

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
Моделирование термодинамических параметров метана в двухфазной области при изобарном течении потока в условиях нагрева или охлаждения

УДК 621.1.016.7:662.767.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Белая Анна Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова С.Н.	к.э.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.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как

	средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

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

Студент:

Группы	ФИО
5Б2Б	Белая Анна Викторовна

Тема работы:

**Моделирование термодинамических параметров метана в
двухфазной области при изобарном течении потока в
условиях нагрева или охлаждения**

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10.06.16

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

*(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.).*

Объект исследования – термодинамический метан.
Предмет исследования – моделирование
изобарного течения метана.

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>	Обзор и анализ литературы и научных публикаций по направлению исследования процессов тепло- и массообмена при изобарном течении потока в газотранспортном и теплообменном оборудовании с учетом реальных свойств рабочего тела. Формулирование физической и математической модели Верификация программы Проведение численного моделирования Анализ полученных результатов.
Перечень графического материала	20 слайдов
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна, доцент каф. МЕН
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич, доцент каф. ЭБЖ

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.02.2016
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н		26.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Белая Анна Викторовна		26.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 66 страницы, 11 рисунков, 18 таблиц, 40 источников.

Ключевые слова: численное исследование, тепломассообмен, теплообменник, реальное уравнение состояния, термодинамические свойства.

Объектом исследования является теплообменник для ожижения или регазации метана.

Целью работы является численное исследование процессов тепло- и массообмена при изобарном течении потока в газотранспортном и теплообменном оборудовании с учетом реальных свойств рабочего.

В результате исследования разработана программа, позволяющая провести математическое моделирование изобарного течения потока рабочего тела.

Область применения: хранение и транспортировка сжиженного природного газа.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, и редакторе формул MathType, для расчетов и выполнения графиков использовалась программы PascalABC, MicrosoftExcel 2010.

Оглавление

Введение.....	9
1 Обзор литературы.....	11
1.1 Общие принципы получения низких температур.....	11
1.2 Технологии производства, основные свойства, области применения сжиженного метана.....	12
1.3 Транспорт для доставки сжиженных природных газов.....	15
1.4 Моделирование процессов сжиженного газа.....	22
2 Математическое моделирование течения в газотранспортном оборудовании.....	25
2.1 Физическая постановка задачи.....	25
2.2 Математическая постановка задачи.....	26
3 Параметрическое исследование изобарного течения потока.....	29
3.1 Исследование течения метана в газообразном состоянии.....	29
3.2 Влияние количества теплоты на температуру течения метана.....	31
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	36
4.1 Факторы, оказывающие влияние на проект исследования.....	37
4.2 SWOT-анализ.....	38
4.3 Сравнительная экспертная оценка языков программирования.....	38
4.4 Календарный план проекта исследования.....	42
4.5 Бюджетный план на выполнение проекта исследования.....	45
5.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды.....	50
5.1.1 Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ.....	50
5.1.2 Освещение.....	53
5.1.3 Микроклимат помещения.....	55
5.1.4 Источники шума.....	56
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды.....	57
5.2.1 Электробезопасность при работе на ПЭВМ.....	57

5.2.2 Пожарная безопасность.....	58
5.2.3 Региональная безопасность.....	60
5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	61
5.4 Расчет искусственного освещения для помещения.....	62
5.5 Выводы.....	64
Заключение.....	65
Список использованных источников.....	66

Введение

В связи с увеличением общего объема производства энергии, который за последние 30 лет в мире увеличился на 60%, газовая промышленность получила огромное развитие [1]. В настоящее время процессы, связанные с ожижением и регазацией метана, достаточно востребованы в газовой отрасли, поэтому их изучение представляет значительный интерес. Сжиженные углеводородные газы занимают прочное место в обеспечении отдельных потребителей и целых регионов, являясь топливом с очень широким диапазоном применения: отопление бытовых и коммунальных помещений, сушка, резка и сварка металлов, топливо для двигателей внутреннего сгорания, тракторов, автомобилей, тепловозов, судов и даже самолётов. Широкое применение сжиженные газы получили в сельском хозяйстве и в качестве сырья для производства химических продуктов и синтетических материалов [1]. На фоне расширения объема использования сжиженных газов и роста числа потребителей этого газа, появляется необходимость решения многих технических проблем, связанных с производством, транспортом, хранением, распределением и использованием этих газов.

Трубопроводный транспорт является одним из главных способов доставки газа потребителям. Но существует ряд трудностей, которые не позволяют полностью обеспечить доставку газа от мест добычи потребителям, особенно, отдаленным от мест добычи. На сегодняшний момент существует альтернатива дорогостоящему трубопроводному способу доставки газа на дальние расстояния, представляющая собой комплексы, которые базируются на технологиях перевода газа в жидкость.

При проектировании аппаратов, использующих в качестве рабочего вещества метан, в технике глубокого холода нужны подробные и точные данные о его термических и калорических свойствах при низких температурах. Для расчета машин химических производств и

совершенствования технологических процессов переработки метана в связи с современными требованиями к их рабочим параметрам, вызванными стремлением к интенсификации химических реакций и тепломассообмена, необходимы данные о его термодинамических свойствах при высоких температурах и давлениях.

