

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
Экспериментальное исследование процесса теплообмена в пористых насыщенных жидкостью веществах

УДК 621.1.016.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Федорович Алексей Николаевич		08.06.2016

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
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 результата	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

(бакалаврской работы)

Студенту:

Группы	ФИО
5Б2Б	Федорович Алексей Николаевич

Тема работы:

**Экспериментальное исследование процесса
теплообмена в пористых насыщенных жидкостью
веществах**

Утверждена приказом ректора (дата, номер) № 2540/с от 01.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы: 10.06.2016 г.

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 – пористый материал – пенополиуретан, насыщенный жидкостью, охлаждаемый до низких температур с помощью холодильной установки при различном насыщении.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор источников по теме; цели и постановка задачи; создание экспериментальной установки; формирование методики проведения эксперимента; анализ экспериментальных исследований; финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Слайды презентации на _____ страниц</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основной раздел</p>	<p>Максимов Вячеслав Иванович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Дашковский Анатолий Григорьевич</p>

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

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>26.02.2016 г.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов Вячеслав Иванович	к.т.н.		26.02.2016 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Федорович Алексей Николаевич		26.02.2016 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 32 рис., 26 табл., 38 источника.

Ключевые слова: пористое вещество, заморозка, холодильная установка, кристаллизация, тепломассобмен.

Объектом исследования является пористый материал насыщенный жидкостью, охлаждаемый до низких температур с помощью холодильной установки при различном объеме насыщения.

Цель работы – экспериментальное исследование процессов тепло- и массопереноса в замораживаемом пористом веществе при различном насыщении жидкостью.

Экспериментально получены значения температур в замораживаемом пористом материале при различном насыщении жидкостью. Получены зависимости времени кристаллизации жидкости и распределений значений температур в различных сечениях объема пористого материала от времени его охлаждения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: температура $240\div 294$ К, пористость материала 72% и объем жидкости в исследуемом материале $0\div 20$ мл.

Степень внедрения: методика проведения и разработанная экспериментальная установка могут использоваться для проведения лабораторных работ по курсам связанных с изучением процессов теплообмена и фазового перехода.

Область применения: результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для проектирования, разработки и эксплуатации теплоизоляционных материалов, используемых в низкотемпературных условиях на объектах теплоэнергетики и в других отраслях промышленности.

Экономическая значимость работы: показатели экономической эффективности рассчитаны в разделе 3.

Оглавление

Введение.....	5
Обзор литературы.....	7
Методика экспериментального исследования.....	29
Анализ погрешностей измерений.....	32
Основные результаты исследования и их анализ.....	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	49
4.1 SWOT-анализ экспериментального исследования.....	49
4.2 Экспертная оценка.....	51
4.3 Календарный план выполнения исследования.....	54
4.4 Бюджет проекта.....	58
4.5 Оценка ресурсоэффективности.....	60
5 Социальная ответственность.....	65
5.1.1 Обеспечение надлежащего микроклимата в помещении.....	65
5.1.2 Обеспечение снижения уровня электромагнитного излучения.....	66
5.1.3 Обеспечение санитарных норм по освещению.....	67
5.1.4 Обеспечение санитарных норм по уровню шума.....	71
5.2.1 Обеспечение электробезопасности.....	72
5.3 Экологическая безопасность проекта.....	73
5.4 Обеспечение безопасности при ЧС.....	73
5.5 Анализ условий труда.....	75
Заключение.....	77
Список используемых источников.....	78

Введение

Процессы переноса во влажных пористых средах при тепловом воздействии актуальны не только с точки зрения сушки, которая широко распространена во многих отраслях народного хозяйства, но и при эксплуатации насыщенной водой тепловой изоляции в низкотемпературных условиях. У пористых материалов наземных строительных конструкций в атмосферных условиях вода заполняет лишь часть общего объема пор. При замораживании вода отжимается в свободные поры, и этим, в частности, обуславливается способность пористых материалов противостоять разрушающему действию многократного замораживания и оттаивания находящейся в их порах воды.

Пористые материалы, как правило, являются достаточно морозостойкими, если при насыщении вода заполняет не более 85% объема пор.

Насыщение жидкостью пористого теплоизоляционного материала при заморозке ведет к изменению не только его физических свойств, но и теплоизоляционных свойств. Заморозка таких насыщенных жидкостью пористых материалов может привести к конструктивному нарушению целостности тепловой изоляции. Прогнозирование поведения насыщенного теплоизоляционного материала в условиях заморозки является необходимым для эффективной и безопасной эксплуатации низкотемпературных устройств.

Следовательно, изучение процессов массо- и теплопереноса во влажных пористых замораживаемых веществах является необходимым для надежной работы и эксплуатации теплоизоляционных материалов, используемых в низкотемпературных условиях на объектах теплоэнергетики и в других отраслях промышленности.

В данной работе исследуется процесс заморозки пористых, насыщенных жидкостью, веществах при различных условиях теплообмена.

Цель работы: экспериментальное исследование распределения температуры в пористом, насыщенном жидкостью, веществе при различных условиях теплообмена на внешних границах.

Научная новизна работы: Разработана методика и создана экспериментальная установка для изучения процессов заморозки пористого, насыщенного жидкостью, вещества при различных условиях теплообмена на внешних границах. Проведены экспериментальные исследования процесса заморозки пористого, насыщенного жидкостью, материала. Выявлены основные механизмы влияния насыщенности жидкости пористого материала на процесс его заморозки.

Практическая значимость: методика проведения и разработанная экспериментальная установка могут использоваться для проведения лабораторных работ по курсам связанных с изучением процессов теплообмена и фазового перехода. Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для проектирования, разработки и эксплуатации теплоизоляционных материалов, эксплуатируемых в низкотемпературных условиях на объектах теплоэнергетики и в других отраслях промышленности..

Обзор литературы

Экспериментальному исследованию свойств тепловой изоляции при заморозки пористых материалов, насыщенных жидкостью, в настоящее время посвящено относительно небольшое количество работ. Однако, математическое моделирование свойств пористого, насыщенной жидкостью материала, встречается гораздо чаще. В статье [1] произведен анализ процесса распределения акустических волн во влажных насыщенных газом пористых средах в двухскоростном приближении. Рассматривается пористая среда, стенки материала, которого покрыты тонкой водной пленкой, а сам материал насыщен газом. В результате были получены уравнение импульсов для всей системы в целом и уравнение импульсов для жидкой фазы. В итоге, получено дисперсионное соотношение, которое учитывает теплообмен и межфазные силы взаимодействия между скелетом пористой среды, жидкостью и газом.

Следующая работа была посвящена модернизации метода исследования пористых теплоизоляционных материалов и совершенствованию установки с целью повышения уровня максимальных температур [2]. В работе представлена новая модификация метода и новый вариация экспериментальной установки, которые предназначены для исследований эффективной теплопроводности пористых теплоизоляционных материалов в диапазоне температур $T = 500\text{--}1825$ К. В ходе работы была произведена модернизация установки за счет новых высокотемпературных материалов, что сделало возможным увеличить температуру исследования коэффициента теплопроводности от 1500 до 1825 К. Измерения проведены из двух серий испытаний, в которых определялись температурные зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности двух волокнистых теплоизоляционных материалов в вакууме и азотной среде. Результаты испытаний показаны на рисунке 1 в виде температурных зависимостей эффективных коэффициентов теплопроводности в вакууме и азотной среде

при атмосферном давлении. На рисунке 2 показаны результаты испытаний в виде барометрических зависимостей при постоянных температурах изучаемых материалов. Температурные зависимости для материала 1 получены в диапазоне $T = 550 \div 1825$ К в условиях вакуума и в диапазоне $T = 550 \div 1725$ К при атмосферном давлении.

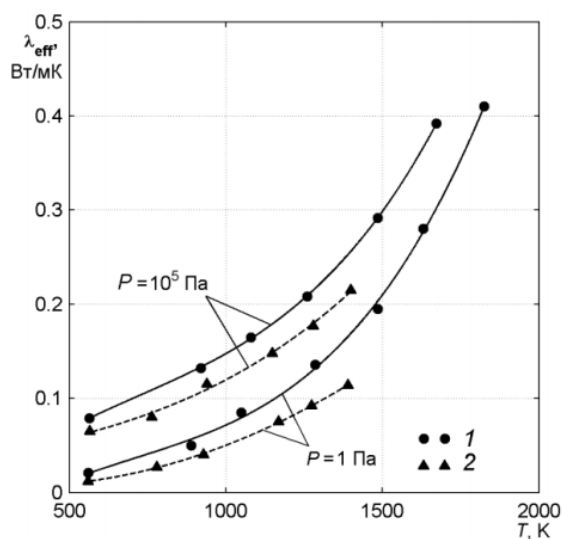


Рисунок 1 – температурные зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности:
1- материал 1; 2- материал 2.

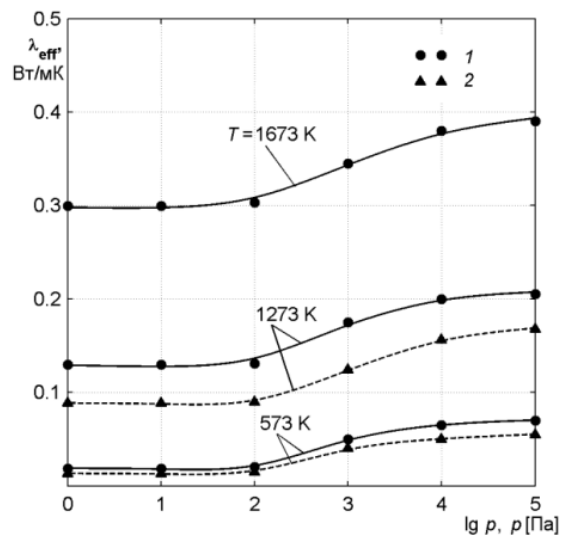


Рисунок 2 – барометрические зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности:
1- материал 1; 2-материал 2.

Для материала 2 получены зависимости в диапазоне $T = 550 \div 1425$ К. По данным рисунка 2 видно, что значение эффективного коэффициента теплопроводности для обоих материалов монотонно возрастают с ростом температуры и давления в газовой среде в камере. При этом значение эффективного коэффициента теплопроводности для материала 1 выше, чем материала 2 как в вакууме, так и при атмосферном давлении. Анализ барометрических зависимостей, изображенных на рисунке 3, демонстрирует, что первостепенный рост коэффициентов эффективной теплопроводности материалов в газовой среде происходит в диапазоне давлений $p = 10^2 \div 10^5$ Па, где величина возрастает в 4,1 и в 1,5 раза при температурах $T = 573$ и 1273 К для материала 1. Для материала 2 величина эффективного коэффициента теплопроводности возрастает в 4,4 и в 1,9 раза при температурах $T = 573$ и 1273 К соответственно. Следовательно, соразмерное достижение газовой составляющей теплопереноса в исследованных материалах снижается с увеличением температуры.

