

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Физика
Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Экспериментальное исследование процесса теплообмена в пористых, насыщенных жидкостью веществах при их охлаждении

УДК 621.1.016.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ51	Липчинский Дмитрий Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов В. И.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Король И.С.	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Энергетический
Направление подготовки (специальность) Физика
Кафедра Теоретическая и промышленная теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой ТПТ Кузнецов Г.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ51	Липчинскому Дмитрию Алексеевичу

Тема работы:

Экспериментальное исследование процесса теплообмена в пористых, насыщенных жидкостью веществах при их охлаждении	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	235/с от 27.01.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	–объект исследования: грунты различной пористости, замораживаемые до низких температур; –режим работы: циклический.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Анализ современного состояния исследования заморозки пористых насыщенных жидкостью веществ; –экспериментальные исследования процессов охлаждения пористых грунтов при различной степени их насыщения жидкостью ; –анализ полученных результатов экспериментального исследования.
Перечень графического материала	–

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Н.Г., ст.преподаватель
Социальная ответственность	Король И.С., доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10. 2015 г.
---	----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПТ	Максимов В.И.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ51	Липчинский Дмитрий Алексеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки Физика

Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30 мая 2017 года
--	------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.2016	Аналитический обзор литературы	30
30.04.2017	Анализ проведенных экспериментальных исследований	60
26.05.2017	Финансовый менеджмент	5
26.05.2017	Социальная ответственность	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов В.И.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 88 с., 20 рис., 14 табл., 55 источников, 2 прил.

Ключевые слова: теплообмен, пористое вещество, грунт, фазовый переход, морозильная камера, холодильная установка.

Объектом исследования являются пористые земляные грунты, с различной степенью насыщения жидкостью, замораживаемые до низких температур.

Цель работы – экспериментальное исследование распределения температуры в пористых, насыщенных жидкостью веществах, при различной степени насыщения.

Для проведения экспериментальных исследований процесса заморозки пористых грунтов в морозильной камере холодильной установки при различной степени насыщения их жидкостью, была разработана методика проведения экспериментальных исследований по получению температурных зависимостей в исследуемой области и создана экспериментальная установка.

В процессе экспериментального исследования получены данные значений температур в объёме пористых веществ с различной структурой, теплофизическими свойствами и степенью насыщения жидкостью. Установлено влияние степени насыщения жидкостью на скорость заморозки пористого грунта.

Разработанная методика проведения эксперимента и полученные экспериментальные данные могут быть использованы для усовершенствования методики расчета теплового состояния замораживаемых влажных грунтов и пористой тепловой защиты низкотемпературного тепломассообменного оборудования.

Содержание

С.

Введение.....	8
1. Обзор литературы.....	9
2. Описание экспериментальной установки и методика проведения опытов ...	25
2.1. Описание экспериментальной установки.....	25
2.2. Исследуемые пористые вещества и их теплофизические характеристики.....	29
2.3. Методика проведения экспериментального исследования заморозки пористых веществ в морозильной камере.....	30
2.4 Оценка погрешностей математического моделирования и экспериментального исследования.....	33
3. Анализ результатов полученных при экспериментальном исследовании процесса заморозки пористых веществ при различной степени насыщения жидкостью.....	36
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	53
4.1 Смета затрат на проект.....	54
4.1.1 Материальные затраты.....	54
4.1.2 Амортизация компьютерной техники.....	55
4.1.3 Затраты на заработную плату.....	56
4.1.4 Затраты на социальные нужды.....	57
4.1.5 Прочие затраты.....	57
4.2.6 Накладные расходы.....	57
4.2 Смета затрат на материалы для реализации проекта.....	58
4.3 Оценка ресурсоэффективности.....	59
5. Социальная ответственность.....	66

5. 1 Производственная безопасность.....	66
5.2 Экологическая безопасность проекта.....	74
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	78
Заключение.....	81
Список используемых источников литературы	83
Приложение А	
Приложение Б	

Введение

Пористые вещества используются в качестве теплоизоляционных материалов во многих областях промышленности, в промышленном строительстве, в технологических процессах сжижения природного газа, а также при его хранении и транспортировке, в холодильной технике. Источники холода располагаются на различного рода грунтовых поверхностях. Возникает необходимость изучения процессов заморозки насыщенных влагой веществ для прогнозирования теплового состояния промышленных объектов в которых они применяются.

Данная тематика особенно актуальна в области работы с сжиженными природными газами. Низкотемпературные резервуары для хранения СПГ могут быть наземными или подземными (заглубленными в грунт). Промерзание грунта, находящегося в непосредственном контакте с СПГ, зависит от его структуры и степени насыщения жидкостью. Возникает необходимость изучения процессов, протекающих при охлаждении грунтов.

Практическая значимость данного исследования: разработанная методика проведения эксперимента и экспериментальная установка могут быть использованы для дальнейшего экспериментального исследования широкого круга задач по прогнозированию теплового состояния замораживаемых грунтов.

Цель работы – экспериментальное исследование процессов теплообмена в пористых, насыщенных жидкостью веществах, при различной степени насыщения.

1. Обзор литературы

В [1] приведен ряд новаторских решений задачи теплопередачи для холодильных установок. Vahterus Combined – агрегат был разработан с целью уменьшения габаритов традиционной холодильной системы с испарителем и сепаратором, а также сведения к минимуму количества хладагента в системе. В Vahterus Combined сочетаются функции испарителя и сепаратора (отделителя жидкости) в одном кожухе. Компактная конструкция позволяет легко встраивать агрегат в любые установки, в том числе блочные, и обеспечивать экономию затрат на изоляцию и трубопроводы. Кроме того, это решение, характеризующееся малым количеством хладагента в системе, соответствует потребности рынка при применении NH₃ как хладагента.

В мировой практике существует общий комплексный и многофакторный показатель эффективности эксплуатации оборудования OEE (Overall Equipment Effectiveness – общая эффективность оборудования). Важнейшей составляющей этого показателя является энергоэффективность, которая имеет связь с двумя другими важными критериями оценки современной техники – с экономичностью и экологичностью [2]. В данной статье проведена оценка энергоэффективности холодильных установок и систем, а также описаны способы ее повышения.

Суть теплового расчета различных холодильных установок заключается в выборе и расчете параметров теплоизоляционных ограждающих конструкций для охлаждаемых помещений, а также расчете теплопритоков в данные помещения. Соответственно, основное предназначение тепловой изоляции состоит в том, чтобы максимально уменьшить теплоприток в охлаждаемое помещение, а значит и значительно снизить расход электроэнергии, необходимый для выработки холода. На выполнение всех необходимых теплоизоляционных работ обычно тратится порядка 25-40 процентов от общей проектной стоимости предприятия. Следовательно, очень важно правильно выбирать толщину изоляции при проектировании работ, находить ее оптимальное значение, тем самым максимально сокращать денежные расходы

при строительстве. Решение данной задачи остается очень трудоемким и сложным процессом, требующем применения вычислительной техники. В источнике [3] описан один из действенных методов расчета данной задачи.

В статье [4] рассмотрены проблемы устаревших на данный момент аммиачных холодильных установок. Представлен один из современных путей модернизации АХУ, позволяющий снизить эксплуатационные расходы и повысить эффективность работы холодильной установки. Также показана проблема отсутствия методик расчета и рекомендаций, для современных схем и оборудования.

Схемы холодильных установок, а также процессы, протекающие при их работе подробно рассмотрены в [5]. Описаны основные характеристики холодильных циклов, а также рассмотрены последовательность и процедуры подбора как испарителей, так и другого оборудования при комплектации холодильной установки для предприятий пищевой промышленности.

