

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

Профиль Промышленная теплоэнергетика

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики</b>

УДК 620.92:697.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Ни А.Э.	К.ф.-М.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОСГН	М.А. Гасанов	Д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	И. Л. Мезенцева			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М. Антонова	К.Т.Н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)
<b>УК-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>УК-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать

<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
<b>ПК(У)-2</b>	Способен анализировать эффективность современных технологий получения, преобразования, транспорта и использования энергии в теплоэнергетических установках и нетрадиционных источниках энергии
<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на теплотехническом оборудовании
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов
<b>ПК(У)-5</b>	Способен управлять технологическим оборудованием, контролировать параметры процессов и показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла
<b>ПК(У)-6</b>	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением
	электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

Профиль Промышленная теплоэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич

Тема работы:

<b>Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№31-81/с, от 31.01.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	2 июня 2022 года
--	------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом изучения считается замкнутый двухфазный геотермальный термосифон приложениях извлечения глубинной теплоты. Результатом исследования являются полученные значения перепада температур между крышками теплообменника при различных режимах работы термосифона, а также</p>
---	--

	распределения температур в замкнутом двухфазном термосифоне.
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>- Выполнить обзор проводимых исследований ведущих ученых в области геотермальной энергетике.</p> <p>- Установить наиболее перспективные сферы применения термосифонов.</p> <p>- Сформулировать геометрическую, физическую и математическую модель термосифонов.</p> <p>- Реализовать в виде программного кода сформулированную математическую модель.</p> <p>- Провести численный анализ процесса теплопереноса в геотермальном термосифоне.</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение</b>	Гасанов М.А., профессор отделения социально-гуманитарных наук
<b>Социальная ответственность</b>	Мезенцева И.Л., старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	1 декабря 2021 года
---	---------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Ни Александр Эдуардович	К.Т.Н.		01.12.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич		01.12.2021

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	И.Н. Бутаков
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	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>Оклад руководителя – 27000 руб. Оклад инженера – 18000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Премимальный коэффициент 30%; Доплаты и надбавки 20%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %</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>Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения</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>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2022
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5Б8Б		Дорожкин Александр Валерьевич	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника 13.03.01

Тема ВКР:

Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования: процесс теплопередачи в геотермальном термосифоне. Область применения: энергетика Рабочая зона: <u>офис</u> Размеры помещения: площадь 15 м<sup>2</sup> Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компьютер, программа Matlab. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: моделирование процессов плавления и солидификации.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)</p> <p>ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений;</p> <p>Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса</li> <li>• статические перегрузки, связанные с рабочей позой</li> <li>• отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;</li> <li>• длительное сосредоточенное наблюдение</li> <li>• повышенный уровень электромагнитных излучений</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• перенапряжение зрительного анализатора</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> </ul> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• прохождение техники безопасности</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<p>Воздействие на селитебную зону: процессе моделирования затрачивается достаточно большое количество электроэнергии</p> <p>Воздействие на литосферу: процесс утилизации отработавших чипов</p> <p>Воздействие на гидросферу: воздействий не обнаружено</p> <p>Воздействие на атмосферу: выделение вредных веществ, при эксплуатации чипа</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, землетрясение</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8Б	Дорожкин Александр Валерьевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 94 страницы, 22 рисунков, 17 таблиц, 38 источника.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, геотермальная энергия, замкнутый двухфазный термосифон, математическое моделирование, численная модель.

Объектом изучения считается замкнутый двухфазный геотермальный термосифон приложениях извлечения глубинной теплоты.

Целью выпускной работы является анализ перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить обзор проводимых исследований ведущих ученых в области геотермальной энергетике.
2. Установить наиболее перспективные сферы применения термосифонов.
3. Сформулировать геометрическую, физическую и математическую модель термосифонов.
4. Реализовать в виде программного кода сформулированную математическую модель.
5. Провести численный анализ процесса теплопереноса в геотермальном термосифоне.

В ходе исследования проведен анализ влияния главных характеристик (температура геотермального источника, высота теплообменника) на перепад температур между верхней и нижней крышками устройства при извлечении геотермальной энергии.

Результатом исследования являются полученные значения перепада температур между крышками теплообменника при различных режимах работы термосифона, а также распределения температур в замкнутом двухфазном термосифоне.

Задача решалась численным методом в среде программирования Matlab.

Область использования – геотермальная и петротермальная энергетика.

Применение двухфазного замкнутого термосифона при получении геотермальной энергии обладает преимуществами, такими как: снижение отрицательного влияния на окружающую среду, а также уменьшение капиталовложений на строительство и эксплуатацию при извлечении глубинной энергии земли.