В работе [3] изучается влияние периодической модуляции теплового потока на возбуждение конвективного движения в подогреваемой снизу двухслойной системе однородная жидкость – пористая среда, насыщенная той же жидкостью в поле силы тяжести. На верхней границе поддерживается постоянное значение температуры, на нижней границе – температура меняется периодически около ее ненулевого среднего значения. Считается что обе границы твердые и непроницаемые. Е.А. Колчанова и Н.В. Колчанов исследовали устойчивость квазиравновесия в двухслойной системе слоев жидкости и насыщенной пористой среды. Конвекцию в жидком слое описывали в рамках приближения Бусинеска [4], в пористом слое – в рамках приближении Дасрси-Буссинеска [5].

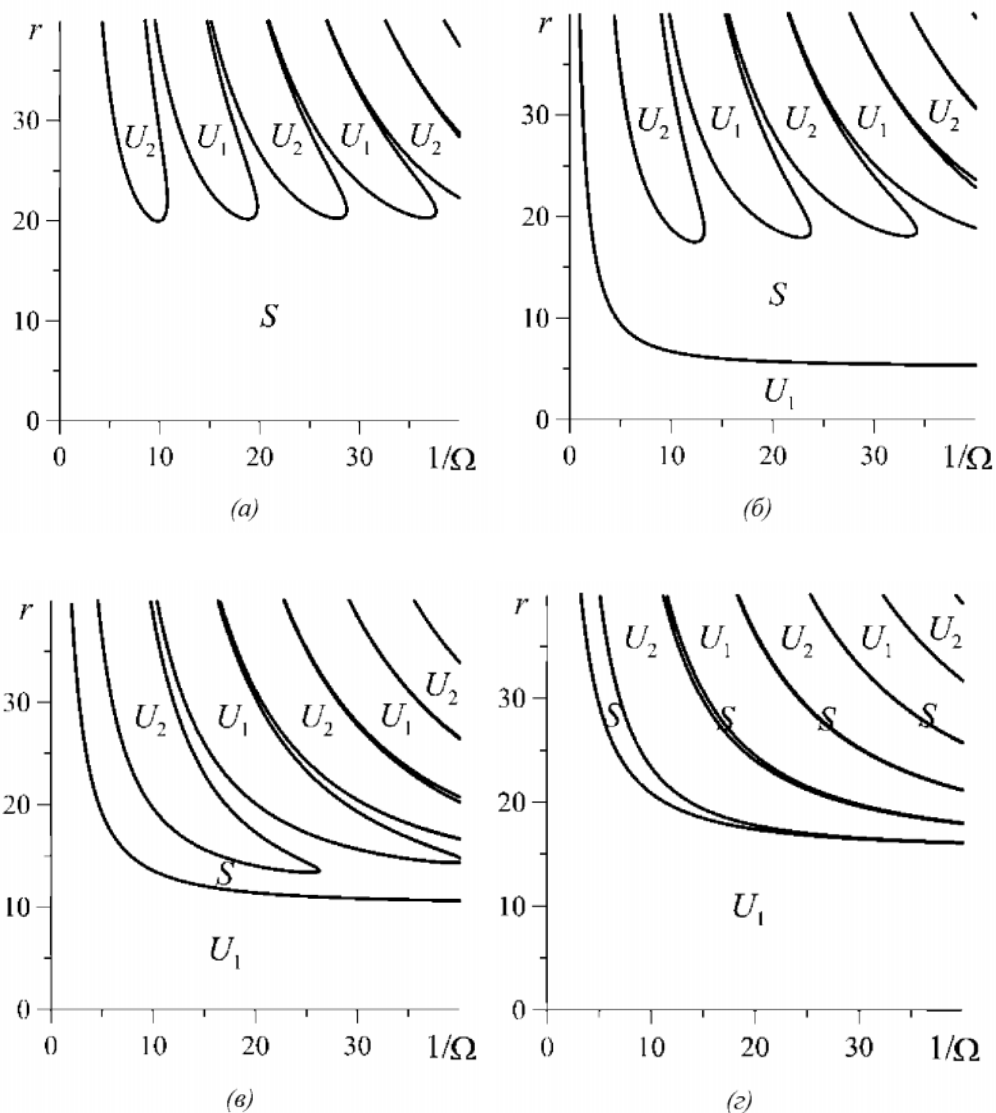


Рисунок 3 – карты устойчивости равновесия при $d=0.15$, $\varepsilon=10^{-5}$ и $k=18$ для различных значений приведенного числа Релея-Дарси R : 0-(а), 2-(б), 5-(в), 10-(г). U_1 – области неустойчивости по отношению к возмущениям синхронного отклика, U_2 – области неустойчивости по отношению к возмущениям субгармоничного отклика, S – область устойчивости.

Настоящая работа является продолжением работы [6], где исследовалось влияние периодической модуляции теплового потока на возникновение длинноволновых возмущений равновесия в рассматриваемой системе при различных значениях приведенного числа Релея-Дарси, характеризующего интенсивность нагрева в системе. В результате работы [6] было изучено влияние условий на границе раздела слоев на устойчивость

равновесия по отношению к малым коротковолновым и длинноволновым возмущениям при фиксированном значении числа Релея-Дарси.

На рисунке 4 показаны карты устойчивости квазиравновесия, при заданных параметрах: d - отношение толщин слоев, ε – безразмерная проницаемость пористого слоя, k – отношение теплопроводностей насыщенной пористой среды и жидкости.

В работе [3] найдены области неустойчивости для различных длин волн, проведен анализ конкуренции длинноволновых и коротковолновых возмущений при изменении частоты и амплитуды модуляции и построены карты устойчивости равновесия по отношению к коротковолновым возмущениям при изменении приведенного числа Релея-Дарси. Так же определены области неустойчивости равновесия по отношению к синхронным и субгармоническим возмущениям при изменении амплитуды и частоты модуляции для различных значений длины волны. Показано, что уменьшением длины волны порог устойчивости равновесия значительно понижается, что объясняется различной ролью инерционных эффектов в слоях однородной жидкости и насыщенной пористой среды. Скелет пористой среды препятствует течению жидкости в ней, поэтому для возбуждения конвективного течения с большой длиной волны, охватывающего слои жидкости и пористой среды, необходимо существенно повысить амплитуду модуляции.

В работе [7] были проведены эксперименты по увлажнению и сушке технического гранулированного мелкопористого силикагеля марки КСМГ. Перед проведением экспериментов определялась начальная влажность зернистого силикагеля микроволновым методом, при этом были выделены три режима экстракции влаги: поверхностный, внутренний с испарением свободной влаги и внутренний с испарением связанной влаги. Осуществленные эксперименты по акусто-конвективной сушке образцов показали, что

а) при одинаковой интенсивности и частоте звукового поля зерна силикагеля, имеющие более высокую начальную влажность, характеризуются большей скоростью экстракции влаги, чем менее влажный;

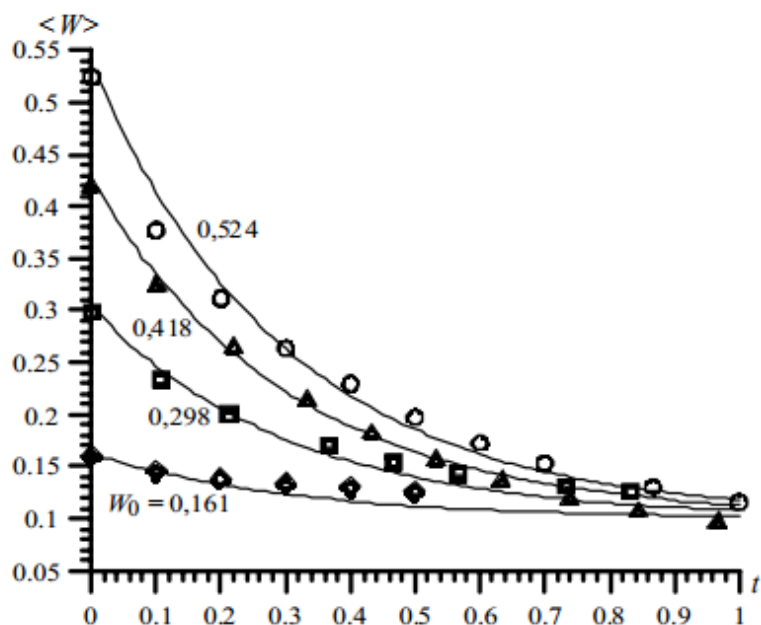


Рисунок 4 – зависимости изменения среднего влагосодержания в процессе акусто-конвективной сушки

б) при одинаковой начальной влажности зерен силикагеля повышение частоты озвучивания приводит к интенсификации процесса экстракции влаги.

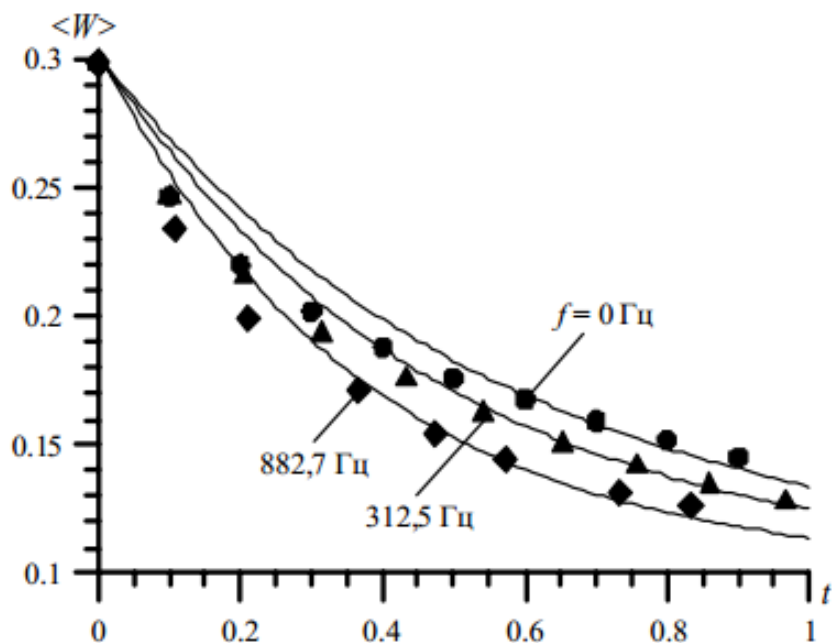


Рисунок 5 – изменение среднего влагосодержания $\langle W \rangle$ силикагеля в процессе сушки образцов при различных частотах

На рисунках обозначено: точки – эксперимент, кривые – расчет.