Цель работы заключается в проведении численного исследования процессов тепло- и массообмена при изобарном течении потока в газотранспортном и теплообменном оборудовании с учетом реальных свойств рабочего тела.

Научная новизна работы заключается в одновременном моделировании течения метана в широком диапазоне температур при учете уравнения состояния и реальных термодинамических свойств рабочего тела.

Практическая значимость заключается в том, что проведенные исследования позволяют найти наиболее оптимальные процессы и режимы при существенно более низких материальных и временных издержках.

1 Обзор литературы

1.1 Общие принципы получения низких температур

Процесс сжижения газа происходит при охлаждении его ниже критической температуры. При температурах выше критической температуры газ, ни при каком давлении не перейдет в жидкое состояние. Если процесс сжижения происходит при температуре, равной критической ($T=T_{кр}$), тогда давление его должно быть равно или больше критического ($P \geq P_{кр}$). При сжижении газа под давлением ниже критического ($P < P_{кр}$) температура газа должна быть ниже критической. Процесс, при котором газ охлаждается температурой до -100°C (173 K) называют умеренным, а ниже -100°C – глубоким.

Для получения жидких промышленных газов требуется глубокое охлаждение, которое может осуществляться двумя способами [2]:

1. Изоэнтальпийным расширением сжатого газа (энтальпия $i=\text{const}$), т.е. дросселированием. Данный способ основан на использовании эффекта Джоуля-Томсона, при этом поток газа не совершает какой-либо работы при дросселировании.

2. Изоэнтропийным расширением сжатого газа (энтропия $S=\text{const}$) с отдачей внешней работы. Во время процесса, получают дополнительное количество холода, так как работа расширения газа совершается за счет его внутренней энергии.

Первый способ используется только в аппаратах сжижения малой и средней производительности, в которых можно пренебречь некоторым перерасходом энергии, второй – в аппаратах большой производительности [3].

1.2 Технологии производства, основные свойства, области применения сжиженного метана

Природный газ, состоящий прежде всего из метана, охлаждается после очистки от примесей и сушки на мембранных установках до температуры конденсации ($-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), затем превращается в жидкость, называемую сжиженным природным газом (СПГ). Метан является простым углеводородом, содержащим один атом углерода и имеющий химическую формулу CH_4 . Очистка газа производится двумя основными методами(): адсорбционным и сепарационным. Первый предполагает использование в качестве адсорбента стабильного конденсата или различных фракций углеводородов. Второй метод более современен и эффективен и основан на отделении примесей при низких температурах. В начальной стадии процесса СПГ из газа выделяются легкокипящие углеводороды, наличие которых может привести в процессе сжижения к образованию твердой фазы и в последствии к закупориванию аппаратуры и арматуры установок. Для оптимального проведения процесса сжижения газ должен быть сжат до давления, близкого к критическому, обычно 4-5 МПа [1]. Если давление в подводящем трубопроводе ниже, газ предварительно сжимают, как правило, с помощью поршневыхгазомотокомпрессоров. Объем газа при сжижении уменьшается в 600 раз, что является одним из основных преимуществ этой технологии.

Для сжижения природного газа используют несколько разновидностей циклов сжижения. При крупном производстве СПГ наиболее эффективными являются циклы сжижения с использованием внешней холодильной установки, которая работает на углеводородных газах или азоте, при этом сжижается почти весь природный газ. Широкое распространение получили циклы на смесях хладагентов. Выбор холодильного цикла и технологической схемы установки сжижения производится в зависимости от назначения установки и ее

производительности, состава сжижаемого природного газа и его давления, требований, предъявляемых к продукции. Также при выборе какой-либо технологической схемы необходимо учитывать возможность применения того или иного типа оборудования.

Важнейший показатель термодинамического совершенства цикла – это величина удельного энергопотребления. Требования по составу газа также важны, поскольку во многом определяют, будет ли СПГ востребован на мировых рынках, будет ли он пригоден для поставки в различные терминалы, соответствуя требованиям по качеству.

На сегодняшний день в установках, предназначенных для сжижения природного газа, применяются технологические схемы, которые основываются на следующих основных циклах:

- холодильные циклы различных модификаций с дросселированием;
- детандерные холодильные циклы;
- каскадные холодильные циклы с чистыми хладагентами (классические каскадные циклы);
- однопоточные каскадные циклы с хладагентом, представляющим собой многокомпонентную смесь углеводородов и азота.

СПГ – это не конечный продукт, а способ транспортировки природного газа, альтернативный трубопроводному способу. Из всех используемых в настоящее время углеводородных источников энергии сжиженный природный газ является самым экологически чистым и безопасным, что открывает широкие перспективы его использования в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в жилищно-коммунальном хозяйстве. Используя СПГ для производства электроэнергии выбросов углекислого газа в атмосферу вдвое меньше, нежели при использовании угля. Из-за лучшей очистки при сжижении природного газа в его продуктах сгорания содержится меньшее количество окиси углерода и окиси азота, чем у природного газа. Одним из важнейших факторов оценки

экологических свойств энергоресурса является отсутствие серы в сжиженном природном газе.