## Оглавление

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	12
Введение .....	13
1 Современные исследования в области геотермальной энергетике .....	14
1.1 Способы добычи геотермальной энергии .....	14
1.2 Термосифоны.....	19
1.3 Применение термосифонов в задачах гео- и петротермальной энергетике .....	26
Вывод.....	31
2. Постановка задачи .....	32
2.1. Геометрическая модель. ....	32
2.2. Физическая модель. ....	33
2.3. Математическая модель.....	34
2.4. Метод решения. ....	36
2.5. Верификация.....	37
2.5.1 Одномерная задача в цилиндрических координатах.....	38
2.5.2 Двумерная задача теплопроводности для однородного тела.....	41
2.5.3 Нестационарная задача теплопроводности в неоднородной пластине.....	43
3. Математическое моделирование процесса передачи геотермальной энергии.....	47
3.1. Влияние глубины скважины .....	48
3.2. Влияние температуры источника.....	53
Вывод по разделу.....	53
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	55
4. Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
4.1. Анализ конкурентных технических решений.....	58
4.1.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения .....	64
4.2 Бюджет научно-технического исследования.....	67
4.2.1 Материальные затраты.....	67
4.2.2 Амортизация компьютерной техники .....	68
4.2.3 Затраты на заработную плату.....	69
4.2.4 Затраты на обязательные социальные отчисления .....	71
4.2.5 Прочие затраты.....	72
4.2.6 Накладные расходы .....	72
4.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	74
5 Социальная ответственность .....	75
Введение .....	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	75
5.2 Производственная безопасность .....	78

5.3 Экологическая безопасность.....	85
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
Выводы по разделу социальная ответственность.....	88
Заключение .....	89
Список литературы .....	90

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Геотермальная энергия – направление энергетики, основанное на производстве различных видов энергии за счет энергии, содержащейся в недрах земли.

Двухфазный термосифон – теплопередающее устройство, работающее по замкнутому испарительно-конденсационному циклу.

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в телах, обусловленный неоднородностью температуры.

Испарение – процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное (парообразование) на поверхности раздела сред.

Конденсация – процесс перехода пара в жидкое состояние на поверхности.

Удельная скорость испарения – количество жидкости, которое испаряется за единицу времени с единицы площади.

## Введение

Развитие общества неразрывно связано с непрерывно возрастающим потреблением энергии. В современном мире потребителями энергии являются не только население, коммунальные предприятия, но и все отрасли непрерывно развивающегося промышленного и сельскохозяйственного производства.

Основной путь получения энергии на данный момент является сжигание углеводородов. В сравнении с большим количеством энергии идёт и огромный ущерб для окружающей среды. Экологические защитники не первый год пытаются обратить внимание на ухудшение качества жизни людей из-за выбросов в атмосферу колоссальных объёмов углекислого газа и прочих вредных веществ. Этот фактор влияет также и на работоспособность людей, находящихся в подобной сфере, что является достаточно серьёзной проблемой для общества. Решением данного вопроса является “зеленая” энергетика. Существует большая необходимость в улучшении процессов получения энергии приблизительно схожих масштабов, как и при сжигании углеводородов.

В большом количестве источников есть информация о солнечных и ветровых станциях. Пресса публикует все новые и новые успехи научных деятелей, занимающихся разработкой новых проектов в солнечной и ветровой энергетике. Но геотермальным станциям не уделяется должного внимания. За счёт неисчерпаемости ресурса и большого объёма энергии Земли этот вид «зеленой» энергетике имеет преимущество перед другими альтернативными источниками энергии. Потенциал такой энергии из уроков истории повествует о возможности движения литосферных плит, извержение вулканов. Способность по максимуму использовать этот источник будет прорывом в энергетической сфере.

# 1 Современные исследования в области геотермальной энергетике

С целью определения масштабов и особенностей развития такого направления энергетики как геотермальная энергетика в России и за рубежом выполнен обзор актуальных исследований. В ходе обзора литературных источников были изучено несколько десятков научных работ российских и зарубежных авторов.

## 1.1 Способы добычи геотермальной энергии

По данным Международного энергетического агентства геотермальные источники делятся на 5 типов:

- 1) Месторождение геотермального сухого пара
- 2) Источники влажного пара
- 3) Месторождение геотермальной воды
- 4) Сухие горячие скальные породы
- 5) Магма

Альтернативным и возобновляемым источникам энергии и способам их добычи посвящены научные труды многих авторов. Так, Бойкова А.В. [1] в своей статье «Геотермальная энергия как альтернативный источник энергии» показала взаимосвязь развития общества с ежегодным ростом потребления энергии. Бойкова А.В. охарактеризовала изменение не только направлений использования энергии, но и существенное расширение количества пользователей. Указала, что на ранних этапах развития общества энергия расходовалась только на приготовление пищи и для отопления, а в текущем моменте потребителями энергии являются не только коммунальные предприятия, но производственные предприятия промышленного и сельскохозяйственного направления. Автор обосновал необходимость использования альтернативных источников энергии.

