

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
 Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
 Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Численный анализ тепловых потерь теплопроводов при применении сверхтонкой тепловой изоляции

УДК 687.34:621.643:697.1.061.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Алимов Денис Шожевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Половников Вячеслав Юрьевич	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова С.Н.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ

Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТПТ

Кузнецов Г.В.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группы	ФИО
5Б2Б	Алимову Денису Шожевичу

Тема работы:

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРХТОНКОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№2540/с от 01.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13 июня 2016 г.
--	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования - слой тепловой изоляции теплопроводов с применением сверхтонкого теплоизоляционного материала. Предмет исследования – тепловые потери изолированного теплопровода.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и анализ научных статей по направлению исследования с целью выяснения достижений в рассматриваемой области. Решается двумерная стационарная задача теплопроводности. Проведение сопоставления полученных результатов анализа с экспериментальными данными.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
Основной раздел	Половников Вячеслав Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	29.02.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Половников В.Ю.	К.Т.Н.		29.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Алимов Д.Ш.		29.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 4 рис., 21 табл., 32 источника.

Ключевые слова: тепловые потери трубопроводов, тонкопленочная теплоизоляция, сверхтонкая теплоизоляция, математическое моделирование, микросферы, изоляционный материал.

Объектом исследования является слой тепловой изоляции трубопровода толщиной 0,33 мм, с применением сверхтонкого теплоизоляционного материала содержащего микросферы диаметром 50 мкм.

Цель работы – моделирование теплопереноса в слое тонкопленочной тепловой изоляции с учетом влияния теплофизических характеристик различных материалов составляющих слой теплоизоляции.

В процессе исследования проводилось моделирование тепловых режимов слоя изоляции, с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics.

В результате исследования были установлены величины тепловых потерь с учетом использования различных материалов при производстве теплоизоляционного материала.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: сверхтонкая теплоизоляция предназначена для сокращения тепловых потерь трубопроводов и промышленного оборудования.

Область применения: система теплоснабжения, тепломасообменное оборудование.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	Ошибка! Закладка не определена.
1.1. Новые виды тепловой изоляции ..	Ошибка! Закладка не определена.
1.2. Выбор тепловой изоляции трубопроводов	Ошибка! Закладка не определена.
2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ	
Ошибка! Закладка не определена.	
2.1. Методика расчета.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Определение толщины теплоизоляционного слоя по нормированной плотности теплового потока	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Расчетные формулы стационарной теплопередачи в теплоизоляционных конструкциях	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока	Ошибка! Закладка не определена.
3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Общая физическая постановка задачи.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Математическая модель	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Метод решения	Ошибка! Закладка не определена.
4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ТЕПЛОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Исходные данные	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Результаты численного анализа	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Суть глобальной проблемы, стоящей перед современной человеческой цивилизацией – противоречие между все возрастающими потребностями человечества в ресурсах и уменьшением их запасов. При этом прежде всего имеются в виду минеральные и энергетические ресурсы.

Извлечение полезных ископаемых из мировых недр возрастает в геометрической прогрессии. Например, за четверть века (с 1961 по 1985 г.) нефти и природного газа было потреблено примерно 80% общего объема их использования за всю историю человечества; половина всего каменного угля и железной руды, добытых за последние 100 лет, была использована после 1960 г [1].

Дать определенную информацию о запасах полезных ископаемых трудно, так как разведанные запасы год от года пополняются.

Мировой энергетический кризис 1970-х годов впервые заставил человечество задуматься, насколько рационально расходуются ископаемые виды углеводородосодержащего топлива, прежде всего нефти, а также оценить запасы минеральных ресурсов.

Энергосбережение в России как профессиональная отрасль до конца девяностых годов XX века находилась в зачаточном состоянии. В советский период тема рационального и бережного отношения к энергоресурсам существовала лишь на уровне государственной социальной рекламы (пропаганды). Когда СССР распался, Россия, как и многие другие страны

СНГ, оказалась перед серьезной проблемой отсутствия реально работающих моделей энергосбережения.