Сжиженный природный газ, произведенный на заводе СПГ, подается по теплоизолированным трубопроводам в специальные резервуары для хранения –морские танкеры или цистерны для сухопутного транспорта. Данный вид транспорта позволяет доставлять газ в районы, находящиеся далеко от магистральных газопроводов, традиционно используемых для транспортировки обычного природного газа. Трубопроводы и танки имеют высокоэффективную теплоизоляцию для поддержания низкой температуры и сделаны из специальных криогенных материалов. Из танков-хранилищ через отгрузочный терминал СПГ подается на специально оборудованные танкеры СПГ. Танкеры доставляют СПГ на приемные или регазификационные терминалы, где он перегружается с танкеров в танки СПГ-терминала, хранится там и по мере надобности конвертируется в газообразное состояние перед подачей конечным потребителям.

В отличие от трубопроводного транспорта, требующий больших затрат и длительного времени для прокладки трубы и не обладающий гибкостью переориентации потоков, сжиженный метан обладает рядом преимуществ:

- возможность газификации объектов, которые располагаются далеко от магистральных газопроводов сетевого газа;
- возможность хранения под небольшим избыточным давлением при температуре около 112K;
- газ не токсичен;
- исключается возможность коррозии металлов;
- высокая калорийность по сравнению с другими видами топлива;
- низкая температура кипения, что гарантирует полное испарение СПГ при самых низких температурах окружающего воздуха;
- эффективность и удобство хранения, транспортировки и потребления;

- использование СПГ в качестве моторного топлива.

В настоящее время в России имеется надежная база и технические предпосылки для широкого использования СПГ в хозяйстве страны. Существует необходимость ускорения работ по использованию сжиженного природного газа, так как все крупнейшие месторождения природного газа в стране располагаются в удаленных районах, которые неблагоприятны для строительства транспортных трубопроводов, поэтому в данном случае целесообразно транспортировать газ в жидком состоянии. Этот факт обуславливает необходимость строительства заводов по производству сжиженного природного газа в местах перспективных месторождений.

1.3 Транспорт для доставки сжиженных природных газов

Сжиженные газы от заводов - поставщиков к потребителям или базам их приема, хранения и раздачи доставляются в сосудах, которые работают под давлением. Доставка газа представляет собой довольно сложный организационно-хозяйственный и технологический процесс, который включает транспортировку сжиженных газов на дальние расстояния, обработку газов, транспортировку на ближние расстояния непосредственно мелким потребителям.

Транспортировка СПГ может осуществляться следующими способами:

- транспортировка баллонов с СПГ по железной дороге в железнодорожных цистернах и крытых вагонах;
- транспортировка баллонов автотранспортом в автомобильных цистернах и автомобилях;
- транспортировка резервуаров и баллонов на специальных судах-танкерах или танкерах и баржах (морской или речной транспорт);
- транспортировка баллонов с СПГ авиатранспортом;
- по трубопроводам.

Способ транспортировки сжиженных природных газов необходимо выбирать, следуя основному принципу: стоимость перевозки единицы массы газа в заданных условиях должна быть минимальной. Сливные и наполнительные операции резко увеличивают стоимость перевозки, поэтому их число должно быть сведено к минимуму, этот факт необходимо учитывать при разработке схемы транспортировки, распределения и доставки сжиженных газов.

Перевозка сжиженного природного газа в железнодорожных вагонах-цистернах

В настоящее время опыт перевозки сжиженного природного газа в железнодорожных вагонах-цистернах ещё неизвестен. Однако железнодорожные перевозки СПГ обладают в определенных условиях большими преимуществами по сравнению с другими способами доставки для разнообразных сегментов газового рынка и возможностью доставки этого продукта от производителя к потребителю. При решении задач энергоснабжения и вопросов строительства новых газопроводов следует учитывать, что железнодорожная сеть уже существует и в данном случае не является объектом крупномасштабного инвестирования, в то время как стоимость прокладки магистральных газопроводов составляет порядка 2-4 млрд. долл. США на 1000 км. Вопросы организации движения и обеспечение безопасности железнодорожных перевозок СПГ можно считать в основном отработанными на примере организации перевозок сжиженных нефтяных газов. В качестве подвижного состава для железнодорожных перевозок природного газа в сжиженном виде могут быть использованы криогенные вагоны-цистерны производства «Уралвагонзавод» и «Уралкриогенмаш», способные перевозить СПГ объемом 100 м³. Участие железнодорожного транспорта СПГ представляет значительный интерес при поставках природного газа в сжиженном виде на экспорт.

Перевозка сжиженного природного газа в автоцистернах

Производство СПГ, особенно малотоннажного, потребовало решения вопроса его транспортировки к объектам потребителям в автоцистернах. Автодорожная сеть на сегодняшний день является более развитой, чем водная и железнодорожная, её пропускная способность обеспечивает высокий грузооборот, поэтому автомобильный транспорт обладает большей мобильностью. Современные проекты, которые реализуют малотоннажное производство СПГ, применяют для его транспортировки криогенные автоцистерны объемом 16-30 м³ и давлением перевозимого сжижаемого газа 0,7-1,6 МПа. Однако опыт эксплуатации показывает, что применение высокого рабочего давления в цистерне не целесообразно, так как снижается масса перевозимого продукта, существенно увеличивается вес автоцистерны, а, следовательно, и её стоимость. Поэтому наиболее оптимальным давлением, позволяющим осуществить выдачу продукта в принимающие резервуары СПГ без насоса, является давление 0,7-0,8 МПа.