О будущем развитии энергетики за счет такого источника как геотермальная энергия размышляет Ермолаева Д.Е. [2] Она считает, что геотермальным станциям не уделяется достаточного внимания, однако широко в СМИ представлены достижения в развитии ветровых и солнечных установок. Автор уверен, что перспективы использования энергии Земли безграничны, так как «наша планета представляет собой гигантский естественный котел». На планете достаточно огромные резервы энергии, получаемой за счет радиоактивных превращений изотопов, происходящих в земной коре и мантии. Предостережение ученого связано с тем, что извлечение огромных потоков энергии может провоцировать сдвиг литосферных пластов, вызывать дрейф материков, землетрясения и вулканы.

Обзор альтернативных источников энергии был выполнен Белоокой Н.В., Пивоваровой Е.И. еще в 2015 году. В данной статье так же был приведен перечень геотермальных источников энергии, перечислены способы ее использования, дана характеристика способов получения электроэнергии на геотермальных электростанциях, сформулированы преимущества и недостатки данного вида энергии, приведена конкретная ситуация применения геотермальной энергии на территории нашей страны. Белоокая Н.В., Пивоварова Е.И. [3] в своей работе привели классификацию источников и способов добычи геотермальной энергии. Отметим, что необходимо правильно понимать определение геотермальной энергетики. Так, геотермальная энергетика – это одно из направлений энергетики, которое является экологически чистым и возобновляемым путем добычи энергии. Она базируется на использовании тепловой энергии пластов Земли, получаемой в результате физико-химических экзотермических процессов в недрах Земли для выработки электроэнергии или отопления и горячее водоснабжение. Несравненным преимуществом геотермальной энергетики является его маленький выброс  $\text{CO}_2$  в атмосферу по сравнению с любыми другими станциями, где применяется сжигание углеводородного топлива (примерно в 3-20 раз меньше на выработку 1кВт/ч).

Положительные стороны геотермальной энергии по сравнению с другими возобновляемыми видами энергии это:

1. Низкая себестоимость производимой электроэнергии на ГеоЭС
2. Добыча не зависит от времени года, суток, климата
3. Восполняемость при соблюдении правил добычи
4. Универсальность
5. Компактность пунктов добычи
6. В рабочем цикле отсутствует сжигание топлива.

Отрицательными сторонами изучаемого в этой работе вида энергии заключается в низком температурном потенциале теплоносителя, невозможности транспортировки, низкая концентрация источников и недостаток опыта промышленной эксплуатации станций. Также существует проблема с реализацией установок по добыче геотермальной энергии. В России не так много мест, где возможна энергоэффективная установка станции. Это связано это с тем, что геотермальные воды находятся на большой глубине или породы не пригодны для сверления глубоких скважин. Опасность несут газы и минералы, нейтрализовать которые без последствий очень затратно. Температурный потенциал некоторых источников может быть настолько малым, что не сможет использоваться и для отопления отдельной улицы или дома, что по факту является пустой тратой ресурсов. Солесодержание воды немало важный факт, так как затраты на очистку и обессоливание воды необходимы для высокого качества работы. Образования налета или накипи будет увеличивать термическое сопротивление, что уменьшит итоговый теплообмен между породами и водой, находящейся внутри термосифона.

Применение геотермальной энергии имеет многофункциональный образ. Большое количество производств смогло увеличить свою производительность благодаря низкой стоимости геотермальной энергии. При помощи пара, получаемого на станциях, можно поддерживать необходимый климат в теплицах, создавать благоприятные условия для выращивания морепродуктов. В промышленной сфере ученые из Новой Зеландии разработали технологию

позволяющую использовать геотермальную энергию для изготовления бумаги. В пищевой промышленности используется стерилизации объектов производства и помещений, остановка мутации вирусов, которые невозможно остановить при помощи химических веществ. [3]

Многие исследователи согласны с позицией Ермолаевой Д.Е., что геотермальный ресурс является важнейшим источником энергии. Например, Гацаева Л.С., Гацаева С.С.А., Даукаев А.А. [4] в научной статье рассматривают не только геотермальные ресурсы как важный источник энергии, но и сформулировали проблемы развития данного сегмента энергетики. В рамках территориального расположения Чеченской Республики, где имеют место огромные запасы геотермальных ресурсов, предложено их комплексное применение с целью достижения энергетической безопасности. В статье рассмотрены различные месторождения термальных вод региона и предпочтение отдано Ханкальскому месторождению, как самому перспективное по значимым энергетическим характеристикам. Уникальность выделенного месторождения связано и с тем, что его географическое положение обеспечивает доступность для реального потребителя. Учеными представлены результаты аналитического исследования, согласно которому было доказано недостаточность применения имеющегося геотермального потенциала месторождения, выполнена оценка возможности и необходимости вовлечения термальных вод в топливно-энергетический комплекс Республики.

