университет", отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Горинов Юрий Аркадьевич (RU),
Чемоданов Александр Степанович (RU),
Алибеков Сергей Якубович (RU),
Сафин Рушан Гареевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Поволжский государственный
технологический университет" (RU)

**(54) ДЕТЕКТОР СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

(57) Формула полезной модели

Детектор системы оперативного дистанционного контроля состояния изоляции предварительно изолированных трубопроводов транспортировки тепловой энергии, содержащий корпус, устройство измерения электрического сопротивления теплоизоляционного материала, контроллер, GSM-модем, вторичный блок питания, отличающийся тем, что детектор дополнительно оснащен формирователем одиночного импульса, электронные компоненты устройства смонтированы на одной печатной плате, корпус выполнен в антивандальном исполнении, предотвращающим несанкционированное вмешательство в работу устройства.

RU
132895
U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 136518

**КОНСТРУКЦИЯ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный технологический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012149976

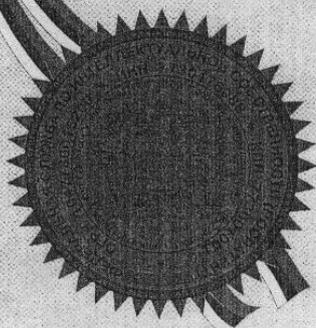
Приоритет полезной модели **22 ноября 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 января 2014 г.**

Срок действия патента истекает **22 ноября 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **136 518** ⁽¹³⁾ **U1**
 (51) МПК
F16L 1/16 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012149976/06, 22.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 22.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.11.2012

(45) Опубликовано: 10.01.2014 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл, г.Йошкар-Ола,
 пл. Ленина, 3, ФГБОУ ВПО "Поволжский
 государственный технологический университет",
 отдел интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Горинев Юрий Аркадьевич (RU),
 Чемоданов Александр Николаевич (RU),
 Алибеков Сергей Якубович (RU),
 Сафин Рушан Гареевич (RU)

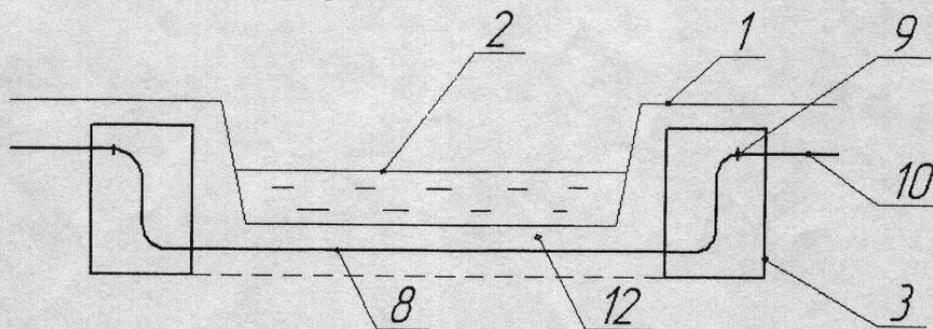
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Поволжский государственный
 технологический университет" (RU)

(54) КОНСТРУКЦИЯ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

(57) Формула полезной модели

Конструкция подводного трубопровода централизованного теплоснабжения, включающая плеть трубопровода, размещенную в подводной траншее и закрепленную в проектном положении, отличающаяся тем, что плеть трубопровода выполнена П-образной формы из стальных труб с теплоизоляционно-балластным покрытием и с заглушками на концах внешней защитной полиэтиленовой оболочки, присоединена фланцами к трубопроводам подземной тепловой сети и закреплена с помощью береговых железобетонных конструкций, состоящих из основания с ложементом, трех со стороны берега стенок с роликовыми направляющими, четвертой со стороны водоема стенки и съемной плиты перекрытия с люками.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132895

**ДЕТЕКТОР СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО
ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
ИЗОЛЯЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОВОЙ
ЭНЕРГИИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный технологический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013119276

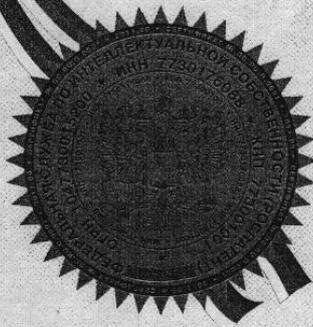
Приоритет полезной модели 25 апреля 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 25 апреля 2023 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**Статус: не действует (последнее изменение статуса: 27.04.2017)
Пошлина: учтена за 1 год с 25.04.2013 по 25.04.2014(21)(22) Заявка: **2013119276/28**, 25.04.2013(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **25.04.2013**(45) Опубликовано: **27.09.2013** Бюл. № 27

Адрес для переписки:

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3, ФГБОУ ВПО "Поволжский государственный технологический университет", отдел интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