Перевозка сжиженного природного газа танкерами

Данный способ перевозки является преимущественным видом транспорта СПГ. На сегодняшний день транспорт танкерами имеет достаточно широкое развитие. Современный танкер способен вмещать более 200 тыс. м³ перевозимого продукта.

Первые суда для транспортировки сжиженного природного газа были построены менее чем 40 лет назад, и на сегодняшний момент не был утилизирован ни один из газовозов. Все суда СПГ обладают двойным корпусом и теплоизолированными танками, содержащими природный газ в жидком состоянии при температуре -162⁰С и давлении, близком к атмосферному. Резервуары могут быть как сферического типа, так и призматического мембранного типа. Танки с сжиженным природным газом должны быть тщательно изолированы для предотвращения повышения температуры и испарения СПГ, и защиты металлических частей от влияния низкой температуры – это является общим требованием к конструкции.

Перевозка сжиженного природного газа авиатранспортом

В зимний период в северных районах возникает необходимость в перевозке сжиженного газа авиатранспортом из-за отсутствия тары и недостатка запасов газа в навигационный период у промышленных и бытовых потребителей. Перевозки СПГ осуществляются грузовыми самолетами, которые загружены баллонами, вместимость которых зависит от дальности полета и типа самолета. Авиатранспорт – самый дорогой из имеющихся видов транспорта сжиженных газов. Пути снижения стоимости авиатранспорта сжиженного газа лежат в использовании большегрузных самолетов и вертолетов, а также в применении специальных вертолетов, снабженных резервуарами, которые заполняют на газораздаточных станциях и опорожняют у отдаленного потребителя по принципу автогазовозов.

Транспортировка сжиженного природного газа по трубопроводам

В настоящее время перекачка сжиженного природного газа от пунктов производства до предприятий - потребителей по межзаводским газопроводам небольшой протяженности осуществляется преимущественно по трубопроводам. Транспортировка СПГ по газопроводам, особенно магистральным приобретает в последние годы все большее значение. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что трубопроводный транспорт СПГ практичен и в ряде случаев оказывается весьма экономически наиболее приемлемым, чем другие виды транспорта. Экономичность трубопроводного транспорта значительно возрастает с повышением степени полноты его использования, а это, в свою очередь, во многом зависит от наличия в районе приема газа мощных баз его хранения, как надземных, так и подземных.

Для транспортировки сжиженных газов по трубопроводам используются специальные трубопроводы, которые предназначены только для перекачивания сжиженных природных газов и уже существующие бензопроводы с периодическим, последовательным перекачиванием по ним сжиженных газов и бензинов.

Первый метод применяется, когда необходимо постоянно подавать большое количество сжиженных газов от места производства к месту погрузки в транспортные резервуары. Специальные трубопроводы целесообразно применять для перекачки большого количества сжиженных газов на большие расстояния (400-1000 км).

Важнейшим технологическим требованием при этом является поддержание такого давления в газопроводе, которое будет обеспечить предотвращение кипения в нем перекачиваемых сжиженных газов (чтобы давление не упало ниже их давления насыщенных паров при данных температурах). Если пренебречь этому требованию, то это может привести к образованию в газопроводе паровых пробок. Минимальное значение давления сжиженных газов в трубопроводе принимается, как правило, на 0,6-0,8 МПа больше давления насыщения. Требуемое давление на перекачивающих станциях и по всей трассе, как показывает опыт эксплуатации ряда трубопроводов, может надежно гарантировать автоматическая система контроля. Рассматривая проблемы транспортировки сжиженных газов по трубопроводам, необходимо уделять должное внимание мероприятиям, которые предотвращают гидратообразование, зависящее от содержания влаги в перекачиваемой жидкости и ее состава. Затруднения при эксплуатации, которые возникают в результате образования гидратов, усугубляются зимой при отрицательной температуре. К числу важнейших мер по борьбе с образованием гидратов в трубопроводах относят:

- прокладка трубопроводов ниже зоны промерзания грунта;
- оснащение устройством для ввода в трубопровод метанола в качестве антифриза;
- тщательная осушка сжиженных газов перед поступлением в магистраль.