Одна из последних статей Кузьминой О.Ю. [5] посвящена развитию рынка геотермальной энергии на современном этапе. В публикации проанализированы общедоступные источники энергии, которые в полном объеме удовлетворяют все текущие потребности физических лиц. По мнению автора, уже через 20 лет общество начнет ощущать нехватку энергии. Недостаток энергии может быть вызван из-за постоянно растущих потребностей населения и, в особенности, промышленных предприятий. Автор предостерег, что в ближайшем будущем истощатся такие источники, как угольные, нефтяные и газовые месторождения. Одновременно обратил внимание на неудовлетворительное состояние и высокий

износ имеющихся гидроэнергетических сооружений, которые требуют поддержки со стороны как государства, так и производственных предприятий. Кузьмина О.Ю. предлагает выход из создавшейся ситуации путем применения альтернативных или возобновляемых видов энергии. Именно солнечная и ветровая энергетика являются альтернативным видом, а геотермальная энергия рассматривается как разновидность возобновляемой энергии.

Еще в 2015 году Алиев Р.М., Байрамов А.М. и Прохоров А.И. [6] рассматривали влияние применения геотермальной энергии на изменение регионального энергопотенциала. В качестве региона исследования выбран Северный Кавказ. В работе представлены результаты оценки специфики функционирования «рынка геотермальной энергии и органического цикла Ренкина». Авторы всесторонне проанализировали деятельность ведущих предприятий по производству геотермальной энергии как в РФ, так и за рубежом. Глубокое и всестороннее исследование позволило им сформулировать проблемы, которые являются сдерживающими факторами развития данного рыночного сегмента. Данная статья основана на региональном аспекте и является продолжением исследований Алиева Р.М., Байрамова А.М. и Прохорова А.И. В статье перечислены этапы и мировые направления развития в сооружении геотермальных электростанций (ГеоТЭС). Знание региональных особенностей Северного Кавказа позволило доказать необходимость сооружения и ввода в эксплуатацию на данной территории ГеоТЭС разных по величине генерирующих мощностей, которые объединены в кластерные системы и комплексы, которые наиболее устойчивы к природным аномалиям и непогоде. Авторы подтвердили, что обеспечению максимального эффективного энергоснабжения будет способствовать успешная интеграция ГеоТЭС с другими возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), причем эффективность энергоснабжения будет как со стороны энергетической составляющей, так и в отношении финансовых показателей. Далее была описана долгосрочная перспектива создания таких энергокластеров. Важнейшей целью энергокластеров авторы считают «обеспечение условий устойчивого развития

региона и создания в нём центра активного использования геотермальной энергетики, позволяющего создавать перспективные импортозамещающие и экспортно-ориентированные решения в секторе геотермальной энергетики». Кроме того, подробно описана работа как пародинамического термосифона, так и термосифона без внутренних циркуляционных вставок.

## 1.2 Термосифоны

Для добычи тепловой энергии используется две системы: циркуляционные и гладкие тепловые трубы (термосифоны). В первом случае для передачи энергии используется теплоемкость жидкости, а во втором – энтальпия фазового перехода рабочего вещества. Рабочим веществом может быть воздух, водный раствор гликоля или любой подходящий хладагент. У всех этих геотермальных систем есть одна общая черта: баланс между отбором тепла и естественным пополнением должны быть известны и удовлетворены заранее, чтобы поддерживать возобновляемость источника. По сравнению с обычными грунтовыми теплообменниками, для которых требуется отдельный насос или другой механические устройства для циркуляции теплоносителя в термосифоне, погруженном в землю, ТС не требуют дополнительного оборудования для циркуляции жидкости в петле. Это приводит к повышению общей эффективности и упрощению работы.

Метод эмпирического исследования термосифонов сопровождается высокими капитальными затратами, поэтому целесообразно применять метод математического моделирования для исследования проходящих в нем процессов тепломассопереноса.