Расчеты холодильных установок требуют знания термодинамических свойств рабочих веществ (хладагентов), задействованных в циклах. Когда такие расчеты ведутся вручную, то можно пользоваться «бумажными» таблицами по термодинамическим свойствам конкретных рабочих веществ (хладагентов) на линии насыщения и в однофазной области. Расчеты же на компьютере требуют специальных программных функций, возвращающих значения свойств рабочих веществ в зависимости от параметров цикла — давления, температуры и др. В статье [6] приведено описание новой технологии работы с функциями, определяющими теплофизические свойства рабочих веществ, теплоносителей и материалов. Она базируется не на скачивании программ, а на использовании ссылок на функции, которые хранятся на сайтах Интернета — «в облаках». Реализована технология с помощью инженерного калькулятора Mathcad. В качестве примера использования интернет функций приведен расчет цикла холодильной установки (рабочее тело цикла - R407C)

В статье [7] отмечено, что при проведении реконструкции холодильной установки необходимо выделить следующие основные этапы: анализ ее

состояния; выбор стратегии реконструкции, проектирование в соответствии с этим выбором; планирование проведения работ; осуществление монтажных и пусконаладочных работ в условиях действующего производства, важным этапом которых является подключение новых систем и оборудования к эксплуатируемой холодильной установке; корректировка существующей и подготовка новой документации по итогам проведения работ. Без грамотного и своевременного выполнения всех перечисленных этапов невозможна успешная реконструкция. Цель статьи – раскрыть организациям, планирующим реконструкцию действующих холодильных установок, некоторые особенности проведения этих работ и показать, что необходимо для их успешного выполнения.

В статье [8] представлены сведения об эволюционном развитии теплообменных аппаратов, позволившем существенно повысить их удельную эффективность. Показано, что в теплообменных устройствах в последние десятилетия широко применяются микроканальные технологии, позволяющие создавать компактные аппараты. Чем меньше диаметр канала, тем большую теплообменную поверхность можно сконцентрировать в единице объема. В области использования холодильной техники спроектированы и работают миниканальные конденсаторы с воздушным охлаждением. Их применяют в холодильных агрегатах и кондиционерах, имеющих очень небольшую производительность. Благодаря ним идет сокращение объемов заправки хладагента в систему и происходит улучшение технических характеристик агрегатов.

Необходимо отметить, что в настоящее время в холодильной технике нанотехнологии находят применение в бытовых холодильниках (материалы для дезинфекции, удаления запаха и грязеотталкивающие нанопленки) и при разработке материалов для термоэлектрических холодильных машин.[9] В последнем случае исходный кристаллический полупроводник размалывается в порошок из наночастиц, спекающийся потом в нанообъемную наноструктуру. Увеличение термоэлектрической эффективности объемных наноструктур

теоретически возможно в 3–3,5 раза по сравнению с неструктурированным материалом. Экспериментально пока достигнут рост добротности в наноструктурах на 10–12 %.

Максимальное количество энергии в холодильных системах идет на работу компрессора, а точнее на регулировку его производительности. Сегодня в холодильной технике хорошо известен ряд методов регулирования производительности с помощью внешних и встроенных конструктивных устройств. Каждый из методов имеет в той или иной степени энергетические потери, приводящие к снижению эффективности. В [10] показано что применение инверторной технологии в многокомпрессорных холодильных установках приводит к следующим преимуществам:

- уменьшение энергопотребления (10–40 %);
- значительное уменьшение пусков компрессора(на 87 %);
- увеличение срока службы компрессора;
- повышение надежности компрессора;
- плавное регулирование мощности компрессора;
- постоянство давления всасывания;
- значительное уменьшение времени работы системы при низком давлении всасывания, что дает возможность спроектировать испаритель с более низким значением ΔT между температурами охлаждаемого помещения и кипения хладагента;
- качественное хранение пищевых продуктов (постоянная температура хранения);
- низкое значение усушки пищевых продуктов;
- уменьшение шума (особенно в ночное время) благодаря снижению частоты вращения при работе с неполной нагрузкой;

В статьях [11,42] были рассмотрены важнейшие глобальные проблемы холодильной техники на сегодняшний день. Представлены новые технологические решения для абсолютно безопасного использования холодильного оборудования. В частности, применение природных хладагентов,

не разрушающих озоновый слой и не приводящих к климатическим изменениям на планете.

Различные инновационные разработки в области производства и применения холодильной техники рассмотрены в [12]. Рассмотрен российский рынок бытовой холодильной техники, а также тенденции в области его освоения как отечественными, так и иностранными производителями. Приводятся факторы, которые тем или иным образом влияют на развитие данного рынка. Можно увидеть и мероприятия, благодаря которым имеется возможность повышать конкурентоспособность отечественных производителей бытовой холодильной техники.

Для холодильной техники и технологии характерно сравнительно медленное протекание процессов тепло- и массообмена в холодильных системах, а также при консервировании пищевых продуктов. В качестве основного направления деятельности по решению этой проблемы выступает разработка методов и последующее внедрение средств, позволяющих интенсифицировать данные процессы как во время потребления искусственного холода, так и на стадии его производства. При этом методы и средства должны обеспечивать продовольственную безопасность населения. В [13] подробно рассмотрено развитие энергосберегающей холодильной техники и технологий.

Имеются методы для идентификации эксплуатационных параметров различных технологических установок, которые дают возможность разработать системы управления для обеспечения их безопасной работы. Одним из серьезных недостатков данных систем является то, что они не учитывают возможные изменения наружных условий эксплуатации. Чтобы отработать алгоритм идентификации эксплуатационных параметров использована тепловая машина, а именно холодильная установка, рабочим телом в которой является аммиак, так как для нее имеется ярко выраженная зависимость параметров эксплуатации от характеристик внешней среды. Опираясь на имеющиеся

литературные данные выбран принцип, позволяющий идентифицировать эксплуатационные параметры, а также разработана блок-схема управления. Спроектирована модель, затем разработана программа, позволяющая определять эффективность холодильной установки в течении длительного периода ее эксплуатации.[14]

Исследована возможность уменьшения затрат энергии на хранении разнообразных ягод и плодов растений, а также методы улучшения качества замороженной продукции. Для реализации данных целей разработана и изготовлена экспериментальная установка. Она состоит из лабораторно-исследовательского стенда, позволяющего измерять показатели охлаждаемой продукции и холодильной установки центробежного типа. [15]

Наиболее важные результаты отечественных и зарубежных исследований по механике мерзлых грунтов описаны в [16,41]. Сформированы основные зависимости и закономерности, которые помогают разобраться в сложных вопросах механики мерзлых грунтов. Затронуты важнейшие моменты физической стороны процессов, которые протекают как в процессе заморозки и оттаивания грунтов, так и в уже мерзлых. Знание механики мерзлых грунтов помогает правильно и наиболее полно оценить физико-геологические явления и процессы, которые протекают в них. Большое внимание, уделенное физической стороне механических процессов мерзлых грунтов, дает возможность наиболее полно и глубоко разобраться в области строительства в условиях вечной мерзлоты и находить оптимальные инженерные решения. Приведены значения коэффициентов теплопроводности для различных типов грунтов, находящихся как в мерзлом состоянии, так и в процессе оттаивания.

Одной из наиболее динамично развивающихся компаний по производству холодильной и компрессорной техники в России является компания GEA [17]. В повседневной жизни и деятельности человек постоянно сталкивается с использованием холодильного оборудования. При этом имеет место негативное воздействие хладоносителей, масел, хладагентов используемых в холодильной

технике на природу. Компания GEA стремится обеспечить максимальную экологичность выпускаемого оборудования. Для этого внедряются озонобезопасные фреоны, уменьшают энергопотребление и металлоемкость оборудования. Компания имеет многолетний опыт работы в России и является одной из ведущих в данной области. Компрессор, для используемой в работе холодильной установки, произведен данной компанией.

Авторами [18] была поставлена, а затем решена краевая задача теплопроводности, которая описывает температурное поле в исследуемом объеме замороженного продукта в случае хранения последнего в холодильной витрине. Данная задача решалась на основе данных, полученных в результате проведения экспериментальных исследований. В результате получено аналитическое решение, с помощью которого возможно: определить наименьший удельный расход энергии, требующийся для поддержания выбранного режима работы холодильной установки ; темп охлаждения или нагрева исследуемой установки; выбрать наилучшее соотношение между продолжительностью работы и отключением холодильной витрины. В дальнейшем, для автоматизации безопасного и качественного хранения скоропортящихся продуктов в данном холодильнике, а также для инженерных расчетов, можно успешно применять разработанную математическую модель.