Для определения влагопереноса в цилиндрической засыпке силикагеля при акусто-конвективном воздействии использовали двухмерное уравнение диффузии влаги, представленное в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, r и z – пространственные координаты.

Уравнение (1) дополняется граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned} \text{при } t = 0 \quad W(0, r, z) &= W_0, & (2) \\ \text{при } (r, z) \in [0, R] \times [0, l]; \\ \text{при } r = 0 \quad \partial W(t, 0, z) / \partial r &= 0 \\ \text{при } r = R \quad \partial W(t, R, z) / \partial r &= -\alpha(W - W_K) S_{\text{бок}}; \\ \text{при } z = 0 \quad \partial W(t, r, 0) / \partial z &= \alpha(W - W_K) S_{\text{торец}}; \\ \text{при } z = l \quad \partial W(t, r, l) / \partial z &= -\alpha(W - W_K) S_{\text{торец}}; \end{aligned}$$

где W – влажность в засыпке, W_0 – начальная влажность в засыпке, а W_K – конечная влажность в окружающей среде; α – коэффициент влагоотдачи; R – радиус цилиндрической засыпки; l – длина цилиндрического образца; $S_{\text{бок}}$ и $S_{\text{торец}}$ – площадь боковой и торцевой поверхности образца.

На рисунке 4 представлено сравнение расчетных и экспериментальных значений по зависимости изменения среднего влагосодержания в процессе акусто-конвективной сушки. По зависимостям можно сказать, что согласование расчетных и экспериментальных данных удовлетворительное.

На рисунке 5 представлено изменение среднего влагосодержания W силикагеля в процессе сушки образцов при различных частотах. В итоге сравнения расчетных кривых и экспериментальных данных получена зависимость коэффициента влагоотдачи от частоты акусто-конвективного воздействия, которую можно представить квадратным полиномом вида

$\alpha(f) = \alpha(f)^2 + b(f) + \alpha_0$ с коэффициентами: $\alpha = 0.0187$; $b = 3.6399$ и $\alpha_0 = 5925.9$. Здесь α_0 – значение коэффициента влагоотдачи при частоте, равной нулю.

Работа [8] посвящена рассмотрению задачи о резонансном воздействии на конечный слой пористой среды, насыщенной жидкостью. Объектом исследования является упругая пористая среда, насыщенная линейно сжимаемой вязкой жидкостью. Представлена возможность возникновения однонаправленных движений жидкости в пористой среде с помощью волнового действия. Представлен характер этих процессов и установлена главенствующая роль быстрой волны, связанной с передачей импульса в скелете. Теоретически зафиксирована возможность создания однонаправленных движений жидкости в пористой среде при помощи волнового воздействия. Волновое действие на такие среды приводит к образованию громадных эффективных средних перепадов давления. Важным аспектом при расчетах волновых процессов в таких средах является учет трения в скелете, которое качественно влияет на характер процессов.

Рассмотренный, в работе [9], горизонтальный бесконечный слой пористой среды, ограниченный твердыми параллельными плоскостями $z = 0$ и $z = L$, характеризуется коэффициентами пористости ε и проницаемости K . На границах слоя отмечается температура и разность температур между плоскостями Θ . При помощи уравнения конвективной фильтрации жидкости в приближении Буссинеска и в двухтемпературном приближении для среды Дарси [10], приведенного к безразмерному виду получили, что в подогреваемом снизу плоском слое возможно равновесие, при котором температура будет изменяться с высотой. Далее из уравнений было получено одно уравнение, определяющее границу конвективной устойчивости R_2 , которое зависело от параметра межфазного теплообмена a и от отношения коэффициентов теплопроводности пористого скелета и жидкости b . Проанализировав влияние на порог устойчивости параметров a и b , которые

появляются в уравнениях конвективной фильтрации при отдельной передаче тепла твердой и жидкой фазами среды. На рисунке 6 представлены нейтральные кривые основного уровня неустойчивости для $b=1, \varepsilon=0,3$ и различных значений параметра межфазного теплообмена a . Можно заметить, что с увеличением параметра a повышается устойчивость и изменяется волновое число наиболее опасного возмущения.

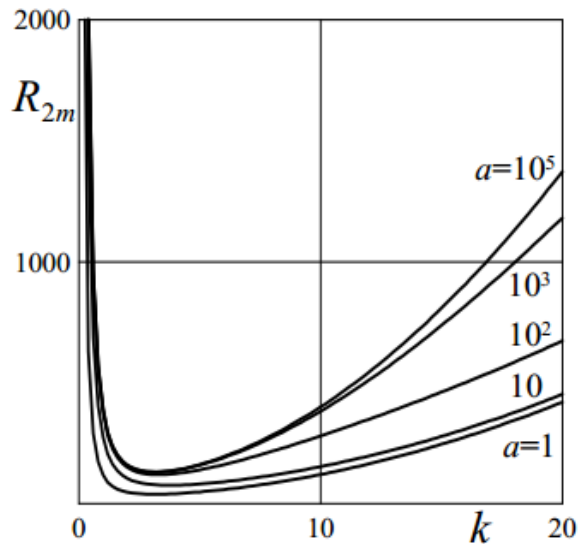


Рисунок 6 – нейтральные кривые для различных значений параметра a

На следующем рисунке 7 представлены зависимости минимального значения критического параметра R_{2m} и соответствующего ему волнового числа k_m от параметра a . По данным зависимостям можно сказать, что порог устойчивости и длина волны критического возмущения заметно меняется при $a < 100$.

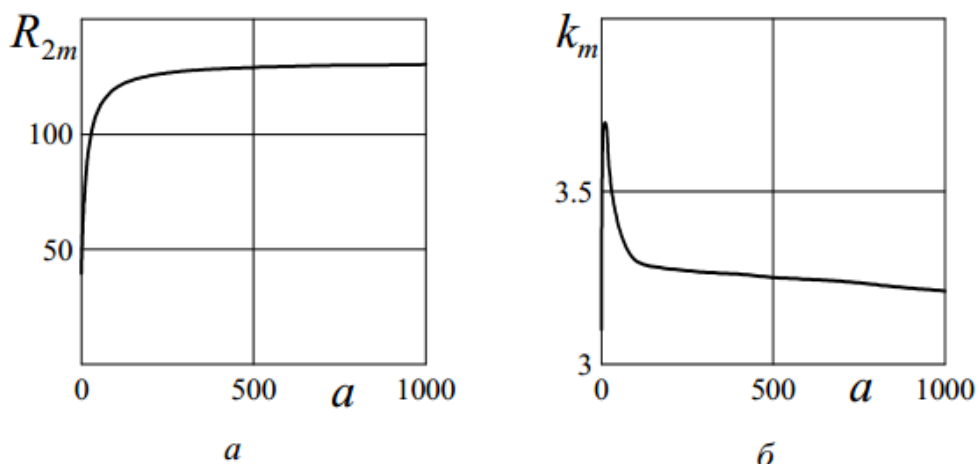


Рисунок 7 – минимальное критическое число R_{2m} (а) и соответствующее ему волновое число k_m (б) в зависимости от параметра a

По аналогии были построены нейтральные кривые для различных значений параметров b и ε . На рисунке 8 показаны нейтральные кривые основного уровня неустойчивости для различных значений параметра b при установленных значениях других параметров: $a = 10, \varepsilon = 0,3$, по которым можно сказать, что с повышением b минимальное значение критического параметра R_2 увеличивается линейно.

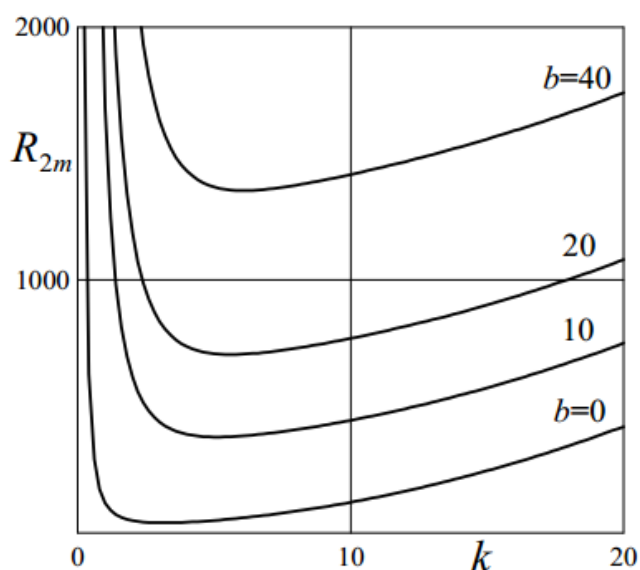


Рисунок 8 –нейтральные кривые для различных значений параметра b

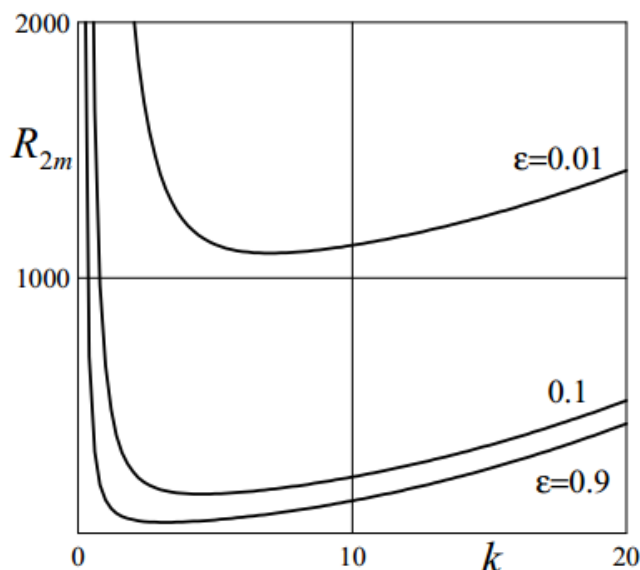


Рисунок 9 – нейтральные кривые для различных значений параметра ε

В данной работе изучается влияние ε на положение и форму нейтральных кривых в предположении, что пористость может варьироваться при $a = const$. Результаты изучения показаны на рисунке 9, по которым видно, что пористость не сильно влияет на теплообмен, если коэффициент пористости меняется в диапазоне $0,1 < \varepsilon < 1$. Тем не менее, при малых значениях ε удельный вес жидкости в пористой среде становится чрезвычайно низким, и тепло передается в фактически твердой фазой. Это увеличивает порог устойчивого состояния равновесия.