Исследованиям в работе пародинамического термосифона и термосифона без внутренних циркуляционных вставок посвящена статья, авторами которой являются Шаповалов А.В., Родин А.В. и др. [7]. В своей статье они представили результаты экспериментального исследования работы высокоэффективных теплопередающих замкнутых двухфазных устройств – термосифонов. В

качестве заполнителя были использованы дистиллированная вода и этиловый спирт. В результате исследований был получен патент на конструкцию пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе и вынесенной переходной зоной. Исследователи подробно описали вышеуказанную конструкцию. Группой авторов дано детальное описание использованной экспериментальной установки, этапов и последовательности проведения исследований, методика и условия проведения экспериментов. Заслуживает пристального внимания результаты проведенного сравнения интенсивности работы классического термосифона цилиндрической конструкции и пародинамического термосифона с внутренним циркуляционным контуром. В рамках научной конференции авторами был предложен уникальный способ утилизации тепла от компрессорных установок, при котором используются рекуператоры на основе двухфазных термосифонов. Для наглядности представлен внешний вид рекуператора с использованием пародинамических термосифонов в качестве теплопроводящих элементов. В ходе исследования переходных процессов в термосифонах была предложена система для охлаждения солнечных панелей фотоэлектрических установок.

Изучением переходных процессов в термосифонах занимались Мунц В.А. и др. [8] Вопросам экологической безопасности и возможности утилизации тепла от компрессорных установок всегда уделяется пристальное внимание, чем обеспечена актуальность исследования в использовании рекуператоров на основе двухфазных термосифонов. В ходе исследования для определения основных температурных характеристик объекта регулирования были получены расчетные зависимости. С этой целью были определены термические сопротивления основных элементов термосифона. Предложены и зафиксированы уравнения для расчета изменения температуры насыщения в термосифоне в случаях изменения конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора. Причем термосифон в ходе исследования рассматривается как объект регулирования, а изменение расхода газа (или отключение теплоутилизатора) – как входное возмущение. Учеными были зафиксированы

выражения для постоянной времени и коэффициента усиления при соблюдении условия ступенчатого увеличения температуры газов. Все выводы ученых сопровождаются расчетами. Из расчетов следует, что изменения температуры насыщения в термосифоне происходит при линейном уменьшении температуры газов. Представлены данные по результатам проведенных экспериментов при останове теплоутилизатора, в которых измерялись изменения температуры газов и температуры насыщения в термосифонах. В ходе проведенного сравнения расчетных данных с экспериментальными данными было достигнуто удовлетворительное совпадение.

К работе термосифонов пристальное внимание проявили и Шаповалов А.В., Родин А.В. [9] Исследование проводилось в качестве научного эксперимента. В своей статье авторы демонстрировали итоги исследования работы термосифона без внутренних циркуляционных вставок и пародинамического термосифона. Четко сформулированы и зафиксированы условия проведения экспериментов. В качестве условий приняты объем потребности жидкости, угол наклона термосифона, тепловая нагрузка. В условиях эксперимента приняты: объем заправляемой рабочей жидкости (воды) - 250 мл (1/4 объема испарителя), 500 мл (1/2 объема испарителя); угол наклона термосифона относительно горизонтальной плоскости - 0; 30; 35; 40°; подводимая тепловая нагрузка к испарителю: от 227,7 до 481,5 Вт (от 2530 до 5350 Вт/м<sup>2</sup>). В ходе исследования удалось определить эффективность работы объекта исследования. В отличие от классического термосифона, пародинамический термосифон работает более эффективно в указанном диапазоне тепловых нагрузок в горизонтальном положении (зафиксированы более высокие значения коэффициентов теплоотдачи и меньшие значения термического сопротивления). В итоге это позволяет расширить возможности его использования. Учеными была разработана конструкция теплообменника на основе пародинамических термосифонов. Такая конструкция может быть использована в качестве эффективного утилизатора тепла для охлаждения воздуха в компрессорных установках. Как и Шаповаловым А.В. и Родиным А.В.,

авторами предложен свой способ утилизации тепла от компрессорных установок с помощью рекуператоров на основе двухфазных термосифонов. Показан внешний вид рекуператора с использованием пародинамических термосифонов в качестве теплопроводящих элементов.

Инженерный метод расчета закрытых двухфазных термосифонов был продемонстрирован Тюриным М.П., Бородиной Е.С., Домбровской А.И. [10] В статье описаны алгоритм и инженерный метод расчета закрытого двухфазного термосифона, результат расчета типового аппарата.

Бородиной Е.С., Тюриным М.П., Шутовой А.Л. [11] также было проведено исследование влияния оребрения на эффективный коэффициент теплопередачи закрытого двухфазного термосифона. В своей статье авторы привели результаты сравнительного анализа численного решения с результатами общепринятого расчета.

В статье «Переходные процессы в термосифонах» Мунц В.А. и др. [12] более широко рассмотрены отдельные стороны исследования, ранее представленного авторами в ТИМ-2017.