В [19] представлены результаты по определению теплоемкости продуктов в замороженном и незамороженном состоянии. Также приведены значения коэффициентов теплопроводности для некоторых продуктов, вычисленные как экспериментально, так и расчетным методом.

Для вычисления коэффициента теплопроводности замороженного продукта, а он в свою очередь является дисперсной системой, в данной работе получена следующая формула:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \sqrt[3]{\epsilon} \right) + \frac{\sqrt[3]{\epsilon^2}}{\frac{\sqrt[3]{\epsilon}}{\lambda} + \frac{1 - \sqrt[3]{\epsilon^2}}{\lambda_0}},$$

где ε - коэффициент пористости замораживаемого объекта ; λ_0 - коэффициент теплопроводности незамороженного объекта.

Для замороженных продуктов важно правильно устанавливать температуру их хранения. Зачастую применяют более низкую температуру, чем это необходимо, что неизбежно приводит к увеличению затрат энергии, необходимой для производства холода. Так, снижение температуры в холодильной установке, а значит и температуры кипения хладагента всего на один градус приводит к повышению расхода энергии примерно на четыре процента. Соответственно, важно уметь рационально определять нужные режимы работы холодильной техники. При этом необходимо сохранять высокое качество замороженных продуктов. Авторами [20] представлена методика для определения оптимальной температуры охлаждающей среды в процессе хранения и производства замороженных продуктов с помощью которой возможно максимально оптимизировать эксплуатационные и материальные затраты.

Для разработки новых наименований замороженной и охлажденной пищевой продукции необходимо иметь их теплофизические характеристики и производить тепловые расчеты процессов холодильной обработки данных продуктов. К теплофизическим характеристикам относятся коэффициенты теплопроводности, удельная теплоемкость, температуропроводность. Достаточно сложным оказывается процесс пополнения информации о теплофизических характеристиках замораживаемых продуктов. Для этого необходимо создавать и применять быстрые и эффективные методы и новые технические средства для их определения экспериментальным путем, учитывая строение и состав товарного продукта, а также характер изменения образования льда в последнем. Одним из наиболее распространенных методов является метод регулярного теплового режима. Стоит отметить, что ранее эти методы не использовались применительно к замороженным продуктам. В [21] проведен анализ возможной применимости метода регулярного режима для определения

теплофизических характеристик пищевых продуктов в процессе льдообразования и на их основе создана экспериментальная установка. В результате показано, что принятое техническое решение полностью оправдано и надежно, так как обеспечивает достаточную точность определения теплофизических характеристик продукции.

Авторами [22] проведено исследование зависимости влажности грунта от скорости его промерзания. На рис.1 представлена полученная зависимость за первые 30 дней с температурой ниже нуля.

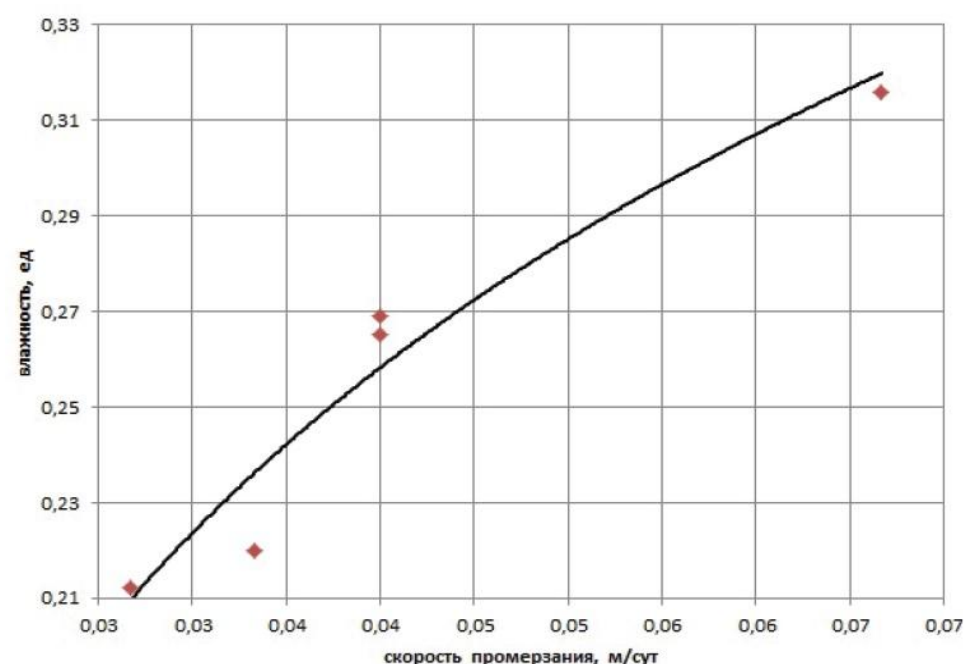


Рисунок 1- Зависимость изменения влажности грунта от скорости промерзания грунта

Установлено, что при возрастании скорости промерзания с 0,03 м/сутки до 0,07 м/сутки влажность в районе фронта промерзания возрастает практически на 50 %.

При оттаивании грунтов важнейшим вопросом являются их прочностные характеристики. В [23] были исследованы прочностные характеристики наиболее распространенных типов оттаивающих глинистых грунтов, таких как супеси, глины и суглинки. Определены главные факторы, оказывающие

влияние на их образование в результате процесса оттаивания- промерзания. Это физические характеристики(плотность-влажность), условия промерзания, поровое давление, гранулометрический состав. Учитывая влияние данных факторов, с помощью разработанной методике, получены нормативные характеристики исследуемых типов грунтов.

Для того, чтобы грунт был термостабильным его необходимо охлаждать. В некоторых регионах может быть недостаточно естественного холода. В таком случае для заморозки грунта используют холодильные машины. Наиболее экономичным вариантом является применение адсорбционной холодильной машины, так как в отличие от других машин, она использует тепло, полученное при сжигании добываемого сырья, в качестве источника потребляемой энергии. В систему для заморозки грунта входят [24]:

- 1) адсорбционная холодильная машина;
- 2) термосваи;
- 3) трубопровод подачи холодильного агента;
- 4) опора для магистрального трубопровода;
- 5) магистральный трубопровод.

Чтобы обобщить основные классификации грунтов введены гранулометрические типы вечномёрзлых грунтов.[25] При этом охватывается вся зона минеральной дезинтеграции горных пород. Проведено сравнение разных гранулометрических классификаций грунтов.

Математическая модель термостабилизации грунтов, в непосредственной близости фундаментов сооружений, описывается с помощью нестационарного уравнения теплопроводности. При этом необходимо учитывать фазовые переходы поровой влаги. Приводится сравнение изотерм температуры на модельной двумерной задаче. [26] Имеются результаты моделирования трехмерных полей температур в присутствии 39 вертикальных

замораживающих колонок. На вычислительных системах кластерной архитектуры учтена температура атмосферного воздуха.

Авторами проведено экспериментальное исследование песчаных и глинистых грунтов в морозильной камере.[27] Было установлено, что скорость пучения данных грунтов сильно зависит от скорости их промерзания. Так, при увеличении скорости промерзания, значительно возрастает неравномерность пучения песчаного грунта, хотя, наряду с увеличением коэффициента неравномерности пучения, происходит уменьшение величины пучения. Установлено, что при заморозке грунтов формируется три зоны, которые связаны с интенсивностью промерзания глинистого грунта. В частности, в верхней зоне, силы пучения образуются за счет массового пучения грунта в процессе кристаллизации воды, содержащейся в нем, и из-за замерзания миграционной влаги.