По технологическим линиям установок СПГ транспортировка сжиженного природного газа производится непосредственно по трубопроводам. При этом требуется поддерживать сжиженный газ в трубе в

жидком состоянии, то есть, несмотря на потери напора и притока тепла, температура СПГ должна оставаться всегда ниже температуры кипения при данном давлении. Результаты исследований целесообразности транспорта СПГ по магистральным трубопроводам имеют достаточно противоречивый характер. Одни исследования показывают, что трубопроводы сжиженного природного могут конкурировать с обычными газопроводами, если их длина больше 160 км и они эксплуатируются при давлении 0,15-0,56 МПа в диапазоне температур от -84°C до -162°C . Другие исследования показывают, что в ближайшее время транспорт СПГ по магистральным трубопроводам представляется малоперспективным, учитывая высокие капиталовложения и расходы на эксплуатацию. Но, несмотря на всё это, вопрос обеспечения безопасности этого вида транспорта является весьма актуальным, поскольку на заводах СПГ сжиженный газ уже транспортируется по технологическим трубопроводам. Основное значение имеют выбор материала, оборудования и принципа проектирования, поскольку трубопроводы СПГ работают при низких отрицательных температурах. Трубы должны изготавливаться из специальных сталей, имеющих достаточную ударную вязкость при рабочих температурах. В диапазоне температур $100-120^{\circ}\text{C}$ необходимой вязкостью обладают стали с содержанием никеля 5,5–6%.

Для обеспечения высокого уровня безопасности и надежности необходимо учитывать ряд факторов:

- рабочую температуру сжиженного природного газа;
- возникновение и распространение трещин в трубе;
- температурные деформации.

Наибольшее распространение для изготовления технологических трубопроводов и трубопроводных обвязок на установках СПГ получила аустенитная нержавеющая сталь. Трубопроводы для сжиженного природного газа укладываются при нормальных температурах, а эксплуатироваться должны при более низких температурах, следовательно, существует

необходимость в компенсации температурных деформаций трубопроводов при понижении температуры.

Одним из важных периодов является ввод трубопровода СПГ в эксплуатацию. Перед пуском его предварительно охлаждают, используя обычно СПГ. Сжиженный природный газ подается в трубопровод с рабочей температурой, двигаясь по трубопроводу, он испаряется, тем самым охлаждая стенки трубопровода. Паровую фазу СПГ через определенные интервалы необходимо выпускать из трубопровода, чтобы обеспечить нужный расход для охлаждения трубопровода расход газа на входе и снизить давление паровой фазы в начале испарения СПГ. При эксплуатации максимальная скорость СПГ в трубопроводе не должна превышать 4,5 м/с, а коэффициент гидравлического сопротивления принимается равным 0,014 для всех трубопроводов. Наряду с повреждением трубопроводов СПГ, связанных с трещинообразованием, большую опасность во время эксплуатации представляет разгерметизация трубопровода в местах фланцевых соединений. Возникающие при этом аварийные ситуации происходят из-за неправильного подбора материала герметизирующих прокладок, устанавливаемых между фланцами.

Основными непростыми вопросами при транспортировке СПГ по трубопроводам являются: первоначальное заполнение трубопровода сжиженным газом, правильный выбор перекачивающих насосов и обеспечение бескавитационной работы насосов. Наибольшую опасность представляют пульсации давления, при которых максимальное давление в 3-5 раз может превышать давление подачи жидкости в трубопровод. Гидравлический удар слабее, чем в трубопроводах для воды, это объясняется заметной сжимаемостью сжиженных газов.

Транспортировка СПГ по магистральным газопроводам – это перспективное направление с развитием объемов транспорта природного газа по газопроводам, поэтому существует ряд условий, при которых данный способ является целесообразным. Трубопроводный транспорт СПГ требует

значительно меньших вложений металла, чем транспорт газа в обычном состоянии, но при этом трубопровод должен быть выполнен из хладостойкого металла. Транспортировка природного газа в охлажденном состоянии при давлении 120 кгс/см^2 и температуре -70°C не требует дорогостоящих легированных сталей. Экономичность систем трубопроводного транспорта СПГ значительно зависит от стоимости установок сжижения и переохлаждения СПГ по трассе трубопровода, стоимости стали, из которой изготавливаются трубы, а также от возможности утилизации холода, получаемого при регазификации СПГ.

Экономический анализ показал, что трубопроводный транспорт СПГ становится эффективным только при транспортировании по одной нитке трубопровода не менее 100 млрд. м^3 газа в год. Однако темпы развития газовой отрасли промышленности пока не предусматривают транспорта такого количества природного газа в одном направлении и по одному трубопроводу. Транспортирование же СПГ по трубопроводу в меньших количествах уступает в настоящее время по экономичности транспорту природного газа по газопроводам. Транспорт СПГ по трубопроводу с производительностью меньше 100 млрд. м^3 в год может стать экономичным только при разработке новых методов сжижения и переохлаждения СПГ, т.е. более экономических систем производства холода.

1.4 Моделирование процессов сжиженного газа

В связи с непрерывным повышением требований к рабочим параметрам газотранспортного и теплообменного оборудования, которые непосредственно вовлечены в технологические процессы ожижения и регазации возникает вопрос о совершенствовании их эффективности, который приводит к насущной необходимости во все более точном математическом моделировании этих процессов. Замена физического эксперимента на его численный аналог во многом позволяет экономить как

материальные, так и временные ресурсы, что повышает конкурентоспособность проектирующихся конструкций. Прогностическая способность выбранной методики расчета основных характеристик исследуемых конструкций во многом определяется физической адекватностью выбранной модели рабочего тела. Особенно это касается состояния насыщения и близких к ней областей термодинамических параметров, при которых рабочее тело может находиться как в однофазном, так и в двухфазном состоянии, что уже не может быть описано моделью идеального газа.