Кузнецов Г.В. и Нурпейис А.Е. [13] провели математическое моделирование температурных полей в характерных сечениях рабочей зоны замкнутого двухфазного термосифона. В статье приведены результаты численных исследований совместно протекающих процессов теплопроводности и фазовых превращений теплоносителя в термосифоне цилиндрической формы. Оригинальность исследования заключена в том, что исследователями решена задача теплопереноса для двух двуслойных пластин. В ходе эксперимента учитывалось испарение жидкости на нижней крышке и конденсация на верхней крышке термосифона. Численные исследования теплопереноса в закрытом двухфазном термосифоне в условиях отвода энергии от тепловыделяющей поверхности проведены в достаточно типичных диапазонах изменения тепловых потоков к нижней крышке, соответствующих режимам работы энергетического оборудования (от 2 кВт/м<sup>2</sup> до 8 кВт/м<sup>2</sup>). В качестве теплоносителя рассматривалась дистиллированная вода. Коэффициенты заполнения и

геометрические параметры термосифона выбирались такими же, как и в проведенных экспериментах (высота - 161 мм, диаметр - 42 мм, толщина стенок - 1,5 мм, коэффициент заполнения  $\varepsilon = 4\%$ ). В ходе математического моделирования основные результаты представлены в виде полей температур при различных тепловых потоках к нижней крышке термосифона и коэффициента теплоотдачи с поверхности верхней крышки рассматриваемого теплообменника. Установлено, что результаты математического моделирования, полученные численно, достаточно адекватно описывают процессы теплопереноса, протекающие в термосифоне, и лежат в пределах доверительных интервалов экспериментальных данных по температурам в характерных точках теплообменника.

Одновременно Кузнецовым Г.В. и Нурпейис А.Е. [14] были опубликованы в «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики» результаты эксперимента по расчету температур в различных сечениях рабочей зоны замкнутого двухфазного термосифона. В статье представлены результаты эксперимента. Эксперимент позволил определить распределение температур в характерных сечениях рабочей зоны замкнутого двухфазного термосифона. В качестве материала для изготовления термосифона использовалась медь с постоянной площадью поперечного сечения. Исследования процессов теплопереноса проводились в термосифоне. Были приняты следующие физические параметры и габариты теплообменника: высота была принята 161 мм, толщина боковых стенок 1,5 мм, нижней стенки 2мм, внутренний диаметр испарительной части и парового канала 39 мм. Опытным путем установлена зависимость изменения характерных температур от величины теплового потока, подводимого к нижней крышке термосифона, и коэффициента заполнения. В ходе эксперимента удалось установить, что рост теплового потока на нижней крышке термосифона приводит к уменьшению перепада температур по паровому каналу и сокращению времени выхода на стационарный режим работы. Эксперименты показали, что даже при высоких тепловых нагрузках (до 11,2 кВт/м<sup>2</sup>) перепады температур по высоте термосифона не превышают 9 К.

Еще в 2016 году Шаповаловым А.В. и Родиным А.В. [15] в основу своих исследований были положены изучение термического сопротивления пародинамического термосифона. Были установлены оптимальные элементы термосифонов в отношении параметров геометрии. В своей статье учеными исследованы наиболее эффективные режимы выполнения поставленных задач работы опытного образца, работы устройства, предложен нестандартный на тот момент времени метод и порядок проведения расчета термического сопротивления термосифона, подробно описаны схемы теплообменных аппаратов, в которых были использованы пародинамические термосифоны. В более ранних экспериментах в данной области в качестве заправляемых компонентов жидкостей в термосифонах в качестве заправляемой в устройство жидкости были выбраны дистиллированная вода, этиловый спирт, озонобезопасный хладагент R134a. Объем заправляемой жидкости менялся от 250 мл (1/4 объема испарителя) до 500 мл (1/2 объема испарителя). Одновременно исследовалась возможность изменения угла наклона термосифона относительно горизонтальной плоскости в диапазоне от  $0^\circ$  до  $40^\circ$ . В итоге выполнены эксперименты для того, чтобы установить и зарегистрировать проводимую тепловую нагрузку к испарителю : эксперименты с водой и этиловым спиртом - от 227,7 до 481,5 Вт (от 2530 до 5350 Вт/м<sup>2</sup>), эксперименты с фреоном R134a - от 21,5 до 238 Вт (от 238,9 до 2643,3 В5/м<sup>2</sup>).

Модель тепломассопереноса в парожидкостном термосифоне была представлена научному сообществу Аникиным Г.В., Поденко Л.С., Феклистовым В.Н. [16] еще в 2009 году. Построенная модель была основана на решении уравнений газовой и гидродинамики в изоэнтропном приближении. Учеными установлена взаимосвязь между радиусом промерзания и температурой хладагента, а также мощности термостабилизатора. В своей статье авторы представили аналитические выражения для таких зависимостей. Особый интерес вызывают расчеты ученых по холодопроизводительности термостабилизатора.