Основные проблемы, существующие в процессе промораживания грунта искусственным и естественным путем, а также возможные варианты их решения приведены в [28]. Подробно рассмотрены и описаны такие способы искусственного замораживания грунтов, как безрассольный, рассольный и комбинированный. Указаны новые варианты холодильных веществ для каждого способа в отдельности. Проведено исследование зависимости между изменением теплопроводности грунта при его заморозке и стоимостью работ. Оценена эффективность применения искусственного и естественного замораживания грунтов.

В ходе экспериментальных исследований, проведенных авторами [29] установлена зависимость изменения деформационных характеристик песчаных грунтов в процессе оттаивания от их суммарной влажности и плотности. Интересно, что коэффициенты оттаивания песчаного грунта значительно меньше коэффициентов уплотнения.

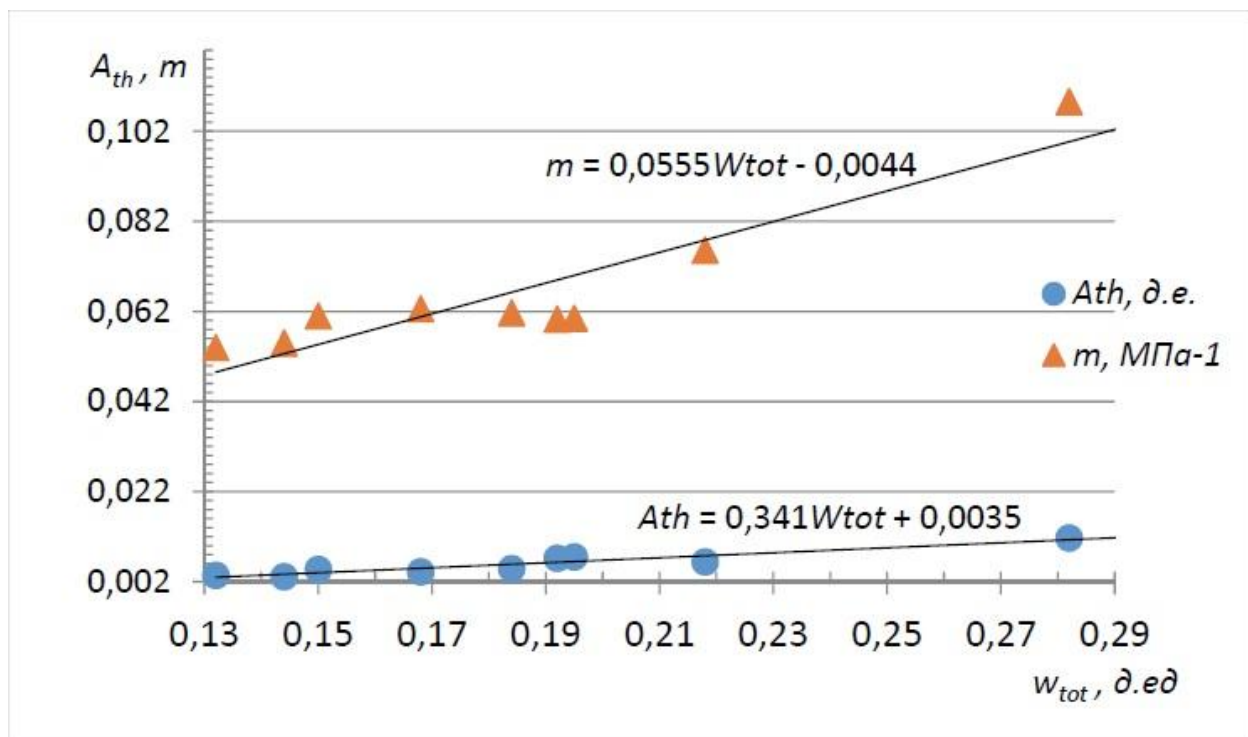


Рисунок 2- Зависимость коэффициентов оттаивания A_{th} и m уплотнения песка от различной суммарной влажности w_{tot}

Метод решения нестационарной задачи переноса тепла во влажном грунте с учетом фазовых переходов при отрицательных температурах был численно реализован в трехмерной постановке. [30] Чтобы описать процесс фазового перехода в промерзающее грунте, была использована модель, которая состоит из 4 характерных зон, имеющих термодинамические параметры, изменяющиеся по особым закономерностям. Для численного моделирования задачи была использована разностная схема для дискретизации по времени и метод конечных элементов для дискретизации краевой задачи.

В [31] рассмотрена связь между прочностью мерзлого грунта с длительностью переохлаждения и температурой, также температурой кристаллизации. Была произведена ее количественная оценка.

С помощью метода кинетики кристаллизации проведены исследования количественного содержания воды в различных типах грунтов. [32] Выявлена зависимость содержания незамерзшей воды от общей влажности в исследуемом интервале температур.

Исследована прочность мерзлого грунта. [33] Рассмотрено два механизма (типа) разрушения мерзлого грунта, которые связаны с фазовыми переходами грунтовой влаги. Первый, работающий вдали от точки плавления, представляет собой развал на части, хрупкое разрушение, практически без предварительного деформирования. Второй работает около точки плавления и постепенно переводит замерзший грунт в жидкообразное состояние. Получены формулы для хода деформации во времени и длительной прочности для обоих типов разрушения.

Решение задачи о промерзании грунта с помощью математической модели без явного выделения границ фазового перехода рассмотрено в [34]. Данное решение значительно отличается от классической постановки Стефана. Использован метод конечных разностей с неявной итерационной разностной схемой. Выявлено, что данный подход дает результаты, отличающиеся менее чем на 4,4% по координате фронта промерзания и температуре при решении одномерной задачи.

В работе [35] рассмотрен способ обработки, получения и анализа информации о изменении теплофизических свойств исследуемого грунта при его искусственном оттаивании для дальнейшего проектирования установки для ремонтных служб. Подготовлены схема контрольно-измерительных приборов для экспериментальной установки и физическая модель оттаивания мерзлого грунта. Описаны результаты исследований по оттаиванию мерзлого грунта в виде характеристик нового технического средства и эмпирических температурных полей.

В [36] разработана и использована экспериментальная установка для изучения калориметрическим методом процессов оттаивания-промерзания влажных грунтов в условиях неравновесия и равновесия соответственно. В зависимости от интенсивности параметров теплопереноса были получены экспериментальные данные для неравновесного процесса промерзания глинистого грунта. Благодаря приведенному аналитическому описанию

промерзания исследованного грунта, имеется возможность определения содержания незамерзшей воды, при этом учитывая неравновесность системы вода-лед-грунт.

Актуальной задачей на сегодняшний день является учет фазовых переходов поровой влаги в грунтах, являющихся основанием зданий и сооружений, расположенных в районах вечной мерзлоты. Представлена методика, позволяющая определять эквивалентную теплопроводность таких грунтовых массивов. [37] С её помощью получены новые данные об эквивалентной теплопроводности грунтов с учетом скрытой теплоты фазовых переходов поровой влаги.

Численная схема, с помощью которой возможно определять основные параметры двухфазного потока по высоте скважины и температурных полей, расположенных вокруг неё, и отслеживать движение фронта оттаивания мерзлых пород в течении эксплуатации данной скважины проведено авторами статьи [38]. Выполнено численное исследование закономерностей, возникающих при движении фронта фазового перехода в многолетнемерзлых породах.

Задача о промерзании грунта, учитывающая переменные теплотехнические параметры грунтовой толщины в температурном диапазоне фазового перехода, рассмотрена в [39]. Также во внимание было принято циклическое изменение температурного поля на поверхности в зависимости от времени суток. Определено, что эти особенности оказывают значительное влияние на эпюры температурных полей по глубине промерзающего грунтового слоя и на скорость продвижения фронта промерзания. Для эпюр распределения температуры по глубине слоя грунта и графика движения нулевой изотермы предложен возможный вариант аппроксимации.

Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности образцов грунта, находящихся в мерзлом состоянии и содержащих гидраты,

при неравновесных условиях представлено в работе [40]. Проведена оценка гидратосодержания мерзлых образцов, описание их строения, и определены. Сравнительный анализ данных мерзлых гидратосодержащих образцов с данными контрольных образцов, не содержащих гидрат метана, показал, что теплопроводность исследуемых ниже, чем контрольных. Причем различие может достигать нескольких десятков и даже сотен процентов в зависимости от структуры и состава пород. По мере уменьшения дисперсности и увеличения гидратосодержания образцов различие значений теплопроводности возрастает.

Численное моделирование процессов заморозки хлебобулочных изделий в 3D-геометрии представлено авторами в статье[43]. Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными по заморозке различных хлебобулочных изделий. При моделировании сложного процесса заморозки применялось уравнение Кирхгофа, что позволило значительно уменьшить количество вычислительных операций и увеличить скорость работы программы.

Проведено измерение глубины промерзания почвы в трех лесных экосистемах с помощью радиолокатора[44]. Измерения проводились в различных условиях: при наличии снежного покрова, таянии снежного покрова и присутствии стоячей воды на мерзлом грунте. Получены значения глубины промерзания почвы, а также оценена эффективность применения наземного радиолокационного зонда для ее оценки.

Изучением миграции влаги из одной области пористого вещества в другую при его заморозке занимаются в различных работах, в том числе иностранных авторов. Разработана физическая модель, при работе которой используются набор измерительных устройств, включающих гамма-денситометр, температурные преобразователи, тензиометры, емкостные датчики влажности. Эти датчики позволяют измерять изменение содержания льда, содержания незамерзшей воды, а также температуру, давление поровой воды и плотности сухой массы. [45-48]

Перспективное направление- моделирование пористых веществ и процессов протекающих при их заморозке как в сухом так и насыщенном состоянии. В частности, авторами работ [49,50] получены 3D-текстуры, которые адекватно представляют собой пористые материалы, а также смоделированы термо-гидро-механические реакции замораживания и оттаивания пористых сред в конечном интервале деформации.

В мире постоянно растут требования к повышению качества продуктов питания в целом, и мясных продуктов в частности. Требуются разработки новых передовых технологий хранения данных продуктов питания. В работах [51,52] моделируют процессы охлаждения мясных продуктов и изучают процессы, протекающие при их заморозке; рассматривают влияние различных факторов (температура и скорость заморозки, структура замораживаемого продукта и т.д.) на качество готовой продукции.

Перенос тепла и влаги в пористых средах при замораживании имеет большую практическую значимость в различных областях промышленности. Так, сорбция влаги в строительных материалах может вызывать коррозию металла, ухудшение структуры и ненадлежащее качество изоляции. Авторы [53-55] проводят эксперименты по замораживанию пористых материалов. Выявлено, что большая скорость замерзания приводит к недостаточной миграции воды (влаги). На количество влаги, перемещающейся в пористом веществе при заморозке, влияют температуры и исходное содержание воды.

2. Описание экспериментальной установки и методика проведения опытов

2.1 Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из парокомпрессионной холодильной установки с морозильной камерой (рисунок 3-4) и блоком измерительных устройств. Основные элементы холодильной установки: компрессор с рабочим напряжением 220В и током 0,8А, конденсатор, расширительное устройство и испаритель. Конденсатор представляет собой теплообменник, состоящий из трубки-змеевика охлаждаемой окружающим воздухом. Испаритель находится в холодильной установке, трубка впаяна в кожух, расположенный по периметру морозильной камеры.

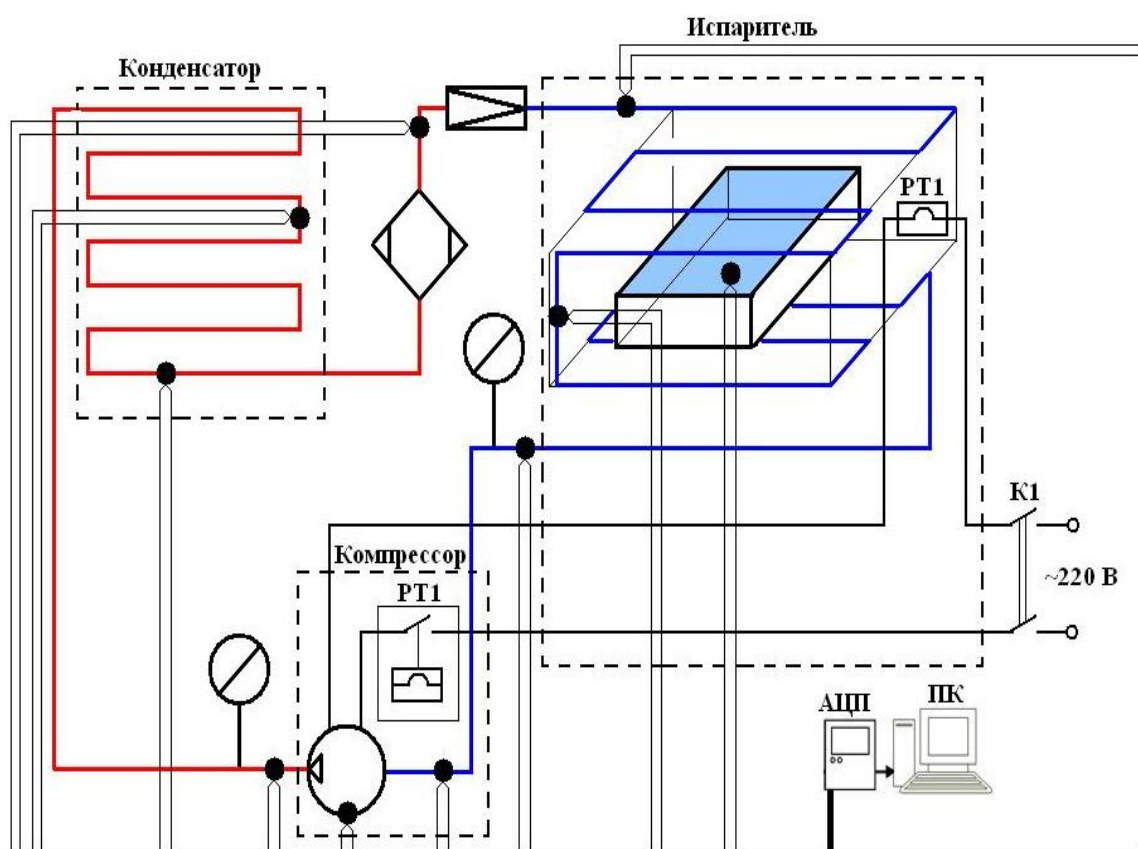


Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментальной установки



Рисунок 4 – Изображение экспериментального стенда

Работа экспериментальной установки, цикл которой в T,s – диаграмме показан на рис.5, осуществляется следующим образом. Сжатые в компрессоре пары фреона (процесс 1–2) в перегретом состоянии, поступают в первый теплообменник (конденсатор), в котором происходит их охлаждение и конденсация (процесс 2–3), с отдачей теплоты окружающей среде. Далее хладагент движется через фильтр-осушитель и проходит капиллярную трубку (процесс 3–4), после которой фреон расширяется и поступает во второй теплообменник (испаритель), в котором идет его кипение (процесс 4–1), при этом происходит передача тепла от воздуха в морозильной камере к хладагенту, а затем возвращается в компрессор и процесс повторяется заново.

Давление на входе и выходе из компрессора позволяют измерять манометры высокого и низкого давлений. Через смотровое стекло можно визуально контролировать агрегатное состояние фреона. Фильтр-осушитель служит для удаления влаги из хладагента, а также защищает капиллярную трубку от засорения твердыми частицами. Капиллярная трубка представляет собой устройство для расширения и охлаждения фреона и имеет форму дросселя постоянного сечения (регулирующий орган), где разность давлений конденсации и испарения фреона происходит за счет трения внутри нее.