На сегодня для нашей страны механизм взаимодействия энергосервисных компаний с энергетическими еще недостаточно проработан. Хотя энергосбережение — актуальнейшая тема современности, рынок услуг энергосервиса развит слабо. Настоящих специалистов в этой сфере еще недостаточно, а немногие профессиональные отечественные ЭСКО действуют, преимущественно, в центральной части страны.

Основные проблемы отечественного энергосбережения лежат в двух плоскостях: законодательной и профессиональной. Существующие федеральные и региональные, муниципальные программы оставляют желать лучшего, поскольку, зачастую переписаны с аналогичных документов прошлых периодов, составленных еще до принятия закона №261-ФЗ от 2009 г.

Требуется скорейшая разработка нормативных актов, способных реально регулировать вопросы энергосбережения и отношения между ЭСКО и энергетическими компаниями.

С другой стороны, необходимы серьезные исследования в области адаптации западных моделей энергосервиса на российском рынке, разработка собственных технологий энергосбережения, ориентированных на особенности отечественных промышленных и жилых объектов, существующих в конкретных климатических условиях России. Огромную роль имеет обучение энергоаудиторов и развитие системы энергоменеджмента.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Одной из актуальных проблем современной энергетики является потеря тепловой энергии при транспортировке теплоносителя от источника до потребителя [2]. Статистика утверждает, что потери достигают значений в 35 – 50%. Например, по оценкам концерна Dalkia, средние потери в российских тепловых сетях колеблются от 22 до 35%, а на отдельных участках достигают 40 – 50%, тогда как потери тепла в тепловых сетях систем централизованного теплоснабжения европейских городов составляют всего 8 – 12%. Подвесные теплоизоляционные конструкции теплопроводов с минераловатным утеплителем эксплуатируются приблизительно в 65% российских тепловых сетей. Около 8% приходится на стекловатные покрытия, и еще около 20% - это теплоизоляционные конструкции на основе пенополистерола и других пенопластов. Как показывает практика, применение теплоизоляции низкого качества и отсутствие систематического контроля, а также своевременного ремонта приводят к сверхнормативным потерям тепла при его передаче и распределении [3].

Вследствие чего стоит вопрос об исследовании и применении новых теплоизоляционных материалов, которые могли бы максимально сократить потери тепла при транспортировке. Также преимуществом таких материалов должны быть небольшие капитальные затраты [4].

В последнее время на рынке теплоизоляционных материалов появляется все больше товаров. При этом рекламируемые теплоизоляционные свойства новых продуктов на порядок опережают свойства традиционно используемых материалов. В настоящее время набирают популярность такие новые материалы как: маты и плиты из штапельного стекловолокна, данный продукт является аналогом таких широко известных на рынке теплоизоляционных материалов как «URSA» и «ISOVER», имеет такие заявленные производителем преимущества как: эффективная теплоизоляция (коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,034 \div 0,044 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), универсальность применения, гибкость и эластичность, легкость монтажа и трудозатрат; теплоизоляционные цилиндры из пенополиуретана, которые представляют собой полые скорлупы из пенополиуретана низкой плотности, используются для теплоизоляции трубопроводов отопления, холодного и горячего водоснабжения, а также для теплоизоляции производственных трубопроводов, заявленный коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,028 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; базальтовая теплоизоляция, изготавливаемая из базальтового волокна (плиты и маты) с гидробофизующими добавками, кашированные обкладочным материалом (крафт-бумага, алюминиевая фольга, стеклохолст), универсален для применения в различных отраслях промышленности, высокая теплоизоляционная способность ($\lambda = 0,041 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), ресурс работы базальтовых утеплителей до 5 раз выше, чем у традиционных аналогов минеральной и стекловаты; цилиндры минераловатные, изготовлены из минеральной ваты на основе базальтовых пород, могут применяться для изоляции труб любого назначения, теплопроводность не более $\lambda = 0,048 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; теплоизоляция из вспененного синтетического каучука, выпускается в виде труб и листов длиной до 2 м, преимуществами продукта является практически неограниченный срок службы, возможность использования в суровых климатических условиях и сложных эксплуатационных режимах из-за широкого диапазона рабочих температур (от -200 до $+175^\circ\text{C}$), превосходная паро- и водонепроницаемость,

что предохраняет от коррозии и образования конденсата, неизменность теплофизических свойств даже в условиях 100% влажности, высокая способность сохранения как тепла, так и холода ($\lambda = 0,034 \div 0,042 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) [5].