Численный анализ влияния температурного перепада на режимы переноса энергии представлен Кузнецовым Г.В., Аль-Ани М.А.З., Шереметом М.А. [17] Учеными выполнено математическое моделирование тепловых режимов замкнутого двухфазного термосифона. В ходе моделирования устанавливались фактические значения перепада температур на внешних границах устройства. На базе действующих законов сохранения массы, импульса и энергии в безразмерных переменных «функция тока - вектор завихренности скорости - температура» в цилиндрических координатах была сформулирована основная задача математической физики. Одновременно были получены распределения линий тока, поля скорости и температуры. Эти параметры определили масштабы действия и влияния числа Рэлея на термогидродинамические режимы.

### **1.3 Применение термосифонов в задачах гео- и петротермальной энергетики**

Большое значение для развития науки имеют изобретения и статьи авторов о применении термосифонов.

С целью получения патента была подана заявка учеными на изобретение способа извлечения геотермальной энергии массива горных пород. Предложенный способ получил широкое использование при обогреве зданий, сооружений, в том числе и частных жилых домов и коттеджей. Обогрев происходит путем преобразования геотермального тепла земной коры в тепловых насосах. Кроме того, авторами изобретения рассмотрен вариант практического применения предложенного способа в гидрометаллургии, что может обеспечить сокращение энергоемкости систем подземного выщелачивания минералов, которые содержат массивы добывающих и поглощающих (инфильтрационных) буровых скважин. Авторы изобретения изложили ее суть изобретения: ствол скважины разделяют герметичной перемычкой на две зоны. Первая зона - это зона всасывания, она находится ниже герметичной перемычки. Вторая - зона нагнетания, расположенную выше герметичной перемычки. В ходе применения зона нагнетания должна быть заполнена в полном объеме теплопроводной жидкостью. В зону нагнетания помещают коллектор системы забора тепла теплового насоса. Для герметичности использованы перемычки, которые должны разделить две зоны (всасывания-нагнетания) скважины. Из скважин, для беструбного подъема жидкости, используется пакер устройства. Дополнительным, но необходимым условием является создание проточности пластовой жидкости в зоне нагнетания. Разрежение в пластовой жидкости создают в зоне всасывания. Разрежение может быть достигнуто с помощью погружного насоса. Обязательно для беструбного подъема жидкости из скважин насос должен быть соединен с устройством. [18]

Еще одно изобретение в данной области науки относится к началу текущего тысячелетия. Дядькин Ю.Д., Ярошенко К.П. [19] представили свое

изобретение, которое относится к горному делу. Его предложено применять при сооружении геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) теплоснабжения любых объектов. Актуальным является сезонные и иные изменения требований к температуре теплоносителя. Данное изобретение способствует росту эффективности извлечения геотермальной энергии. Для достижения эффекта должно быть пробурено несколько вертикально-наклонных скважин. Две серии вертикальных трещин гидроразрыва должны пересекаться на разных уровнях. На пересечениях образуют верхний и нижний коллекторы. Затем необходимо подать воду, причем холодную, поступление происходит через нагнетательную скважину. В сеть теплообменника подается уже нагретая вода. Затем нагретую воду подают в сеть теплообменника. Прежде всего до начала процесса циркуляции необходимо увеличить раскрытие трещины гидроразрыва высоконапорным воздействием на трещину. Вода нагревается в верхнем коллекторе и направляется в нижний коллектор, но не полностью, а только ее часть. Объем использованной воды определяют по предложенной авторами аналитической формуле.

Леканова Т.Л., Мусихин П.В., Горбатенко А.Н. [20] в качестве альтернативных источников энергии предложили использование тепловой энергии из искусственно нагретого грунта. Ими предложен способ извлечения тепловой энергии. Сферой применения тепловой энергии авторы видят: выработку горячей воды для бытовых нужд, возможно для отопления зданий и сооружений, а в отдельных случаях и подогрев приточного вентиляционного воздуха в районах Севера.

Региональному аспекту использования геотермальной энергии земли уделили внимание Холкин Н.А. и Головина Е.И. [21] Авторы согласны с позицией, что геотермальная энергия относится к альтернативным источникам энергии. Данный вид энергии широко применяется в нашей стране. В большинстве стран Европы этот источник энергии рассматривают как возможность снижения зависимости от Российской энергетики. Актуальность исследования заключается в необходимости бережного отношения к ресурсам и

реализации политики государства по энергосбережению и экономному использованию топлива. Главной задачей исследователи поставили выполнение анализа экономической эффективности применения геотермальной энергии северо-западном регионе России. Эффективность рассчитывалась на примере теплонасосов. В ходе исследования авторами выполнена оценка рынка в г. Санкт-Петербург и Ленинградской области. На примере европейских государств проанализирована целесообразность использования энергии Земли.