1, 2, 3, 4, 5, 6,7 – точки схемы, характеризующие состояние рабочего тела

Рабочим телом теплообменника является хладагент R-134A. По материалам исследования компании BITZER, R134a представляет собой не разрушающий озоновый слой хладагент, предназначенный для замены R-12 в среднетемпературных агрегатах. R134a обладает нулевым потенциалом разрушения озонового слоя (ПРОС), а его потенциал глобального потепления (ПГП; ПГП углекислого газа равен 1) составляет 1300, что гораздо ниже, чем ПГП R-12, равного 8500. R-134a не воспламеняется во всем диапазоне температур эксплуатации. Основные характеристики хладагент R-134A представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики фреона R–134a

Температура кипения при 1,013 бар (°C)	-26,1
Давление кипения при 25 °C (бар)	6,65
Плотность жидкости при 25 °C (кг/м ³)	1,206
Критическое давление (бар)	40,7
Скрытая теплота парообразования при 1,013 бар (кДж/кг)	215,9

Основными факторами, которые в ходе экспериментального исследования оставались без изменения, являются: объем исследуемого пористого вещества $V_{в-ва}=0,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, температура окружающей среды $T_{oc}=20^0$, С; конечная температура заморозки $T_{кон}=-30^0$ С; параметры работы теплообменной установки.

2.2 Исследуемые пористые вещества и их теплофизические характеристики.

Пористые вещества встречаются во многих областях промышленности, часто в качестве теплоизоляционных материалов, в частности в процессах транспортировки и хранения сжиженного природного газа. При этом, зачастую источники холода располагаются на различных рода грунтах. Важно знать, как пористые насыщенные влагой вещества ведут себя при заморозке. Ведь зная, как меняются свойства веществ при их заморозке можно прогнозировать тепловое состояние промышленных объектов, в которых они используются и выработать рекомендации для их эффективного использования.

В качестве исследуемых пористых веществ применялись различные по своей структуре и теплофизическим характеристикам типы грунтов, а именно: гравийный грунт; глинистый грунт; песчаный грунт; чернозем.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов теплопроводности исследуемых грунтов.

Таблица 2 – Значения коэффициентов теплопроводности пористых грунтов [41]

Наименование грунта	Количество жидкости при насыщении 100%, мл	Объемная влажность, W	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·К		
			сухой	насыщенный	мерзлый
Гравийный	320	0,33	1,12	2,1	2,72
Глинистый	280	0,29	0,9	1,44	1,75
Песчаный	350	0,36	1,16	1,8	2,1
Чернозем	450	0,47	0,2	0,84	1,26

2.3 Методика проведения экспериментального исследования заморозки пористых веществ в морозильной камере

Для проведения экспериментальных исследований было выбрано три насыщения грунта: 1- степень насыщения 100%; 2- степень насыщения 50%; 3- степень насыщения 0%. Сухой грунт помещался в прямоугольный контейнер с размерами $0,5 \times 0,35 \times 0,25$ м и свободной поверхностью объемом $V_{в-ва} = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и насыщался необходимым объемом жидкости через верхнюю открытую поверхность, а затем размещался по центру морозильной камеры. Необходимый объем воды для заданной степени насыщения заранее экспериментально определялся для каждого из грунтов с помощью измерительной емкости с относительной погрешностью не более 3 %. После включения холодильной установки температуры в морозильной камере фиксировались с помощью 16 хромель-алюмелевых термопар (рисунок 7); 5 из них располагались по объему замораживаемого вещества (таблица 3) и 11 по объему морозильной камеры (таблица 4).

Таблица 3 – Расположение термопар по объему пористого вещества

Координата расположения термопар, см	Номер термопары				
	1	2	3	4	5
x	32	16	16	32	24
z1/ z2/ z3	0/ 3/ 6				
y	27	27	17	17	22

Таблица 4 – Расположение термопар по объему морозильной камеры

Координата расположения термопар, см	Номер термопары										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
z1/ z2/ z3	8/13/18										
y	22										

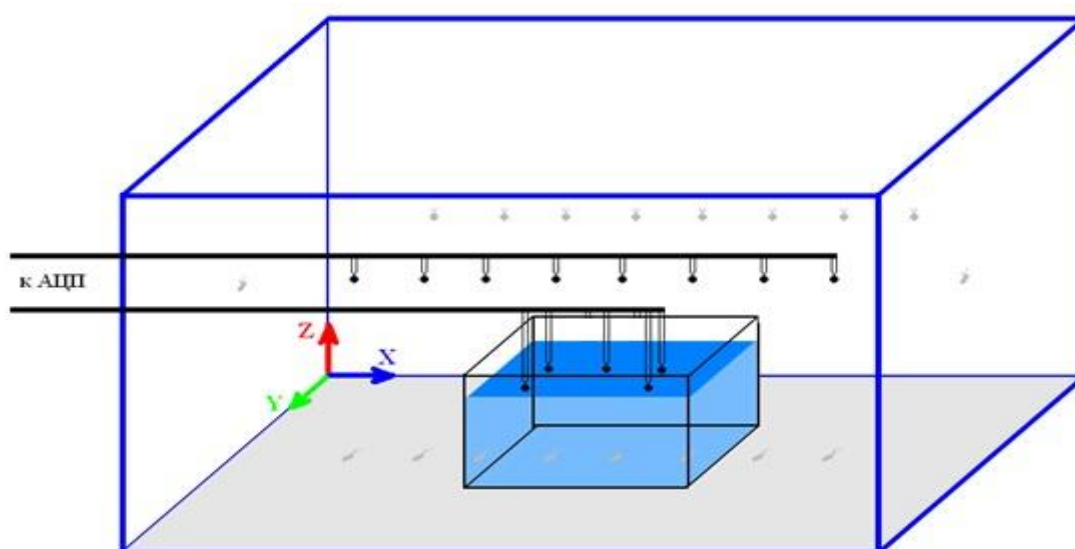


Рисунок 7 – Схематическое изображение расположения термопар в исследуемом объеме

Аналоговый сигнал с термопар преобразовывался в цифровой двумя 8-ми канальными измерителями температуры ОВЕН УКТ-38 Щ4 с основной приведенной погрешностью 0,5%. Цифровой сигнал от АЦП к ЭВМ передавался через адаптер сети ОВЕН АС-2. С помощью программного обеспечения National Instruments LabVIEW измеренные температуры отображались на экране компьютера в виде графической зависимости, числовых значений и сохранялись в файл на жестком диске с интервалом времени в две секунды (рисунки 8, 9). Параллельно контролировались значения

силы тока и напряжения на компрессоре установки, а также давление хладагона в линиях высокого и низкого давления.