Еще один новый вид теплоизоляции – жидкая теплоизоляция, которую часто называют также – керамическая теплоизоляция или сверхтонкая теплоизоляция. Представляет собой теплоизоляционный материал, создаваемый с использованием микросфер и связующего вещества, в качестве которого используются акриловые полимеры. Известно также, что фирмы-производители используют в качестве наполнителя микросферы различного рода. В технических условиях и инструкциях по применению тонкопленочных теплоизоляционных материалов значение коэффициента теплопроводности колеблется в интервале от 0,001 до 0,45 $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ [6]. В рекламных материалах можно встретить следующую терминологию, применительно к микросферам: «керамические», «зольные», «силикатные», «стеклянные», «стеклошарики» и прочее. Микросферы отличаются природой происхождения. Условно их можно разделить на два типа. Первый тип – это микросферы, которые были получены в процессе сжигания измельченных частиц угля. Микросферы другого типа получают в процессе переохлаждения специально приготовленных расплавов стекла, так называемой фритты. Также различают толстостенные микросферы, толщина оболочки которых составляет 10% от диаметра, и тонкостенные. Недостатком тонкостенных микросфер является хрупкость и небольшая плотность. С другой стороны, за счет увеличения толщины микросферы снижается объем газовой фазы внутри микросферы, что приводит к снижению эффективности применения [7,8].

В подавляющем большинстве на российском рынке стеклянных микросфер представлены микросферы из боросиликатного стекла.

Стеклянные микросферы могут быть пустотелыми с воздухом или газовой фазой внутри или полнотелыми, так называемые стеклошарики.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

2.1 ОБЩАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается цилиндрический слой тонкопленочной тепловой изоляции. На внутренней и внешней поверхностях поддерживается постоянная температура. На рис.1 приведено схематичное изображение слоя тепловой изоляции.

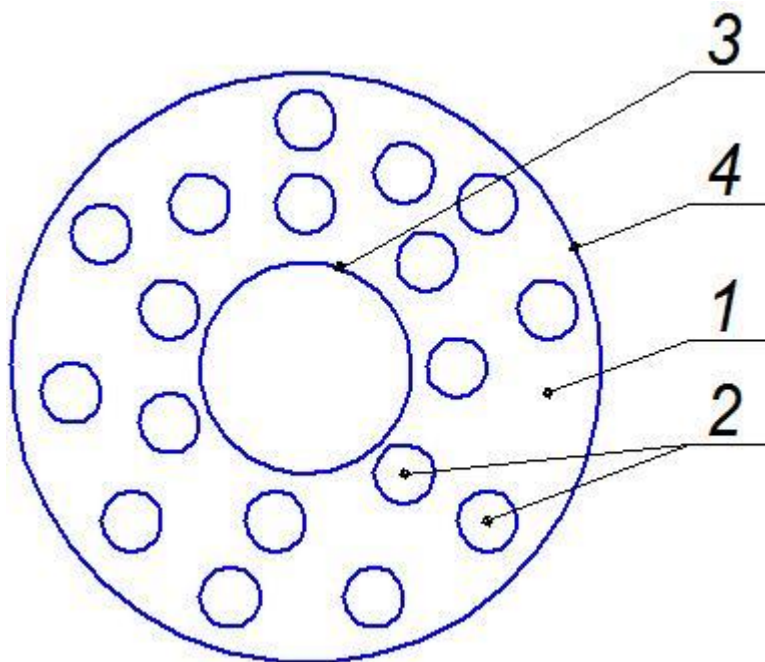


Рисунок 1 – Слой тепловой изоляции:

1 – связующее вещество; 2 – микросферы; 3 – внутренняя поверхность изоляции; 4 – внешняя поверхность изоляции.