Таким образом, в данной работе было теоретически исследовано возникновение конвекции в горизонтальном слое насыщенной пористой среды, которое показало, что порог устойчивости состояния равновесия существенно зависит от параметров задачи: коэффициента межфазного теплообмена, отношения коэффициентов теплопроводности твердой и жидкой фазой, пористости. Что приводит к выводу, что сфера применения однотемпературной модели передачи теплоты в пористых средах имеет предел. То есть, обязательными условиями применения однотемпературной модели к исследованию конвекции в пористых средах являются большой характерный размер задачи и высокий коэффициент межфазового теплообмена.

В работе [11] была поставлена плоскопараллельная задача эволюции границы раздела жидкостей, с разными значениями вязкости и плотности в однородном анизотропном слое пористой среды. Изучение задачи было сведено к решению системы дифференциального и интегрального уравнений при заданных начальных условиях. В ходе исследования предложен численный метод решения этих уравнений на основании метода дискретных особенностей. Полученный численный метод дает возможность изучать широкий класс задач эволюции границы раздела жидкостей в однородном

анизотропном слое пористой среды. Определенные задачи по исследованию эволюции границы раздела жидкостей решены в [12,13].

Работа [14] посвящена теоретическому изучению волновых процессов во влажных, насыщенных газом пористых средах с учетом межфазных сил взаимодействия, массообмена и теплообмена между скелетом пористой среды, газом и жидкостью. Исследуемым материалом является влажная насыщенная газом пористая среда, а конкретнее губка. Была записана система уравнений теплопроводности, после ее решения было получено дисперсионное соотношение, на основе которого проводились численные расчеты. Из этих расчетов вытекли следующие выводы: на размеры пор среды и на диапазоны частот, на распространение акустических волн, могут оказывать влияние теплообменные, массообменные и тепломассообменные процессы вместе взятые. Толщина слоев водной пленки оказывает влияние на затухание и скорость «быстрой» волны: чем меньше толщина пленки, тем больше коэффициент затухания для соответствующих частот и меньше скорость «быстрой» волны. При этом, скорость «медленной» волны меняется незначительно. Также был сделан вывод, что материал и скелет пористой среды влияет на затухание и скорость «быстрой» волны. И с ростом плотности и модуля упругости материала скелета уменьшается затухание «быстрой» волны и увеличивается скорость ее распространения.

В следующей работе [15] для изучения небуссинесковского эффекта в развитии конвекции Рэдея-Дарси (горизонтальный пористый слой, нагреваемый снизу) в качестве исследуемого материала используют пористую среду, заполненную жидкостью с параметрами вблизи термодинамической точки. Заданный параметр начальной температуры очень близок к критической, из-за чего профиль плотности жидкости имеет нелинейный вид, а термодинамические коэффициенты изменяются по пространству в несколько раз. Для реализации исследования осуществлено численное моделирование динамики и теплопереноса в твердом

неподвижном скелете, заполненном жидкостью по принципу уравнения состояния Ван-дер-Ваальса жидкой фазы и уравнений движения и энергии пористой среды. Базовые уравнения были приведены в [16-18]. Исследуется горизонтальный пористый слой, подобный песку, длиной 0,8 м и высотой 0,1 м, пористостью $\phi=0,4$. Насыщение происходит веществом CO_2 . Получены зависимости температуры, плотности и коэффициента теплового расширения в моменты времени: $t=0$ (кривая 1), $t=45,2$ с (кривая 2), $t=452$ с (кривая 3), $t=1,08 \cdot 10^4$ с (кривая 4), и представлены на рисунке 10.

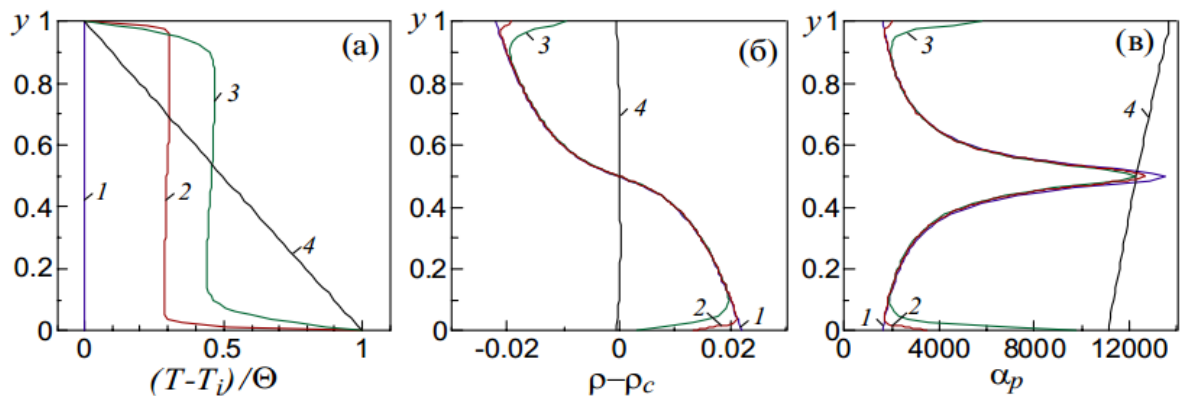


Рисунок 10 – зависимости температуры, плотности и коэффициента теплового расширения

Так же было исследованы поле плотности при подводе теплоты в определенные моменты времени. Результаты представлены на рисунке 11.

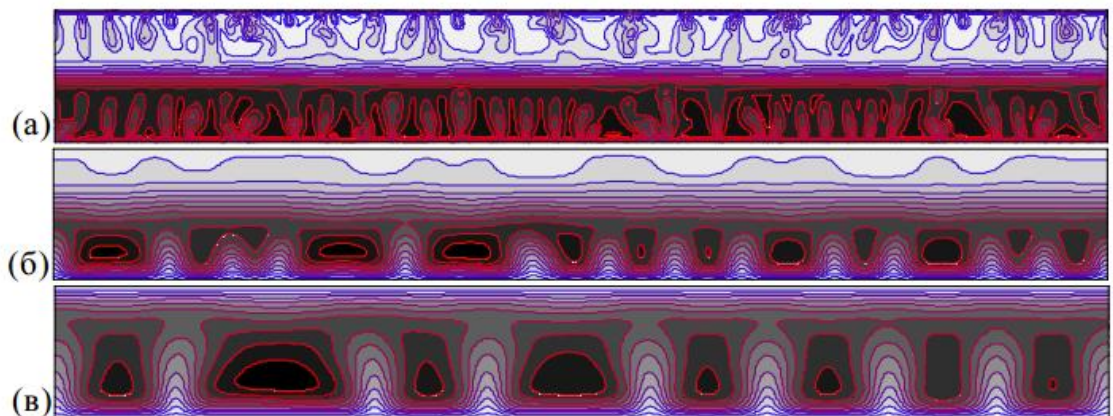


Рисунок 11 – поле плотности в моменты времени: $t = 1.14 \cdot 10^4$ с(а); $t = 1.2 \cdot 10^5$ с(б); $t = 1.08 \cdot 10^6$ с (в).

В процессе подвода теплоты к нижней границы на начальных этапах в жидкости начинается адиабатический нагрев, который свойственен сильно

сжимаемым средам и носит название «поршневым» эффектом [19]: вследствие которого центральная зона быстро прогревается, а у нижней и верхней границ образуются температурные пограничные слои (рисунок 10 а, кривые 1,3). С течением времени пограничные слои теряют свою устойчивость и в них начинает происходить конвективное движение (рисунок 11 а). Далее в верхней части движение подавляется, термики увеличиваются и проникают вверх (рисунок 11 б,в). Причем конвективное движение прекращается, не дойдя до верхней границы благодаря влиянию стратификации плотности. Рост конвекции оказывает выравнивание полей термодинамических величин, с течением времени изменение этих величин поперек слоя начинается равномерным (рисунок 10 а-в, кривые 4). Также отмечается, что это первый результат численного моделирования конвекции в околоскритической жидкой фазе до такой степени близко к критической точке, что стратификация плотности имеет нелинейный вид, а физические свойства значительно меняются.

В статье [20] изучается теоретически распространение акустических волн во влажных насыщенных газом пористых средах, при учете межфазных сил взаимодействия, теплообмена между скелетом пористой среды, газом и жидкостью. Принимается к сведению вязкоупругие характеристики скелета пористой среды, и полагается, что утонченный слой жидкости равномерно располагается на внутренней поверхности ее пор. Доработав и учтя недостатки предыдущих экспериментаторов [21-26] была записана система уравнений и физических соотношений, объясняющая распространение акустических волн во влажной среде. После проведенной работы были получены следующие выводы: при увеличении объемного содержания водной пленки при постоянном объеме газовой фазы увеличивается коэффициент затухания и уменьшается скорость «быстрой» волны, что происходит на основе эффекта «утяжеления» скелета водой; с увеличением объемного содержания скелета при постоянном объеме жидкости

увеличивается скорость «быстрой» волны, на основании вязко-упругих свойств скелета; при снижении массовой доли газа и увеличении массовой доли воды скорость «быстрой» волны уменьшается, так как это зависит от роли жидкости как «утяжелителя» скелета. В то время как, скорость «медленной» волны снижается на низких частотах и возрастает на высоких частотах.

В работе [27] представлена численная модель для моделирования мезоскопического переноса тепла и влаги в мерзлой почве в процессе замораживания. Модель включает в себя способ роста генерации для восстановления стохастической структуры почвы с заданными геометрическими параметрами. Метод решетчатых уравнений Больцмана или метод решетки Больцмана (МРБ), позволяет описать модель для решения многофазного потока текучей среды и модель для решения теплопроводности с изменением фазы в пористых средах. Заданы два типа граничных условий: распределение температуры и адиабатическое граничное условие. Все численные результаты достаточно точно подтверждаются экспериментальными исследованиями. Учитывая мезоскопический характер МРБ, предполагаемая модель является альтернативой традиционным моделям континуума. Исследования показывают, что процесс замораживания делится на три зоны, как показано на рисунке 12.