**Горинов Юрий Аркадьевич (RU),
Чемоданов Александр Степанович (RU),
Алибеков Сергей Якубович (RU),
Сафин Рушан Гареевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Поволжский государственный технологический университет" (RU)**(54) ДЕТЕКТОР СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к теплоэнергетической отрасли и может быть использована для дистанционного мониторинга в системе транспорта и распределения тепловой энергии - тепловых сетях, выполненных из стальных труб с заводской тепловой изоляцией в защитной оболочке. Техническим результатом настоящей полезной модели является упрощение и удешевление системы оперативного дистанционного контроля (СОДК), исключение коммутационных связей между составляющими блоками, снижение эксплуатационных затрат на контроль состояния теплоизоляции трубопроводов, обеспечение возможности установки приборов в общественных местах. Технический результат достигается тем, что предлагаемое техническое устройство состоит из корпуса в антивандальном исполнении, электронного блока диагностики и трансляции состояния изоляции и сигнальных проводов СОДК, выполненного на одной печатной плате, включающий в себя устройство измерения электрического сопротивления тепловой изоляции, контроллер, формирователь одиночного импульса, GSM-модем, внутренней GSM-антенны, вторичного блока питания. Связь с диспетчерским пунктом инициализируется в виде одиночного аварийного сигнала, только при возникновении хотя бы одного из следующих событий: снижение сопротивления изоляции $R_{из} < 1 \text{ МОм}$, обрыв сигнальных проводов $R_{из} > 200 \text{ Ом}$, намокание изоляции (или контакт провода с металлической трубой) $R_{из} < 5 \text{ кОм}$. 1 ил.



**Акционерное общество
«Марийскгражданпроект -
Базовый территориальный проектный институт»**

ИНН 1215128330, КПП 121501001, ОГРН 1081215000789, ОКВЭД 71.11.1, ОКПО 04010372
Филиал Банка ВТБ (ПАО) в г. Нижнем Новгороде г. Нижний Новгород, р/с 40702810707240004471, к/с 30101810200000000837, БИК 042202837
424002, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, б-р Победы, 5, тел. (8362) 42-05-61, 42-05-11, факс (8362) 42-05-51, E-mail: mail@mgp-bpi.ru

На ваш № _____ от _____

« 28 » 11 2019г.

При ответе сослаться на №: 1142

АКТ

принятия к внедрению результатов диссертационного исследования

Горина Юрия Аркадьевича

на тему «Повышение эффективности систем теплоснабжения
бесканальной подводной прокладкой теплопроводов»

Настоящим актом подтверждается, что положения и результаты диссертационного исследования приняты к внедрению в проектную деятельность АО «Марийскгражданпроект».

Использование результатов диссертационного исследования в практике проектирования, строительства объектов инженерного обеспечения населенных пунктов позволяет снизить капитальные затраты на сооружение по сравнению с существующими способами прокладки трубопроводов.

Главный инженер
АО «Марийскгражданпроект»



А. Я. Черваков



ООО «МТсК»

Общество с ограниченной ответственностью
«Марийская Теплосетевая Компания»

Общество с ограниченной
ответственностью «Марийская
Теплосетевая Компания»
424006, Республика Марий Эл,
г. Йошкар-Ола, ул. Строителей,
дом 101 помещение 3
телефон: +7 (8362) 23-24-24
email: mtsc@mtsc12.ru

ИНН: 1215165477
ОГРН: 1121215005251
р/с 40702810500450000032
АО КБ "ХЛЫНОВ" Г. КИРОВ
к/с 30101810100000000711
БИК 043304711

исх. № 235 от 29.11.2019

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор



ООО «МТсК»

И.В. Кулалаев

2019 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы

Горина Юрия Аркадьевича

Составлен комиссией:

Председатель Главный инженер ООО «МТсК», к.т.н. Яндалеев С.А.
Начальник ПТО ООО «МТсК» Кузнецов А.А.
Заместитель начальника ПТО «МТсК» Ершов И.П.

Результаты диссертационной работы «Повышение эффективности систем теплоснабжения бесканальной подводной прокладкой теплопроводов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, приняты к внедрению в производственную деятельность ООО «МТсК». Новый способ пересечения водных преград расширяет варианты сооружения тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения. Экономические расчеты показывают целесообразность применения разработанных трубопроводных конструкций в действующих системах транспорта теплоносителей для повышения их эффективности.

Председатель

Члены комиссии

С.А.Яндалеев

А.А.Кузнецов

И.П. Ершов

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора
по образовательной деятельности
ФГБОУ ВО «Поволжский
государственный технологический



Е. Шибашев

2019 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс научных результатов,
полученных Горинным Юрием Аркадьевичем при подготовке
кандидатской диссертационной работы
«Повышение эффективности систем теплоснабжения бесканальной подводной
прокладкой теплопроводов»

Настоящим актом подтверждается, что результаты кандидатской диссертационной работы Горина Юрия Аркадьевича «Повышение эффективности систем теплоснабжения бесканальной подводной прокладкой теплопроводов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» на кафедре Энергообеспечения предприятий в течение 2018 – 2019 учебного года.

Включены в курсы по дисциплинам «Источники и системы теплоснабжения», «Трубопроводы и арматура. Надежность систем теплоснабжения» при подготовке бакалавров, по направлению 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») и в курс «Теплофикация, когенерация и централизованное тепло-, электроснабжение» при подготовке магистров по направлению 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Технология производства электрической и тепловой энергии») следующие разработки и научные результаты:

- теоретические и практические основы использования трубной конструкции с применением композиционного теплоизоляционно-балластного материала для транспортировки теплоты и теплоносителей в энергетических системах при сооружении бесканальных подводных переходов;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств композиционного теплоизоляционно-балластного материала и трубной конструкции;
- патент на изобретение №2544194 «Композиционный теплоизоляционно-балластный материал на основе древесных отходов»;
- патент на полезную модель №122746 «Труба централизованного теплоснабжения для сооружения переходов через водные преграды».

Заведующий кафедрой
Энергообеспечения предприятий
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет», к.т.н., доц.

Медяков А. А.