При постановке задачи приняты следующие основные допущения:

2.2 Математическая модель

Для рассматриваемого случая решается двумерная стационарная задача теплопроводности. Процесс переноса тепла будет описываться следующими соотношениями:

$$\nabla^2 T_1 = 0, \quad (2.2.1)$$

$$\nabla^2 T_{2,i} = 0, \quad i = 1-n \quad (2.2.2)$$

На внутренней и внешней поверхностях слоя изоляции поддерживаются постоянные температуры:

$$T_1 = \text{const.} \quad (2.2.3)$$

$$T_2 = \text{const.} \quad (2.2.4)$$

На границах слоев «микросфера – связующее вещество» реализуется условия идеального теплового контакта:

$$\lambda_1 \text{grad}(T_1) = \lambda_2 \text{grad}(T_{2,i}); \quad T_1 = T_{2,i}, \quad (2.2.5)$$

Обозначения:

T – температура, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); n – количество микросфер, шт; 1 – связующее вещество; 2 – микросферы.

Поскольку задача является осесимметричной и на внутренней и внешней поверхностях выставлены граничные условия первого рода, то рассматривается 1/16 часть цилиндрического изоляционного слоя.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2Б	Алимов Денис Шожевич

Институт	Энергетический	Кафедра	теоретической и промышленной теплотехники
Уровень образования	бакалавриат	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов, амортизационные отчисления, заработная плата научного руководителя.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Экспертная оценка языков программирования</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление бюджета НИР</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Анализ критериев ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Алимов Денис Шожевич		

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время важность для успешного научного исследования имеет не только масштаб открытия, но и его коммерческая привлекательность.

Именно коммерческая ценность исследования – это главный показатель при привлечении средств финансирования и коммерциализации результатов исследования.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется превышением технических параметров над предыдущими разработками и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы: будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью работы является проектирование и создание конкурентоспособной разработки, технологии, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

- планирование научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Комплексный анализ научно-исследовательского проекта для исследования внутренней и внешней среды проекта.

Внутренние сильные стороны

- Применение численного моделирования позволит уменьшить затраты при разработке теплоизоляционных конструкций;
- Применение полученных результатов в отрасли теплоснабжения;
- Получения новых, неопубликованных результатов.

Внутренние слабые стороны

- Ограниченная целевая аудитория;
- Перспектива замены оборудования.

Внешние угрозы

- Появление конкурентов в области программных разработок;

Внешняя среда

Спрос, характер спроса

Данное исследование позволит увеличить эффективность использования тепловой энергии, позволит уменьшить расход топлива на источнике производства.

Конкуренты

Конкурентами являются теоретики в области моделирования тепловых процессов в трубопроводах с использованием новых видов тепловой изоляции.

Поставщики

Поставщиками программного обеспечения для написания программ и обработки результатов является компания Comsol.

Контактная аудитория

Результаты научного исследования будут полезны тем, кто имеет отношение к проектированию теплоизоляции систем теплоснабжения. А также,

компаниям, деятельность которых связана с тепломассообменным оборудованием.

Аудиторией влияния

Аудиторией влияния на программное обеспечение является администрация Томского Политехнического Университета.

Внутренняя среда

Продуктный продукт и его характеристики

Продукт представляет собой программное обеспечение, результатами работы, которой является построение поля различных термодинамических параметров, зависящих от температуры в любой заданный промежуток времени.

Обеспеченность, потребность в основных средствах

Основными средствами является ЭВМ.

Оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует

Для разработки качественного программного продукта, выбор среды моделирования является одним из важнейших шагов. Именно от этого выбора будет зависеть качество конечного продукта, быстрота работы и т.д. Поэтому произведем сравнительный анализ нескольких сред моделирования.

Формулируется задача: найти аналитическую модель аттестации языка программирования, основывающуюся на его характеристиках.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

1. Распространенность
2. Простота написания
3. Актуальность
4. Размер программного кода
5. Простота проверки ошибок кода

Эксперты оценили характеристики товаров по 10 - ти бальной шкале (10 - max). Далее они оценили важность каждого критерия по 5 бальной шкале (5 - max). Все данные представлены в таблицах 1 – 6.