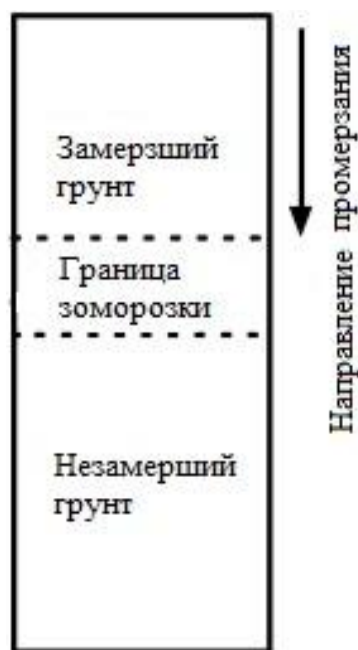


Рисунок 12 – иллюстрация трех областей в процессе замораживания

В замершем грунте влага перемещается вдоль градиента температуры от высокой температуры к низкой, как в процессе оттаивания, так и при замерзании. Процессы замораживания и высушивания имеют практически одинаковый эффект при удалении воды из почвы. Однако замораживание обеспечивает более быстрый процесс, чем сушка, градиент потенциала содержащего большое количество влаги приводит к быстрому восхождению потока воды. Сравнение экспериментальных результатов и результатов моделирования распределения воды по глубине исследуемого материала проводятся при 12, 24, 50 часах. Фронт замораживания отчетливо виден на рисунок. 13, рисунок 14, рисунок 15, где вода быстро накапливается. Можно наблюдать быстрое уменьшение количества воды в замороженной границе и медленное восстановление по глубине грунта. Кроме того благодаря мезоскопической природе МРБ, модель используемая в исследовании, способна не только определить макроскопическое содержание воды, но также предлагает подробное описание того, как микроскопическая структура влияет на распределение воды во время процесса замораживания, который отсутствует в существующих макроскопических моделях.

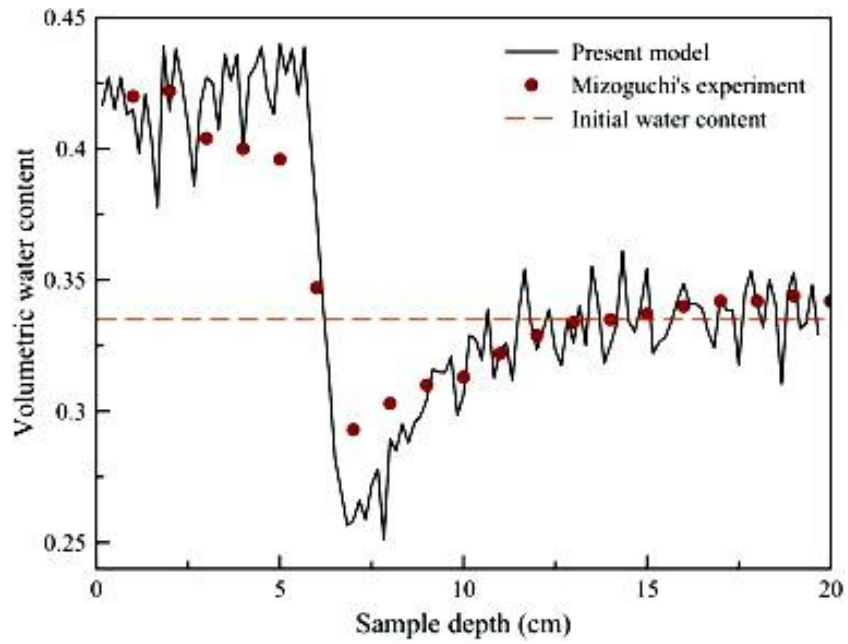


Рисунок 13 – сравнение экспериментальных и численных результатов распределения воды после 12 часов замерзания

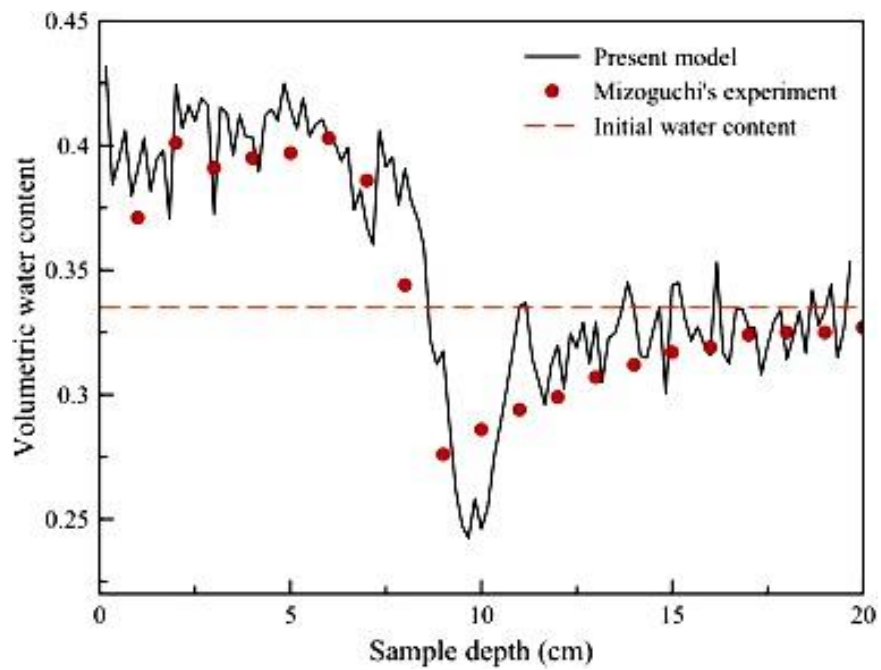


Рисунок 14 – сравнение экспериментальных и численных результатов распределения воды после 24 часов замерзания

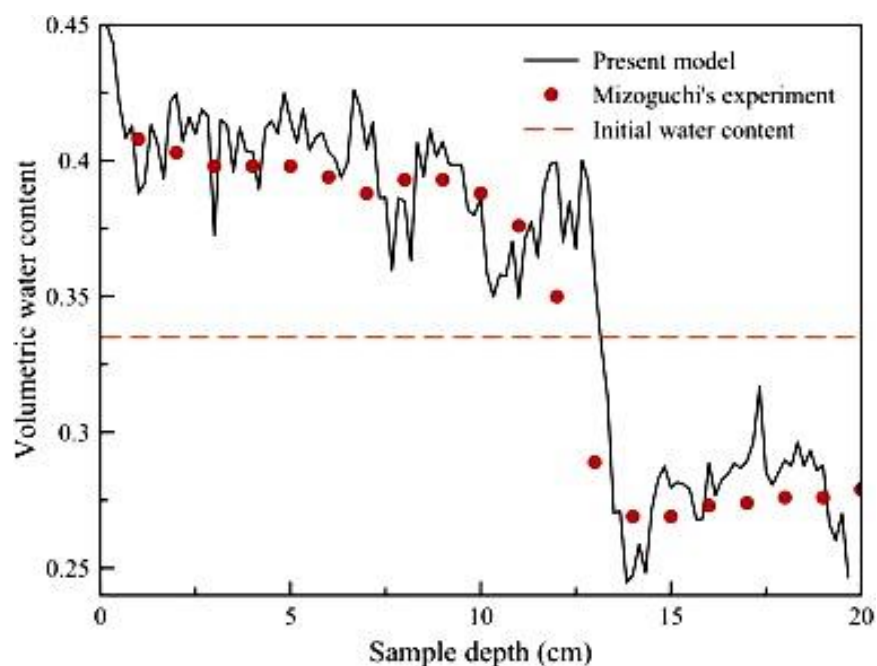


Рисунок 15 – сравнение экспериментальных и численных результатов распределения воды после 50 часов замерзания

Следует отметить, что, несмотря на точность данной модели в прогнозировании содержания воды, размер замерзшей границы в моделировании меньше чем в эксперименте. В действительности, вода в замороженной границе не замерзает мгновенно, вязкое состояние жидкости обеспечивает дополнительное сопротивление потоку воды в этой зоне.

Также в данной работы были представлены результаты сравнения распределения температуры в эксперименте и в результате моделирования через 12, 24, 45 часов (рисунок 16). При этом полагают, что скорость течения воды значительно ниже скорости теплового потока вызванного потоком воды, поэтому им пренебрегают. Это допущение приводит к погрешности в течение первого часа заморозки, когда поток воды имеет большую скорость.

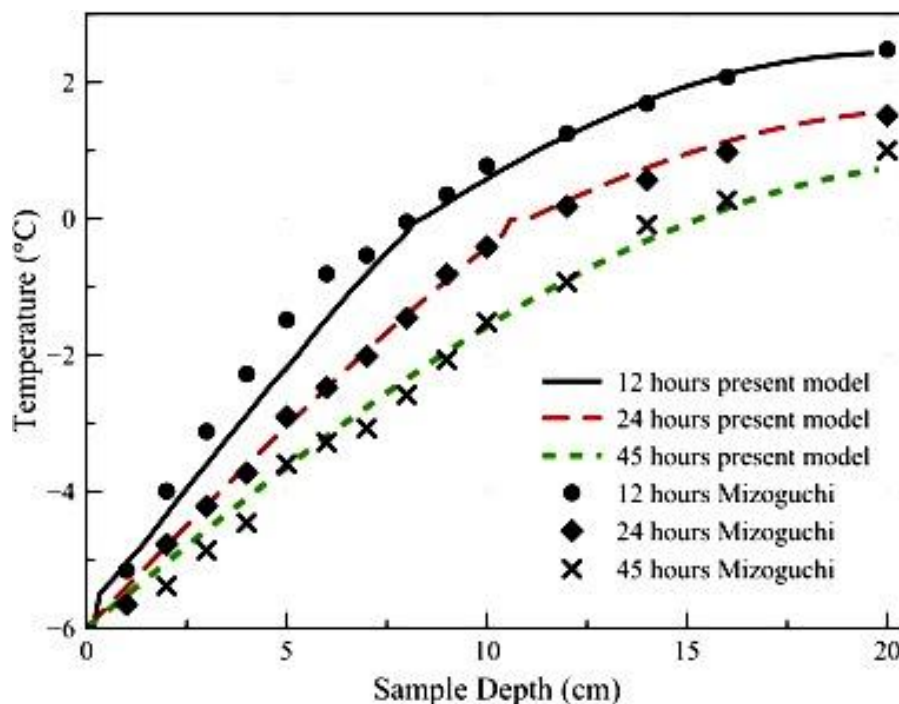


Рисунок 16 – сопоставление экспериментальных и расчетных результатов распределения температуры через 12, 24 и 45 часов заморозки

В статье [28] представлено аналитическое исследование замерзания полости в термо-поро-упругой среде. Основной целью исследования является – при помощи аналитического решения выявить, как влияет образование льда на различные сооружения – резервуары, трубы, туннели или стволы скважин, находящиеся в земной или горной полости. В данной работе приведены два аналитических решения, основанные на линеаризации системы основных уравнений. Первое решение представляет сферическую полость внутри бесконечной пористой среды. Область применения этой конфигурации остается относительно ограниченным (например, в структуре масштаба, замораживание подземного резервуара, или в материальном масштабе, изучение поведения замерзания воздушной пустоты внутри пористой матрицы). Тем не менее, он обеспечивает точное аналитическое решение, и, таким образом, позволяет оценивать численное обратное преобразования Лапласа, используемые в данном исследовании. Второе аналитическое решение рассматривает цилиндрическое углубление в

пористой среде. Такая конфигурация позволяет изучить подземные сооружения такие как: трубопроводы, тоннели и стволы скважин.