В работе [6] представлены соотношения для теплофизических свойств жидкой, двухфазной и газообразной фаз метана. Соотношения основаны на критической оценке имеющихся экспериментальных данных для их представления в широком диапазоне различных состояний. Эти исследования метана позволили выбрать для аппроксимации экспериментальных данных применить легко интегрируемые и дифференцируемые экспоненциальные и степенные функции, которые. Для данной аппроксимации экспериментальных данных по термодинамическим свойствам используется соотношение для молярной энергии Гельмгольца. Полученное уравнение состояния является точным для диапазона температур от 91 К до 400 К при давления ниже 55 МПа.

Для теоретического исследования течения в трубах, как правило, используются модели механики сплошных сред. Так, например, в работе [7] представлена теоретическая модель, описывающая течение многокомпонентной углеводородной жидкости в трубопроводах. Модель в рамках единого подхода позволяет рассматривать переходные процессы при произвольном содержании паровой фазы (от чистой жидкости до чистого пара – возникновение и схлопывание паровых полостей). На ее основе проведено численное моделирование процесса движения смеси для заданного профиля трубопровода. Показана возможность, в рамках единой

расчетной схемы, проводить численное моделирование переходных процессов реализуемых при напорных и безнапорных течениях.

Традиционно для моделирования сложных течений используются численные методы.

2 Математическое моделирование течения в газотранспортном оборудовании

2.1 Физическая постановка задачи

Для моделирования среды выбирается объект в виде термодинамического метана, который может находиться в двухфазном или однофазном состоянии.

Область решения представляется в виде длинной трубы (рисунок 2.1.1), которая дает возможность подходить к задаче о моделировании течения как одномерной по пространственной координате. Газ движется по каналу с некоторой скоростью при постоянном давлении и осуществляется отвод теплоты.

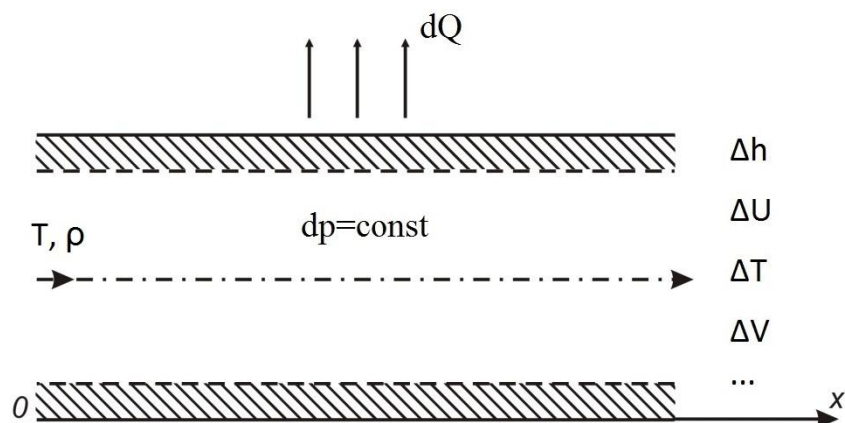


Рис. 2.1.1 Область решения рассматриваемой задачи.

Для описания процесса движения и нахождения параметров используется одномерное нестационарное дифференциальное уравнение энергии, которое применяется для моделирования изобарного течения рабочего тела по выбранной конструкции канала [21, 22, 23].

$$\frac{\partial \rho \left(\epsilon + \frac{w^2}{2} \right)}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho w \left(h + \frac{w^2}{2} \right)}{\partial x} = -Q_{out} - G_{condensate} \cdot h_{condensate}, \quad (2.1.1)$$

где ρ – плотность, кг/м³;

w – скорость, м/с;

h – удельная энтальпия, Дж/кг;

Q_{out} – тепловой поток в стенку канала, Дж;

Для его решения требуется анализ возможности применения используемого уравнения состояния в условиях отвода (подвода) теплоты. Для чего уравнение (2.1.1) приводится к виду:

$$\frac{\partial \rho h}{\partial \tau} = Q_{out} \cdot \quad (2.1.1')$$

Решение для изобарного процесса сводится к анализу задачи Коши. В качестве начальных условий задаются начальные значения плотности, энтальпии и соответствующего данным значениям давление.

2.2 Математическая постановка задачи

Для описания свойств рабочего тела используется уравнение состояния в широком диапазоне параметров [6]. Суть данного подхода состоит в том, что экспериментальные данные по метану, имеющиеся в распоряжении авторов [6], были использованы для аппроксимация свободной энергии Гельмгольца, а в качестве аппроксимирующих функций удачно выбраны легко интегрируемые и легко дифференцируемые экспоненциальные и степенные функции. Что позволяет достаточно успешно преобразовывать аппроксимационную зависимость для определения всех остальных основных термодинамических параметров метана.