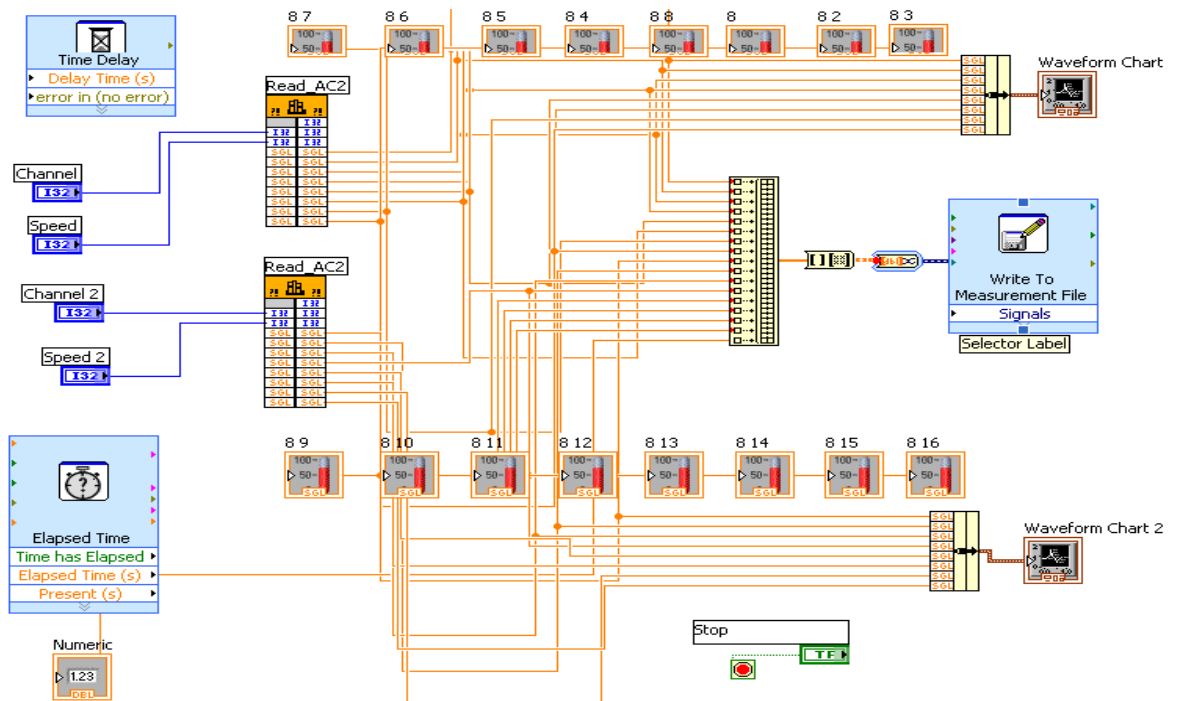


Рисунок 8– Фрагмент схемы компьютерной программы регистрации и обработки экспериментальных данных

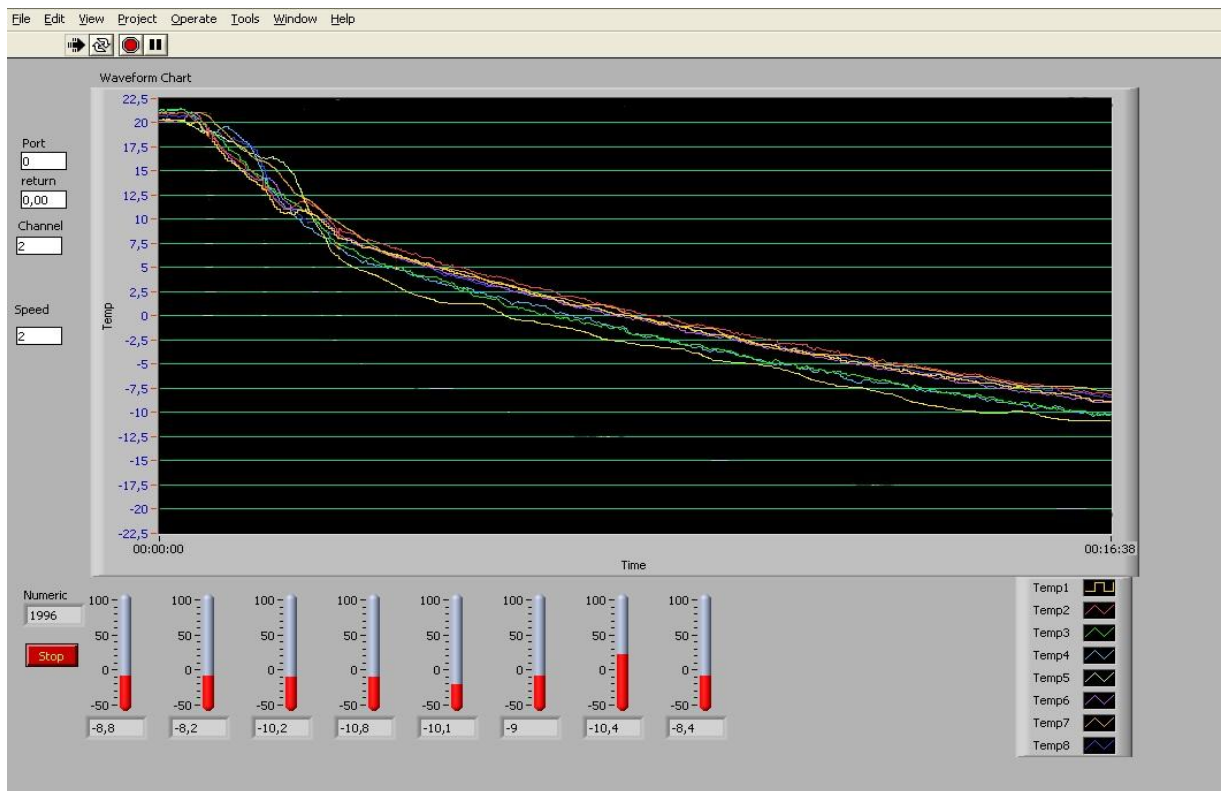


Рисунок 9– Фрагмент компьютерной программы регистрации и обработки экспериментальных данных

Отключение холодильной установки и, соответственно, окончание проведения опыта осуществлялось при условии достижения во всем объеме исследуемого образца заданной минимальной температуры (-30⁰C). Обработка и анализ полученных экспериментальных данных проводились с помощью программ Microsoft Excel, OriginLab Origin и MathWorks MATLAB.

2.4 Оценка погрешностей математического моделирования и экспериментального исследования

Проведем расчет погрешностей проведенных измерений.

Таблица 5- Результаты измерения температуры гравийного грунта при насыщении 100% ; Z=0 см; $\tau=10000$ сек.

n	T, °C	T, °C	T, °C
1	-19	-19,6	-19,7
2	-18,3	-18,5	-18,9
3	-18,1	-18,2	-17,6
4	-17,5	-17,1	-17,3
5	-15,9	-16,1	-16,2

Найдем средние арифметические значение величин:

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$x_{cp1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(-19) + (-19,6) + (-19,7)}{3} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^5 -56,3 = -19,4$$

Средняя квадратичная погрешность отдельного результата измерений (погрешность метода измерений):

$$n_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{cp} - x)^2 \cdot \frac{1}{n-1}};$$

$$n_{s_1} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{cp} - x)^2 \cdot \frac{1}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^5 ((-19,4) - (-19))^2 + ((-19,4) - (-19,6))^2 + ((-19,4) - (-19,7))^2 \cdot \frac{1}{3-1}} = 0,379$$

Среднее квадратичное отклонение среднего арифметического (погрешность результата серии измерений):

$$n_{s_{\bar{x}}} = \frac{n_s}{\sqrt{n}};$$

$$n_{s_{\bar{x}}} = \frac{n_s}{\sqrt{n}} = \frac{0,379}{\sqrt{3}} = 0,219.$$

Доверительная вероятность $\alpha=0.95$. Табличное значение коэффициента Стьюдента (при $\alpha=0.95$ и $n=3$) $t=4,303$.

Доверительный интервал Δx (абсолютная погрешность результата серии измерений):

$$\Delta x_i = t(\alpha, n) \cdot n_{s_{\bar{x}}};$$

$$\Delta x_1 = t(\alpha, n) \cdot n_{s\bar{x}} = 4,303 \cdot 0,219 = 0,941$$

Относительная погрешность результата серии измерений:

$$\delta x = \frac{\Delta x_i}{x_i};$$

$$\delta x = \frac{\Delta x_1}{x_1} = \frac{0,941}{-19,4} = 0,04840;$$

Таблица 6- Результаты доверительных интервалов

п	Среднее арифметическое значение Т, К	Доверительный интервал, °С	Относительная погрешность результата серии измерений
1	-19,43	±0,940555	0,04840
2	-18,57	±0,758978	0,04088
3	-17,97	±0,798603	0,04445
4	-17,30	±0,496868	0,02872
5	-16,07	±0,379489	0,02362

Для других серий опытов погрешность измерений рассчитывалась аналогично. Результаты расчетов приведены в приложении 2.

Относительная погрешность составила не более 5 %, доверительный интервал лежит в пределах 0,95 °С.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ51	Липчинский Дмитрий Алексеевич

Институт	Энергетический	Кафедра	теоретической и промышленной теплотехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	03.04.02 «Физика»

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	Смета затрат на выполнение проекта
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
ст. преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ51	Липчинский Дмитрий Алексеевич		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется главным образом коммерческой ценностью разработки, а не только ее ресурсоэффективностью и высокотехнологичными свойствами, которые в начале разработки продукта бывает достаточно трудно оценить. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но 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 ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, финансовой, экономической и социальной эффективности исследования.