Таблица 1 – Список языка программирования

№	Язык программирования
1	OpenFOAM
2	MDynaMix
3	Comsol
4	ANSYS

Таблица 2 – Оценка конкурентоспособности экспертом №1

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
OpenFOAM	6			25	75	8
MDynaMix	6		7		2	
Comsol		1,8			1,75	15
ANSYS	4	6	7	5	2	2
Важность (b_i) [1-5]					5	20
Вес (W_i)				5	5	-

Для каждого завода изготовителя в столбцах с факторами конкурентоспособности поставлены оценки от 1 до 10, показывающие степень удовлетворения потребностям заказчика.

b_i – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5 (5 – максимальная важность для заказчика).

– весовой коэффициент – в этой строке рассчитан весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме

Суммарный весовой коэффициент равен единице – значит расчёт произведён верно. Таким образом, весовой коэффициент W_i показывает долю важности каждого из факторов конкурентоспособности.

Таблица 3 – Оценка конкурентоспособности экспертом №2

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
OpenFOAM				25	75	
MDynaMix		8			2	2
Comsol					1,75	35
ANSYS				75	2	5
Важность (b_i) [1-5]	4	4	2	5	5	20
Вес (W_i)	0,2	0,2	0,1	0,25	0,25	-

Таблица 4 – Оценка конкурентоспособности экспертом № 3

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
OpenFOAM	6		7			17
MDynaMix	6			1,75	75	7,5
Comsol	6				1,75	15
ANSYS		6	7	75	2	01
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	5	20
Вес (W _i)	0,2	0,2	0,1	0,25	0,25	-

Таблица 5 – Оценка конкурентоспособности экспертом №4

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
OpenFOAM		6	7	25	75	6,94
MDynaMix	6	4		25	2	7,85
Comsol		8	7		1,75	05
ANSYS	8			2	2,25	8,45
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	5	20
Вес (W _i)	0,2	0,2	0,1	0,25	0,25	-

Таблица 6 – Итоговые экспертные оценки

Фирма производитель	Эксперт № 1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Средняя оценка
OpenFOAM	8	7,6	17		38
MDynaMix	8,1	8,2	7,5		7,91
Comsol	5	35	8,15	5	26
ANSYS	2	35	7,01		50

В итоге, по результатам четырех независимых экспертных оценок, самый худший результат получила программа Visual Basic, а высший средний бал по предоставленным критериям отбора получила среда моделирования Pascal.

Календарный план

Таблица 7 – Перечень работ с количеством необходимых дней

Код работы	Наименование работы	$t_{\min i}$, день	$t_{\max i}$, день	U, человек	$t_{\text{оцн}}$, день
а	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	1
б	Оформление технического задания	1	1	1	1
в	Подбор теоретической информации	4	8	1	5
г	Разработка программного обеспечения	3	4	1	5
д	Математическое моделирование	3	5	1	3
е	Проведение вычислений	4	5	1	3
ж	Анализ результатов	3	5	1	4
	Разработка экономической части				
з	SWOT - анализ	1	1	1	1
и	Экспертная оценка	1	1	1	1
к	Календарный план	1	1	1	1
л	Расчет стоимости	1	1	1	1
м	Анализ ресурсоэффективности	1	1	1	1
	Расчет БЖД				
н	Обеспечение пожарной безопасности	1	1	1	1
о	Обеспечение электро- безопасности	1	1	1	1
п	Обеспечение микроклимата рабочего места	1	1	1	1

р	Оформление	3	4	1	3
---	------------	---	---	---	---

№ рабо	Вид работ	Испол нител	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ
--------	-----------	-------------	----------	------------------------------------

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
	2	Оформление технического задания	Студент
Подбор и исследование ранее проведенных работ	3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент
Теоретические исследования	4	Разработка программного обеспечения	Студент
	5	Математическое моделирование	Студент
	6	Проведение вычислений	Студент
	7	Анализ результатов	Руководитель, студент
Разработка экономической части	8	SWOT - анализ	Студент
	9	Экспертная оценка	Студент
	10	Календарный план	Студент
	11	Расчет стоимости	Студент
	12	Анализ ресурсоэффективности	Студент
Расчет БЖД	13	Обеспечение пожарной безопасности	Студент
	14	Обеспечение электробезопасности	Студент
	15	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент
Оформление работы	16	Оформление	Студент