Молярная энергия Гельмгольца представляется в виде суммы двух слагаемых, одно из которых (A^{id}) соответствует характеристикам метана как идеального газа, а второе (A^r) слагаемое вносит поправку, учитывающую реальные свойства рабочего тела:

$$A(p, T) = A^{id} + A^r = RT\phi = RT(\phi^{id} + \phi^r), \quad (2.2.1)$$

где A – молярная энергия Гельмгольца, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T – температура, К;

ϕ – приведенная энергия Гельмгольца;

id – идеальный газ;

r – реальный газ.

Аппроксимационные зависимости используют безразмерные текущие значения плотности (ρ) и «обратной» температуры (T), отнесенные, соответственно, к критическим параметрам (ρ_c, T_c):

$$\delta = \rho/\rho_c, \quad (2.2.2)$$

$$\tau = T_c/T, \quad (2.2.3)$$

В этом случае аппроксимационные зависимости записываются следующим образом:

$$\phi^r = \sum_{i=1}^{13} n_i \delta^{r_i} \tau^{s_i} + e^{-\delta^2} \sum_{i=14}^{24} n_i \delta^{r_i} \tau^{s_i} + e^{-\delta^{24}} \sum_{i=25}^{32} n_i \delta^{r_i} \tau^{s_i}, \quad (2.2.4)$$

$$\phi^{id}(\delta\tau) = A^{id} / RT = Q_1 + \ln \delta + Q_2 \ln \tau + Q_3 \tau^{-1/3} + Q_4 \tau^{-2/3} + Q_5 \tau^{-1} + Q_6 \ln(1 - e^{Q_7 \tau}), \quad (2.2.5)$$

где δ – приведенная плотность;

τ – приведенная температура;

ρ_c – критическая плотность, кг/м³;

T_c – критическая температура, К;

T – температура рабочего вещества, К;

r_i – экспонента от δ ;

s_i – экспонента от τ ;

Q_i – экспериментальные коэффициенты для идеального газа.

Из интегрирования уравнения 2.1.1' определяется энтальпия при неизменном давлении, которые впоследствии будут использоваться в качестве входных для уравнения состояния и определения всех остальных термодинамических параметров по следующим соотношениям [6]:

а) при неизменном значении исходного давления:

$$p(\rho, T) = \rho RT(1 + \delta\phi_\delta^r), \quad (2.2.6)$$

б) найденной «новой» энтальпии:

$$h(\rho, T) = RT(1 + \tau\phi_\tau^{id} + \tau\phi_\tau^r + \delta\phi_\delta^r), \quad (2.2.7)$$

в) энергии Гиббса:

$$G(p, T) = RT(1 + \varphi^{id} + \varphi^r + \delta\varphi_{\delta}^r), \quad (2.2.8)$$

г) энергии Гельмгольца:

$$A(p, T) = RT(\varphi^{id} + \varphi^r), \quad (2.2.9)$$

д) энтропии:

$$S(p, T) = -R(\varphi^{id} + \varphi^r - \tau\varphi_{\tau}^{id} - \tau\varphi_{\tau}^r), \quad (2.2.10)$$

е) изохорной теплоемкости:

$$c_v(p, T) = -R(\tau^2\varphi_{\tau\tau}^{id} + \tau^2\varphi_{\tau\tau}^r), \quad (2.2.11)$$

ж) изобарной теплоемкости:

$$c_p(p, T) = c_v(p, T) + R \frac{(1 + \delta\varphi_{\delta}^r - \delta\tau\varphi_{\delta\tau}^r)^2}{1 + 2\delta\varphi_{\delta}^r + \delta^2\varphi_{\delta\delta}^r}, \quad (2.2.12)$$

Уравнение 2.1.1', позволяет численно моделировать процесс изобарного тепломассообмена, что в дальнейшем будет использовано в формулировании замкнутой математической модели течения рабочего тела, которая описывает тепломассообменные процессы в широком диапазоне для крио- и обычных температур.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2Б	Белая Анна Викторовна

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»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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	Белая Анна Викторовна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов является оценка коммерческой ценности разработки. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

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.

Тема: Моделирование термодинамических параметров метана в двухфазной области при изобарном течении потока в условиях нагрева или охлаждения.

4.1 Факторы, оказывающие влияние на проект исследования

Факторы внешней среды

- *Спрос, характер спроса*

Данное исследование позволит увеличить энергоэффективность теплообменных и газотранспортных аппаратов при более точном их проектировании, поэтому потенциальными клиентами являются предприятия газовой отрасли.

- *Конкуренты*

Конкурентами являются теоретики в области моделирования процессов регазации и ожижения метана.

- *Поставщики*

Поставщиками программного обеспечения для написания программ и обработки результатов является корпорация Microsoft.

- *Контактная аудитория*

Результаты научного исследования будут полезны тем, у кого возник интерес к исследованиям в области тепломассопереноса в двухфазной среде метана. А также, компаниям, деятельность которых связана с теплоэнергетикой.

- *Аудиторией влияния*

Аудиторией влияния на программное обеспечение является администрация Томского Политехнического Университета.

Факторы внутренней среды

- *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

4.2 SWOT-анализ

Внутренние сильные стороны

- Применение численного моделирования позволит уменьшить затраты при разработке оборудования;
- Применение полученных результатов в газовой отрасли;
- Получения новых, неопубликованных результатов.