В результате аналитического и квази-аналитического решений были получены зависимости (рисунок 17, рисунок 18, рисунок 19) давления, температуры и перемещения жидкости в разное время. В любой фиксированный момент времени, перемещение стремится к нулю, в то время как температура и давление жидкости стремятся к начальным термо-гидростатическим значениям в дальней зоне. Это объясняется с предположением, что вдали от полости, термо-гидро-механические возмущения в связи с изменениями у стенки полости пренебрежимо малы.

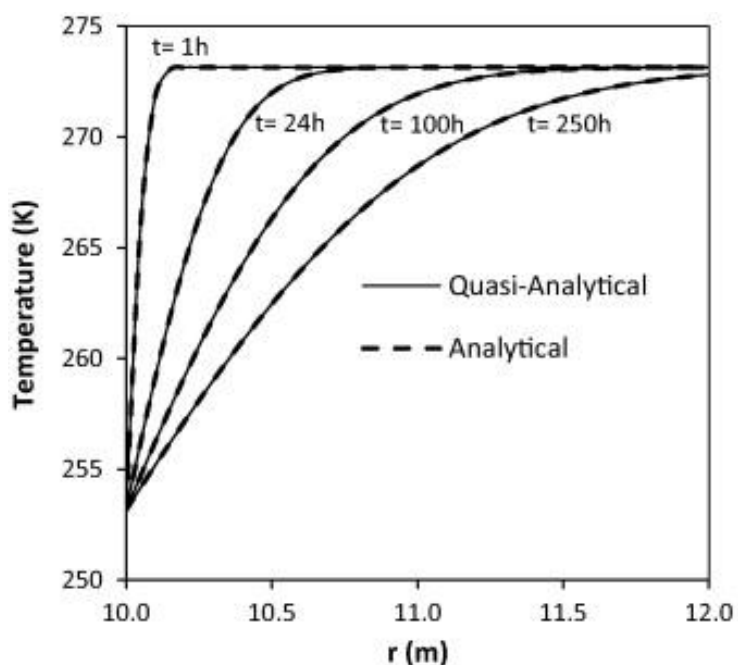


Рисунок 17 – изменение температуры жидкости разное время

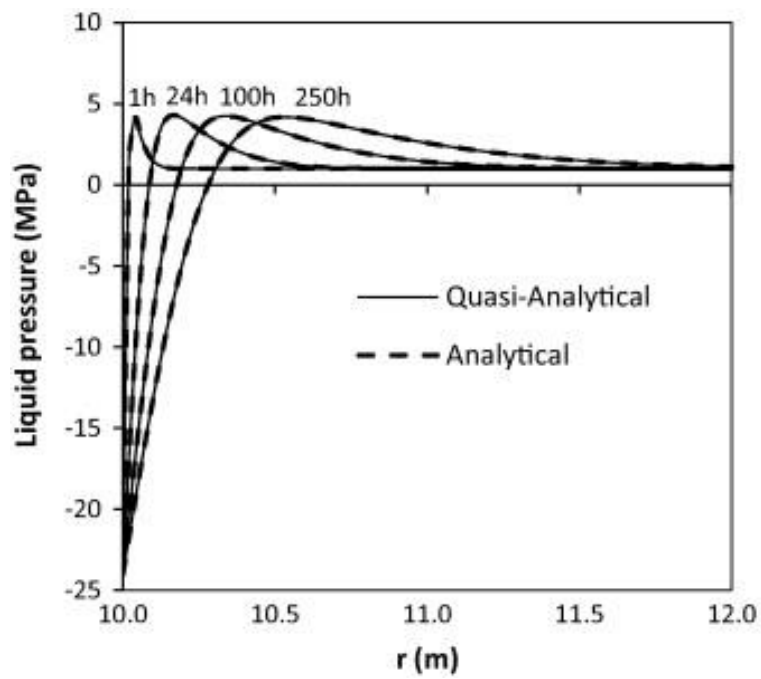


Рисунок 18 – изменение давления жидкость в разное время

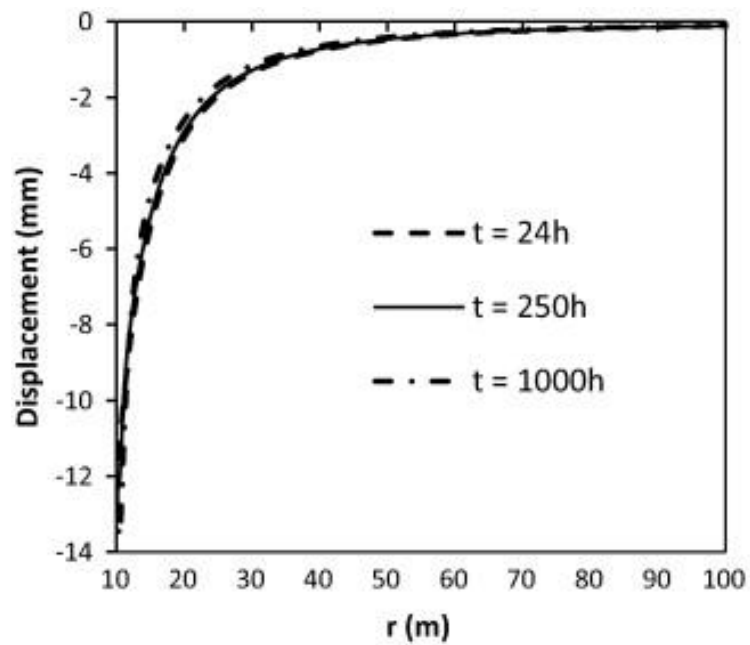


Рисунок 19 – профиль перемещения жидкости при разном времени

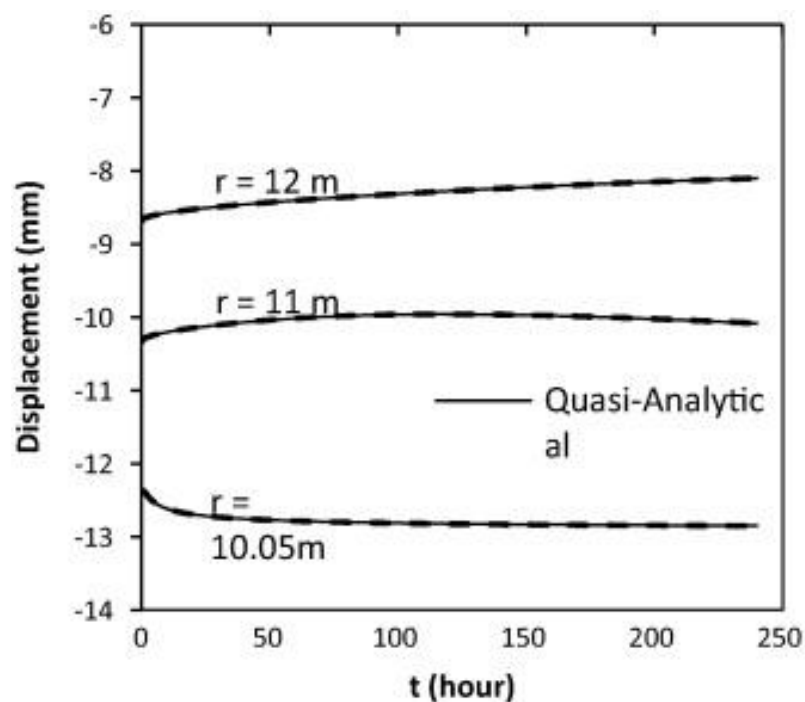


Рисунок 20 – изменение перемещения по времени в разных положениях сферической симметрии

Рисунок 18 и рисунок 20 показывают, что перемещение существенно не изменяется со временем, как только температура на стене туннеля стабилизируется. Отрицательные значения соответствуют конвергентных движений по направлению к оси резонатора. Полученные результаты согласуются с экспериментальными результатами [29], где наблюдается глобальное сокращение сферических воздушных пустот в бетоне при замерзании.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальные значения температур в замораживаемом пористом материале при различном насыщении жидкостью проводятся с использованием установки, схема которой приведена на рисунке 21. При этом для исключения случайной погрешности каждый из опытов при идентичных условиях выполняется по 5 раз. Эксперименты проводятся с материалом при различных значениях объемов его насыщения.

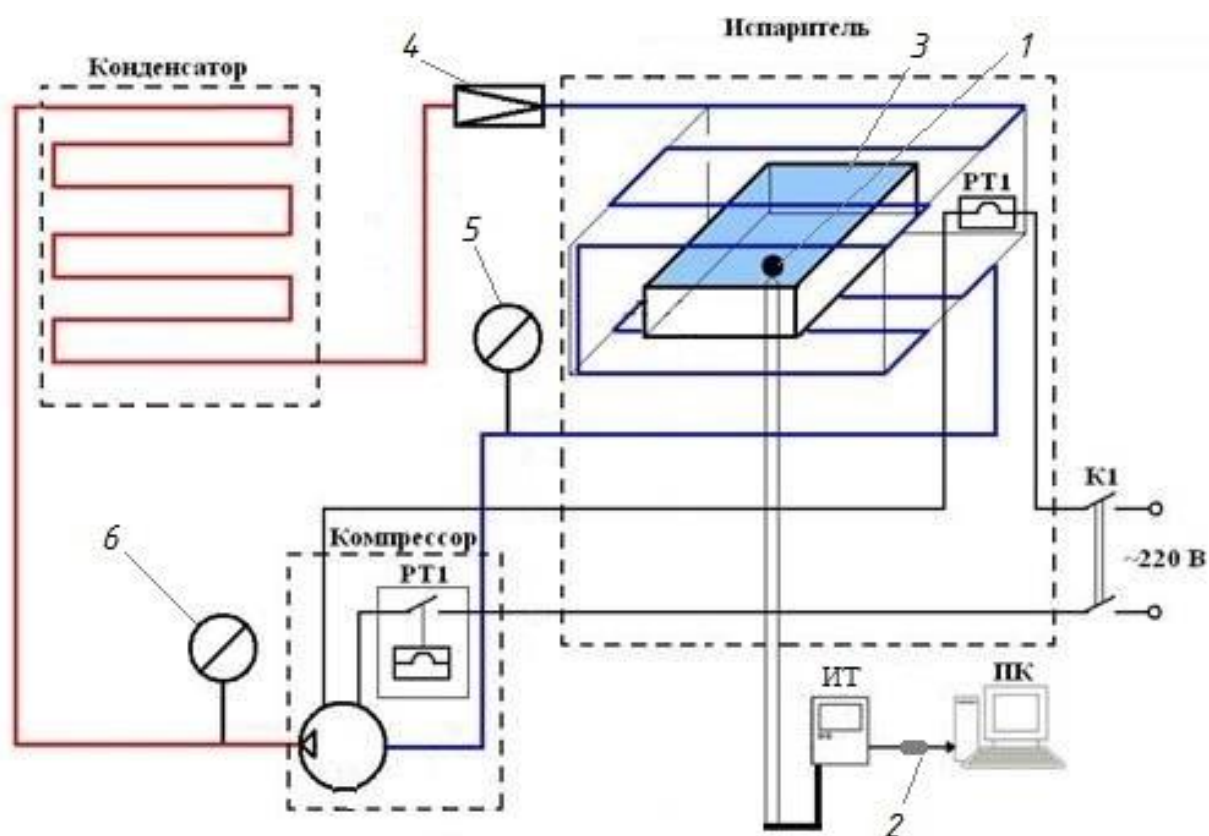


Рисунок 21 – Принципиальная схема экспериментальной установки:

1-термопары; 2-адаптер сети; 3-исследуемый материал; 4- дроссельное устройство; 5-манометр на обратном патрубке; 6-манометр на нагнетающем патрубке; РТ 1-реле температуры 1; РТ 2-реле температуры 2; ПК-персональный компьютер; ИТ-измеритель температуры.

В качестве исследуемого пористого материала используется пенополиуретан размерами 0,06x0,095x0,025м и пористостью 72%. Материал подвергается заморозке при низких температурах (240 К) в морозильной

камере холодильной установки (0,43x0,48x0,20 м). Материал располагается в центре камеры (0,21x0,24x0 м), рисунке 22. Заморозка исследуемого материала проводится как в ненасыщенном, так и насыщенном жидкостью состоянии. Исследуемый материал равномерно по всему объему насыщается дистиллированной водой в определенном количестве (0÷20 мл) с помощью специального устройства позволяющего вводить жидкость в материал с точностью до 1 мл.

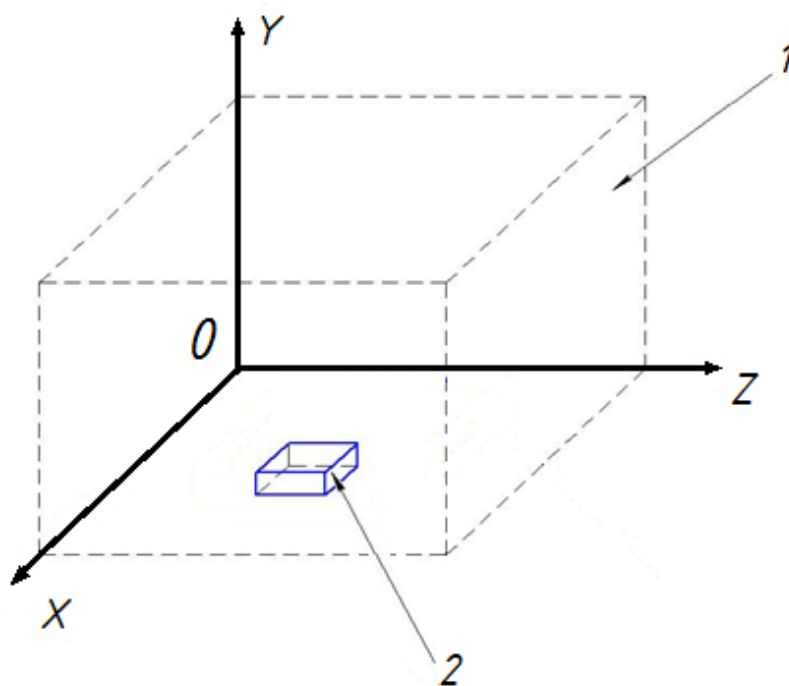


Рисунок 22 – Схема расположения исследуемого материала в холодильной камере:

1-холодильная камера; 2-исследуемый материал.

Измерение температур проводились как на поверхности, так и внутри материала, с использованием градуированных хромель-алюмелевых термопар с диаметром спая 0,001 м. Схема расположения термопар и их координаты в метрах представлены соответственно на рисунке 23 и табл. 1. Одновременно запускаются: источник питания, холодильная установка и фиксируется время запуска в программе на ПВЭМ.

При выходе на стационарный режим процесса заморозки установка отключается, значения температур сохраняются в файл.

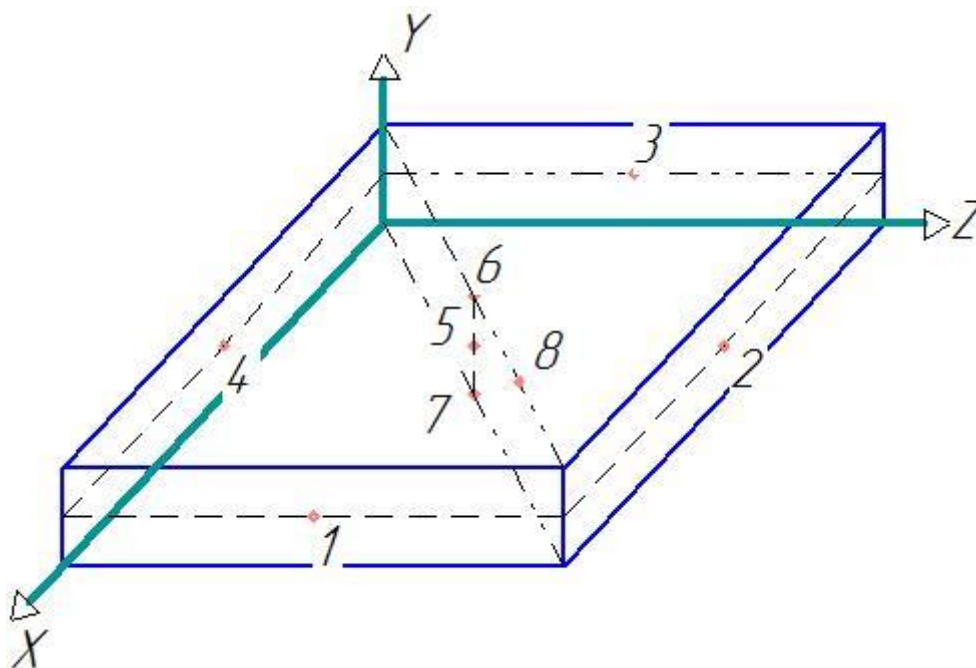


Рисунок 23 – Схема расположения термопар в исследуемом материале

Таблица 1 – Координаты расположения термопар на исследуемом материале, м.

	1	2	3	4	5	6	7	8
X,	0,095	0,0475	0	0,0475	0,0475	0,0475	0,0475	0,0238
Y	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,025	0	0,025
Z	0,03	0,06	0,03	0	0,03	0,03	0,03	0,045

Термопары соединены с многоканальным измерителем температур типа УКТ-38-Щ4. Значения температур, считываемые измерителем, через адаптер сети с помощью программы, разработанной в среде программирования фирмы National Instruments Labview, сохраняются на жесткий диск.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2Б	Федорович Алексей Николаевич

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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	Федорович Алексей Николаевич		

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.

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- 1) оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- 2) определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- 3) планирование научно-исследовательской работы;
- 4) определение ресурсной (ресурсосберегающей), социальной, экономической, финансовой и бюджетной эффективности исследования.

4.1 SWOT-анализ экспериментального исследования

Тема данной работы – экспериментальное исследование процесса теплообмена в пористых, насыщенных жидкостью веществах, при их охлаждении.

Внешняя среда:

- 1) спрос, характер спроса

Данное исследование возможно использовать как в холодильной технике при оценках качества и скорости замораживания продуктов, так и при оценке заморозки конденсата в теплоизоляционных материалах низкотемпературной техники в том числе и в установках хранения сжиженного природного газа (СПГ):

а) коммерческие организации, заинтересованные в минимизации своих расходов:

- предприятия, занимающиеся производством холодильных установок

- компании, в эксплуатации которых находятся резервуары для хранения СПГ

- компании, занимающиеся производством теплоизоляционных материалов различного назначения

- предприятия, в эксплуатации которых находятся оборудование работающее при низких температурах

б) государственные структуры:

- Газпром сжиженный газ

- Сахалин Энерджи производственный комплекс «Пригородное» – завод по производству СПГ

- Российское энергетическое агентство

2) конкуренты

На данный момент наличие конкурентов не выявлено.

3) Поставщики

Поставщиками оборудования для проведения экспериментального исследования являются компании: Овен, Samsung, Свяга, НП ООО «Энергоприбор».

4) аудитория влияния

Аудиторией влияния на экспериментальное оборудование является администрация Томского Политехнического Университета.

Внутренняя среда:

1) экспериментальное исследование

Результатами исследования являются: влияние различных объемов жидкости, а так же различия в пористости веществ, насыщенных жидкостью, при нагреве и охлаждении, скорость кристаллизации, распределение температур внутри и на поверхности насыщенного жидкостью материала.

2) обеспеченность, потребность в основных средствах

Основными средствами является: экспериментальная установка, исследуемый материал, ПВЭМ.

3) оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует.

4.2 Экспертная оценка

Для проведения экспериментального исследования и получения достоверных результатов необходимо обеспечить максимальную точность и наименьшую погрешность измерений. Для этого необходимо подобрать оборудование, которое имеет максимальную точность измерения.

Для точного измерения температур и получения достоверных значений, необходимо выбрать подходящий тип термоэлектрических преобразователей (термопар). Поэтому произведем сравнительный анализ четырех типов термоэлектрических преобразователей:

- 1) медь-копелевые — ТМК — Тип М;
- 2) хромель-константановые ТХКн — Тип Е;
- 3) хромель-копелевые — ТХК — Тип L;
- 4) хромель-алюмелевые — ТХА — Тип К.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

- 1) температурный диапазон (длительно);
- 2) температурный диапазон (кратковременно);
- 3) класс точности 1;
- 4) класс точности 2.