				Март						Апрель		
				1	2	3-9	10-15	16-21	22-31	1-11	12-17	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	1	+								
2	Оформление технического задания	Студент	1		+							
3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент	7			+						
4	Разработка программного обеспечения	Студент	6				+					
5	Математическое моделирование	Студент	6					+				
6	Проведение вычислений	Студент	10						+			
7	SWOT - анализ	Студент	1			+						
8	Экспертная оценка	Студент	1			+						
9	Календарный план	Студент	1				+					
10	Расчет стоимости	Студент	1						+			
11	Анализ ресурсоэффективности	Студент	1						+			
12	Обеспечение пожарной безопасности	Студент	1									+
13	Обеспечение электро-безопасности	Студент	1									+
14	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент	1									+
15	Анализ результатов	Студент	4							+		
16	Оформление	Студент	6									+

Таблица 9 – Календарный план
Смета проекта научного исследования

В таблице 10 представлено подробное описание расходов на материалы:

Таблица 10 – Расходы на материалы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	930
Заправка картриджа	шт	400	1	400
Электроэнергия	кВт·ч	2,05	56,6	116
Итого:				1 446

Таблица 11 – Канцтовары

Наименование:	Цена
Бумага	400
Ручки	80
Флешка	450
Итого:	930

Таблица 12 – Потребления электроэнергии

Источник потребления	Мощность, кВт/ч	Кол-во часов	Итого:
Персональный компьютер	0,2	250	40
Освещение	0,05	80	4
Принтер и МФУ	0,05	2	0,1
Итого:			44,1

Таблица 13 – Амортизация

Объект	Норма в год	Стоимость	Величина в год	Кол-во часов	Сумма в час	Время работы, ч.	Стоимость амортизации
Персональный компьютер	20	40000	8000	1800	4,44	250	1110
Принтер и МФУ	20	7000	1400	350	4,00	2	8,00
Итого:							1118

$$\text{Норма амортизации} = \frac{1}{\text{срок службы}} \cdot 100;$$

$$\text{Величина амортизации в год} = \frac{\text{Стоимость оборудования} \cdot \text{норма амортизации}}{100};$$

$$\text{Сумма амортизации в час} = \frac{\text{величина амортизации в год}}{\text{количество часов работы в год}};$$

$$\text{Стоимость амортизации} = \text{время работы} \cdot \text{сумма амортизации в час.}$$

Зарплата и отчисление на соц. нужды:

Оплата работы руководителя ВКР почасовая. Норма времени на руководство ВКР бакалавра составляет 22 часа. В соответствии с временным положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников, тариф на почасовую оплату работы доцента составляет 250 руб./час, значит расходы на оплату труда определяются как:

$$C_{з.п.} = 22 \cdot 250 = 5500 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды $S_{с.н.} = 5500 \cdot 0,3 = 1650 \text{ руб.}$

Суммарные затраты составят: $C_{сум.} = 5500 + 1650 = 7150 \text{ руб.}$

В итоге получим:

Таблица 14 – Смета проекта

Наименование	Единичные расчеты			Суммарные затраты			
	Материалы	Зарплата	Амортизация	Материалы	Зарплата и соц.отчисления	Амортизация	Сумма
Разработка программного обеспечения	1446	7150	-	1446	7150	1118	9714

Вывод по главе:

Определены этапы и трудоемкость работы, составлен линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени. Рассчитана смета затрат на научное исследование, таким образом, расходы на исследование составили $C = 9714 \text{ руб.}$

В результате проведения численного анализа тепловых потерь трубопровода с использованием тонкопленочных теплоизоляционных покрытий, был сделан вывод, наличие в конструкциях теплопроводов тепловых сетей теплоизоляции позволит минимизировать тепловые потери при их

эксплуатации. Следовательно, затраты на научное исследование будут оправданы.