Внутренние слабые стороны

- Ограниченная целевая аудитория;
- Перспектива замены оборудования.

Внешние угрозы

- Появление конкурентов в области программных разработок;
- Удорожание газотранспортного оборудования.

4.3 Сравнительная экспертная оценка языков программирования

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 аттестации языка программирования 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 (bj). Все данные представлены в таблицах 4.3.1 – 4.3.6.

Таблица 4.3.1 – Список языков программирования

№	Язык программирования
1	Delphi
2	C++
3	PascalABC.NET
4	VisualBasic

Таблица 4.3.2 – Оценка конкурентоспособности экспертом №1

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
Delphi	8/1,6	7/1,4	8/0,8	9/2,25	7/1,75	7,8
C++	8/1,6	9/1,8	7/0,7	8/2	8/2	8,1
Pascal	9/1,8	9/1,8	8/0,8	8/2	7/1,75	8,15
VisualBasic	7/1,4	8/1,6	7/0,7	6/1,5	8/2	7,2
Важность (bj) [1-5]	4	4	2	5	5	20
Вес (Wi)	0,2	0,2	0,1	0,25	0,25	-

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).

W_i – весовой коэффициент – в этой строке рассчитан весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов $\frac{b_i}{b_{\Sigma}}$.

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

Таблица 4.3.3 – Оценка конкурентоспособности экспертом №2

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
Delphi	7/1,4	7/1,4	8/0,8	9/2,25	7/1,75	7,6
C++	9/1,8	9/1,8	6/0,6	8/2	8/2	8,2
Pascal	9/1,8	10/2	8/0,8	8/2	7/1,75	8,35
VisualBasic	6/1,2	9/1,8	6/0,6	7/1,75	8/2	7,35
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 4.3.4 – Оценка конкурентоспособности экспертом № 3

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
Delphi	8/1,6	7/1,4	7/0,7	8/2	7/1,47	7,17
C++	8/1,6	9/1,8	6/0,6	7/1,75	7/1,75	7,5
Pascal	8/1,6	10/2	8/0,8	8/2	7/1,75	8,15
VisualBasic	8/1,6	8/1,6	7/0,7	7/1,75	8/2	7,01
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 4.3.5 – Оценка конкурентоспособности экспертом №4

Фирма производитель	Простота	Универсаль- ность	Распространен- ность	Технические характеристики	Скорость работы	Сумма
Delphi	7/1,4	8/1,6	7/0,7	9/2,25	7/1,75	6,94
C++	8/1,6	7/1,4	6/0,6	9/2,25	8/2	7,85
Pascal	9/1,8	9/1,8	7/0,7	8/2	7/1,75	8,05
VisualBasic	9/1,8	9/1,8	6/0,6	8/2	9/2,25	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 4.3.6 – Итоговые экспертные оценки

Фирма производитель	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Средняя оценка
Delphi	7,8	7,6	7,17	6,94	7,38
C++	8,1	8,2	7,5	7,85	7,91
Pascal	8,5	8,35	8,15	8,05	8,26
VisualBasic	7,2	7,35	7,01	8,45	7,50

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

4.4 Календарный план проекта исследования

Для наглядности представим работу по проекту поэтапно и каждый этап в свою очередь разобьем на мелкие операции, каждая из которых пронумерована. Представим декомпозицию работ в виде таблицы 4.4.1.

Таблица 4.4.1 – 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	4	Разработка программного обеспечения	Студент

исследования	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

В таблице 4.4.2 представлено необходимое время на проведение работ по проекту исследования.

Таблица 4.4.2 – Перечень работ с количеством необходимых дней

Код работы	Наименование работы	$t_{\min i}$, день	$t_{\max i}$, день	У, человек	$t_{\text{оэс}i}$, 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

Для определения сроков выполнения работ составляется календарный план. Сроки выполнения каждого из этапов работ представлены в таблице 4.4.3.

Таблица 4.4.3 – Календарный план-график

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн	Продолжительность выполнения работ							
				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						+		

Продолжение таблицы 4.4.3

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								+

4.5 Бюджетный план на выполнение проекта исследования

В таблице 4.5.1 представлено подробное описание расходов на материалы:

Таблица 4.5.1 – Расходы на материалы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	930
Заправка картриджа	шт	500	1	400
Электроэнергия	кВт·ч	2,93	44,1	130
Итого:				1 460

Таблица 4.5.2 – Канцтовары

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

Таблица 4.5.3 – 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 4.5.4 – 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 профессора составляет 300 руб./час, значит расходы на оплату труда определяются как:

$$C_{з.п.} = 22 \cdot 300 = 6600 \text{ руб.}$$

$$\text{Отчисления на социальные нужды: } S_{с.н.} = 6600 \cdot 0,3 = 1980 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты составят: $C_{\text{сум.}} = 6600 + 1980 = 8580$ руб.

В итоге получим:

Таблица 4.5.5 – Смета проекта исследования

Наименование	Единичные расчеты			Суммарные затраты			
	Материалы	Зарплата	Амортизация	Материалы	Зарплата и соц.отчисления	Амортизация	Сумма
Разработка программно го обеспечения	1460	8580	-	1460	8580	1118	11158