Эксперты оценили характеристики устройств по десятибалльной шкале. Далее они оценили важность каждого критерия по 5 бальной шкале (b_i). Все данные представлены в таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Оценка конкурентоспособности первым экспертом

Тип термоэлектрического преобразователя	Температурный диапазон (длительно)	Температурный диапазон (кратковременно)	Класс точности 1	Класс точности 2	Сумма
ТКМ – Тип М	10/2.1	8/1,68	7/0,735	8/2.104	9.249
ТХКн – Тип Е	7/1.47	7/1,47	4/0.42	8/2.104	6.253
ТХК – Тип L	5/1,05	5/1.05	2/0,21	4/1.052	3,888
ТХА – Тип К	10/2.1	9/1,89	10/1.05	9/2.367	9,511
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	19
Вес (W _i)	0,26	0,26	0,133	0,333	1

Таблица 15 – Оценка конкурентоспособности вторым экспертом

Тип термоэлектрического преобразователя	Температурный диапазон (длительно)	Температурный диапазон (кратковременно)	Класс точности 1	Класс точности 2	Сумма
ТКМ – Тип М	9/1,89	5/1,05	6/0,63	7/1,841	7,778
ТХКн – Тип Е	8/1,68	5/1,05	7/0,735	7/1,841	6,357
ТХК – Тип L	5/1,05	4/0,84	3/0,315	5/1,315	4,309
ТХА – Тип К	9/1,89	7/1,47	10/1.05	9/2,367	9,144
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	19
Вес (W _i)	0,26	0,26	0,133	0,333	1

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 $b_i/b_{\text{сум}}$.

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

Далее необходимо умножить полученные весовые коэффициенты на оценку эксперта (от 1 до 10) и сумма полученных значений даст итоговую оценку эксперта по каждому поставщику. Итоговые экспертные оценки представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Итоговые экспертные оценки

Тип термоэлектрического преобразователя	Первый эксперт	Второй эксперт	Средняя оценка
ТКМ – Тип М	9,249	7,778	8,514
ТХКн – Тип Е	6,253	6,357	6,305
ТХК – Тип L	3,888	4,309	4,099
ТХА – Тип К	9,511	9,144	9,328

В итоге, по результатам четырех независимых экспертных оценок, самый худший результат получил термоэлектрический преобразователь ТХК – Тип L, а высший средний бал по предоставленным критериям отбора получил термоэлектрический преобразователь ТХА – Тип К.

4.3 Календарный план выполнения исследования

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 17. В таблице 18 представлен календарный план выполнения работ.

Сетевой график — это динамическая модель производственного процесса, отражающий технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ, увязывающая их свершение во времени с учётом затрат ресурсов.

На рисунке 31 представлен сетевой график.

Таблица 17– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ ра б	Содержание работ	Должность исполнител я	T_{ki} , кал.д н
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	1
	2	Оформление технического задания	Студент	1
Подбор и исследование ранние проведенных работ	3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент	6
Экспериментальны е исследования	4	Проведение опытов	Студент	6
	5	Проведение опытов	Студент	6
	6	Проведение опытов	Студент	6
	7	Проведение опытов	Студент	10
	8	Анализ результатов	Студент	4
Разработка экономической части	9	SWOT - анализ	Студент	1
	10	Экспертная оценка	Студент	1
	11	Календарный план	Студент	1
	12	Расчет стоимости	Студент	1
	13	Анализ ресурсоэффективности	Студент	1
Расчет БЖД	14	Обеспечение пожарной безопасности	Студент	1
	15	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент	1
Оформление работы	16	Оформление	Студент	4

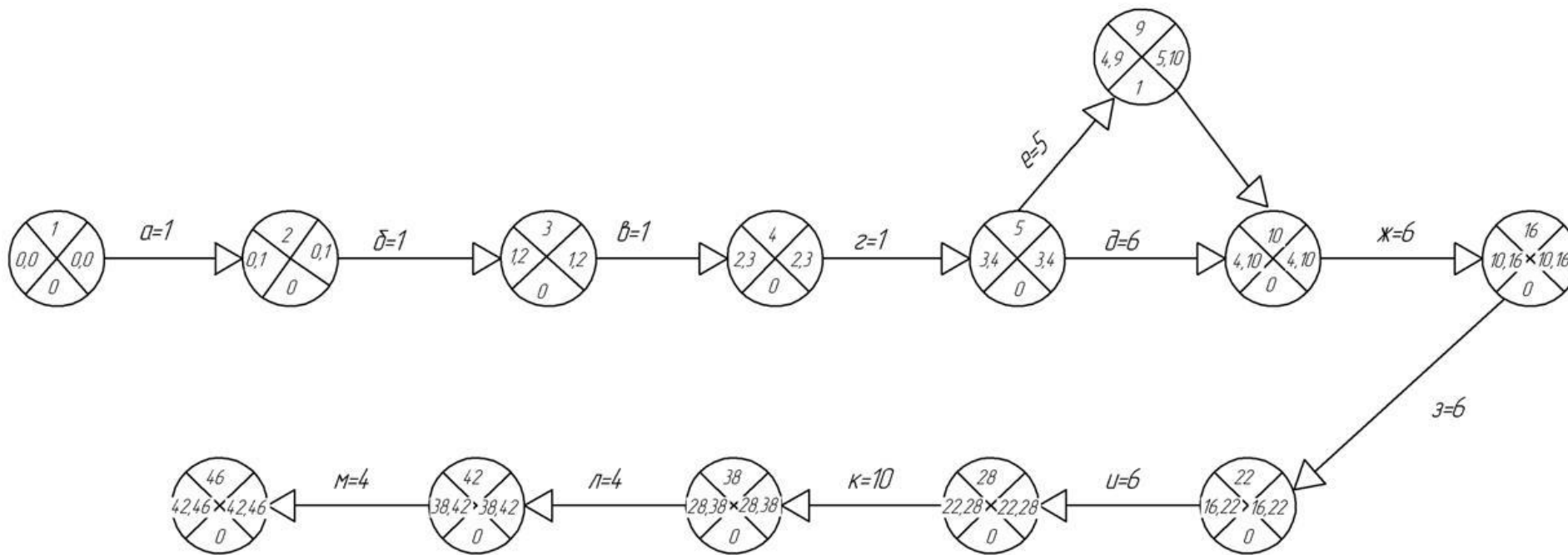


Рисунок 31 – Сетевой график

4.4 Бюджет проекта

Смета проекта представлена в таблице 19

Таблица 19 – Смета проекта

Наименование	Единичные расчеты						Суммарные затраты			
	Материалы		Зарплата		Амортизация		Материалы	Зарплата + соц. Отчисления	Амортизация	Сумма
	Тариф	Кол-во	Тариф	Кол-во	Тариф	Часов				
Проведение экспериментального исследования	1324,8	1	8620	1	-	-	1324,8	8620	439,4	10394,2

В таблице 20 представлено подробное описание расходов на материалы.

Таблица 20 – Расходы на материалы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	600
Заправка картриджа	шт	580	1	580
Губка (пористый материал)	шт.	42	2	84
Вода	мл	30	324	30
Электроэнергия	кВт·ч	4,25	7,246	30,8
				1 324,8

В таблице 21 представленные расходы на канцтовары.

Таблица 21 – Канцтовары

Наименование:	Цена
Бумага	230
Ручки	80
Флеш-накопитель	400
Итого	710

В таблице 22 представленные расходы на электроэнергию.

Таблица 22 – Потребления электроэнергии

Источник потребления	Мощность Вт	Кол-во часов	Итого:
Персональный компьютер	65	54	3510
Освещение	100	54	5400
Морозильная установка	140	54	7560
Устройство контроля температуры	5	54	270
Притер и МФУ	85	1	85
			16825

Зарплата и отчисление на соц. нужды:

Зарплата руководителя ВКР бакалавра может быть определена по условию часовой оплаты. Норма времени на руководство ВКР бакалавра составляет 22 часа, в соответствии с положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников. Тариф на почасовую оплату составляет 300 р./час для доцента. Поэтому расходы на оплату труда составят $22 \times 300 = 6600$ руб. Отчисление на социальные нужды $6600 \times 0,3 = 1980$ руб. Суммарные затраты на вознаграждение работников составляют $6600 + 1980 = 8580$ руб.

В таблице 23 представленные расходы на амортизацию.

Таблица 23 – Амортизация:

Объект	Норма в год	Стоимость	Величина в год	Кол-во часов	Сумма в час	Время работы, ч.	Стоимость амортизации
Морозильная камера	20	15000	3000	1350	2,22	54	119,8
Устройство контроля температуры	20	8200	1640	1350	1,21	54	65,34
Персональный компьютер	20	40000	8000	1350	4,65	54	251,1
Притер и МФУ	20	10000	2500	800	3,13	1	3,13
							439,4

4.5 Оценка ресурсоэффективности

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).

Рассчитаем интегральный финансовый показатель для двух исполнений. В первом варианте стоимость исполнения берем из расчетов, таблица 19, а во втором варианте принимаем стоимость исполнения равной 15000. Максимальное значение стоимость исполнения научно-исследовательского проекта – 20000.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{10394,2}{20000} = 0,5197$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{15000}{20000} = 0,75$$

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

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

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 – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 24.

Таблица 24 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5
2. Точность вычислений	0,3	4	5
3. Энергосбережение	0,20	4	5
4. Надежность	0,25	5	5
5. Время выполнения решения поставленной задачи	0,05	4	4
Итого	1		

$$I_{p-исп.1} = 5*0,2 + 4*0,3 + 4*0,05 + 4*0,2 + 5*0,25 = 3,065,$$

$$I_{p-исп.2} = 5*0,2 + 5*0,3 + 4*0,05 + 5*0,2 + 5*0,25 = 4,95.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$)

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{3,065}{0,5197} = 7,23$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,95}{0,75} = 6,6$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{7,23}{6,6} = 1,10$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,5197	0,75
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,065	4,95
3	Интегральный показатель эффективности	7,23	6,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,10	

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

По окончании анализа финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования: продукт является высокотехнологичной продукцией, востребованной в сфере промышленности, не имея при этом существенных конкурентов.

Также определены возможные альтернативы проведения научного исследования: с помощью сравнительного анализа и экспертных оценок было проведено сравнение различных термоэлектрических преобразователей по ряду признаков (температурный диапазон (длительно), температурный диапазон (кратковременно), класс точности 1, класс точности 2) и установлено, что наиболее подходящим для рассматриваемого исследования является термоэлектрический преобразователь ТХА – Тип К.

Проведена оценка объема необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека: руководитель и студент. Все мероприятия

займут 46 дней и будут проводиться с 1 мая до 15 июня при запланированной производительности.

Проведено определение социальной, ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, финансовой и экономической эффективности разработки: были определены интегральные показатели для различных вариантов исполнения проекта и, с целью определения наиболее целесообразного варианта, определена сравнительная эффективность проекта. При сравнении данных параметров было установлено, что первое исполнение является более эффективным с позиции финансовой и ресурсной эффективности.