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека - научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 10 дней, инженер- 147 дней.

4.1 Смета затрат на проект

Затраты на выполнения проекта ($K_{пр}$) складываются из следующих составляющих:

$$K_{пр} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}},$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты на выполнение проекта;

$K_{\text{ам}}$ -амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ -затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о.}}$ -затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ -прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ -накладные расходы.

4.1.1 Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

В таблице 7 представлено подробное описание материальных затрат на канцелярские товары при выполнении ВКР.

Таблица 7 - Канцтовары

Наименование	Цена
Бумага	350
Ручки	150
Флешка	500
Итого:	1000

4.1.2 Амортизация компьютерной техники

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники $K_{ам}$:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где $T_{исп.кт}$ - время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$ - календарное время(365 дней);

$C_{кт}$ -цена компьютерной техники;

$T_{сл}$ - срок службы компьютерной техники (5 лет).

Затраты и время работы компьютерной техники сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Стоимость и время работы компьютерного оборудования

Объект	Стоимость, руб.	Время использования, дней.
Компьютер	50000	42
Ноутбук	30000	80
Принтер	8000	8

Тогда амортизация составит:

$$K_{ам.компьютера} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{42}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 1150 \text{ руб};$$

$$K_{ам.ноутбука} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{80}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1315 \text{ руб};$$

$$K_{ам.принтера} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{8}{365} \cdot 8000 \cdot \frac{1}{5} = 35 \text{ руб};$$

$$K_{ам} = K_{ам.компьютера} + K_{ам.ноутбука} + K_{ам.принтера} = 1150 + 1315 + 35 = 2500 \text{ руб}.$$

4.1.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата рассчитывается для инженера и научного руководителя:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж} + ЗП_{нр},$$

где $ЗП_{инж}$ – заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}$ – заработная плата научного руководителя.

Заработная плата за месяц:

$$ЗП_{мес} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где $ЗП_o$ – месячный оклад, руб;

k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

k_2 – районный коэффициент (30%).

Заработная плата инженера (10 разряд):

$$ЗП_{инж} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб},$$

Заработная плата научного руководителя (15 разряд):

$$ЗП_{нр} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб},$$

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$ЗП_{инж.фак.} = \frac{ЗП_{инж.}}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 147 = 170170 \text{ руб.},$$

$$ЗП_{пр.фак.} = \frac{ЗП_{пр.}}{21} \cdot n = \frac{37609}{21} \cdot 10 = 17909 \text{ руб.}$$

где n- фактическое число дней работы в проекте.

В итоге затраты на оплату труда руководителя ВКР и инженера составят:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж.фак.} + ЗП_{пр.фак.} = 170170 + 17909 = 188079 \text{ руб.}$$

4.1.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные отчисления составляют 30% от $K_{з/пл}$ и равны:

$$K_{с.о.} = K_{з/пл} \cdot 0,3 = 188079 \cdot 0,3 = 56424 \text{ руб.}$$

4.1.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаем в размере 10% от суммы материальных и амортизационных затрат, затрат на заработную плату, а также затрат на социальные отчисления:

$$K_{пр} = (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.}) \cdot 0,1 = (1000 + 2500 + 188079 + 56424) \cdot 0,1 = 24800 \text{ руб.}$$

4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаем в размере 200% от затрат на заработную плату $K_{з/пл}$:

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2 = 188079 \cdot 2 = 376158 \text{ руб.}$$

Составим итоговую смету затрат на выполнения проекта:

Таблица 9 – Смета проекта

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизационные затраты	2500
Затраты на заработную плату	188079
Социальные отчисления	56424
Прочие затраты	24703
Накладные расходы	376158
Итого:	648864

4.2 Смета затрат на материалы для реализации проекта

В таблице 10 представлено подробное описание расходов на материалы, необходимые для реализации проекта:

Таблица 10 - Расходы на материалы

Статьи расходов	Единица измерения	Цена, руб	Объем потребления	Итого, руб.
Канцелярские товары	-	-	-	1000
Заправка картриджа	Шт.	500	1	500
Бумага	Шт. пачек	250	1	250
Электроэнергия	кВт/ч	4,25	343,1	1458
Грунты различных типов	Шт.	50	4	200
Термопара	Шт.	50	8	400
Компрессор	Шт.	1500	1	1500
Набор отверток	Шт.	300	1	300
Итого:				5608

4.3 Оценка ресурсоэффективности

Основные критерии ресурсоэффективности

Социальная эффективность – продвижение исследований в данной области.

Техническая эффективность – исследование в данной области позволит получить новые способы увеличения эффективности работы термосифонов.

Научная эффективность – на сегодняшний день изучение данной проблемы не так глубоко, наше исследование позволит получить новые данные.

Коммерческая эффективность – изучение данной проблемы в будущем может привести к уменьшению размеров установки, что сделает ее менее материалозатратной, к увеличению КПД что сделает ее более конкурентно способной и увеличит спрос.

Экономическая эффективность – позволит в будущем получать доход.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Затраты на выполнение ВКР в общей сложности в первом исполнении составили 647887 руб, во втором 572732 руб., в третьем 593464 руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{р1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{647887}{647887} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{р2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{572732}{647887} = 0,884$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{р3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{593464}{647887} = 0,916$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 11- Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	5	3
3. КПД	0,1	5	4	4
4. Равномерность промерзания	0,05	4	4	5
5. Компактность	0,1	4	3	5

6. Диапазон температур	0,1	3	5	4
7. Энергосбережение	0,15	4	3	5
8. Надежность	0,2	4	5	3
9. Материалоемкость	0,1	4	4	5
ИТОГО	1	4	4,25	4,1

$$I_{p-исп1} = 4*0,1 + 4*0,1 + 5*0,1 + 4*0,05 + 4*0,1 + 3*0,1 + 4*0,15 + 4*0,2 + 4*0,1 = 4;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,1 + 5*0,1 + 4*0,1 + 4*0,05 + 3*0,1 + 5*0,1 + 3*0,15 + 5*0,2 + 4*0,1 = 4,25 ;$$

$$I_{p-исп3} = 4*0,1 + 3*0,1 + 4*0,1 + 5*0,05 + 5*0,1 + 4*0,1 + 5*0,15 + 3*0,2 + 5*0,1 = 4,1;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4}{1} = 4$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,25}{0,884} = 4,8$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}} = \frac{4,1}{0,916} = 4,5$$

С целью определения наиболее целесообразного варианта из предложенных сравним интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки и определим сравнительную эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4}{4,8} = 0,83$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.3}} = \frac{4}{4,5} = 0,89$$

Таблица 12 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,884	0,916
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	4,25	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4	4,8	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,83	0,89

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению.

Экспериментальное исследование физических процессов при заморозке пористых веществ может найти применение в процессах транспортировки и хранения сжиженного природного газа. Данное исследование дает возможность более точно спрогнозировать тепловое состояние промышленных объектов, в частности резервуаров СПГ, в которых они используются и выработать рекомендации для их эффективного применения. Возможно применение в пищевой промышленности при прогнозировании качества и скорости замораживания пористых продуктов. Также данная тематика может найти применение в теплотехнике- при оценке характера заморозки конденсата в теплоизоляционных материалах низкотемпературных трубопроводов.

Итак, спрос на данное исследование могут проявлять:

а) коммерческие организации, заинтересованные в оптимизации своего производства и минимизации расходов:

- компании, эксплуатирующие резервуары для хранения СПГ;
- предприятия, занимающиеся производством холодильных установок ;
- компании, занимающиеся производством различных теплоизоляционных материалов;
- предприятия, эксплуатирующие иное низкотемпературное оборудование;

б) государственные структуры:

- Сахалин Энерджи производственный комплекс «Пригородное»;
- ООО «Газпром сжиженный газ»;
- Российское энергетическое агентство