Об инновационных методах выработки электроэнергии рассуждают в своей статье Габдрахманова К.Ф. [22] На территории РФ при разработке нефтяных месторождений были созданы и введены в эксплуатацию разведочные, структурно-поисковые и эксплуатационные и иные скважины в количестве более 1,5 млн. Более тридцати процентов указанных скважин на сегодняшний день исчерпали свой ресурс, были законсервированы либо ликвидированы по окончании эксплуатации. Авторы отмечают, что на практике не реализуются возможности их использования для утилизации геотермальной энергии. Опыт и расчеты как российских ученых, так и зарубежных стран показывают большие перспективы этой технологии. Они могут участвовать в зимних условиях для выработки электроэнергии и обогрева жилых помещений. Исследователи приводят доказательства необходимости активного использования вышеуказанной технологии для обеспечения энергосбережения. Особенно это актуально на месторождениях, которые готовятся к закрытию и в ближайшем времени выводятся из эксплуатации.

В научной статье Эргашев К.М., Мадмарова У. [24] рассмотрели компьютерную модель совместной работы микро - ГЭС и объекта геотермальной воды. Авторами в модели были учтены их основные технико-технологические характеристики в широком диапазоне эксплуатационных условий. Кроме всего прочего учтены фазные токи генератора и выходные напряжения в целом, напряжение возбуждения генератора, а также скорости вращения ротора.

Современная концепция использования реверсивных или насосных термосифонов была предложена Udell K.S., Jankovich P., Kekelia B. [2] На

рисунках 1 и 2 представлены режим извлечения теплоты и режим охлаждения. В указанном режиме могут быть достигнуты очень высокие, а при пассивной работе даже неограниченное значение коэффициента производительности. Это связано с тем, что требуется мало количество энергии, либо совсем ее отсутствие для перекачивания тепла («холода») из почвы или в почву. Для тепловых труб и термосифонов характерным является выделение скрытой теплоты фазового перехода. Достаточной движущей силой для процесса теплопередачи от (до) почвы является даже небольшой температурный градиент между теплоносителем и подогреваемым (охлаждаемым) воздухом.

Термосифон извлекает тепло из почвы и рассеивает его в пассивном режиме работы. Теплообменник подвергается воздействию более холодного окружающего воздуха (рис. 2). В таком режиме температура почвы должна быть выше, чем у воздуха.

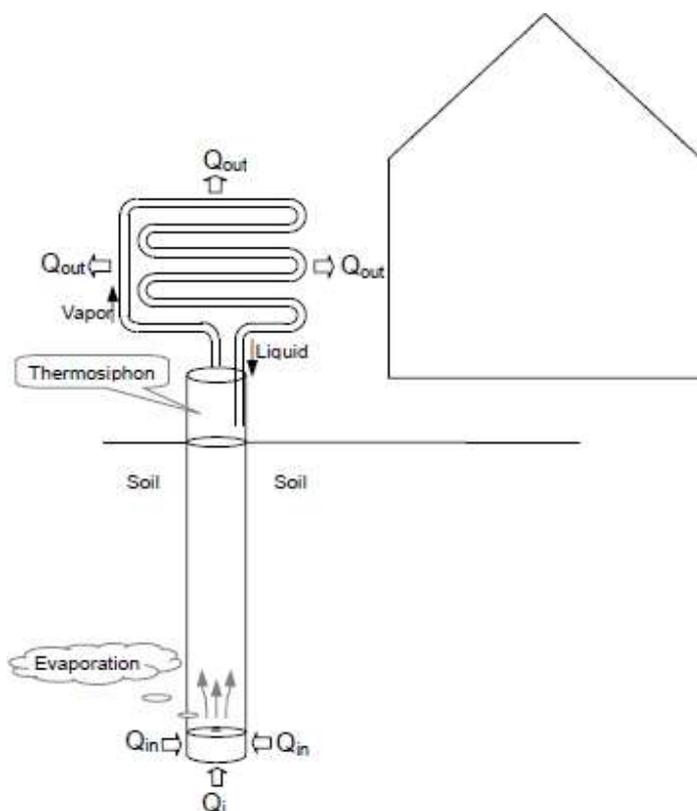


Рисунок 1 – Режим извлечения теплоты [2]

Процесс нагнетания тепла в почву термосифон обеспечивает в режиме воздушного охлаждения (кондиционирования) (рис. 2). Процесс

обеспечивается, если термосифон дополнен небольшим жидкостным насосом. Насос подает более холодную рабочую жидкость со дна термосифона к теплообменнику в комнате, где необходимо охладить воздух. Жидкость испаряется в теплообменнике, отводящим тепло от воздуха. Из-за градиента давления, пары возвращаются в нижнюю часть термосифона и конденсируются, выделяя тепло в почву. В таком случае температура почвы должна быть ниже, чем у охлажденного воздуха.

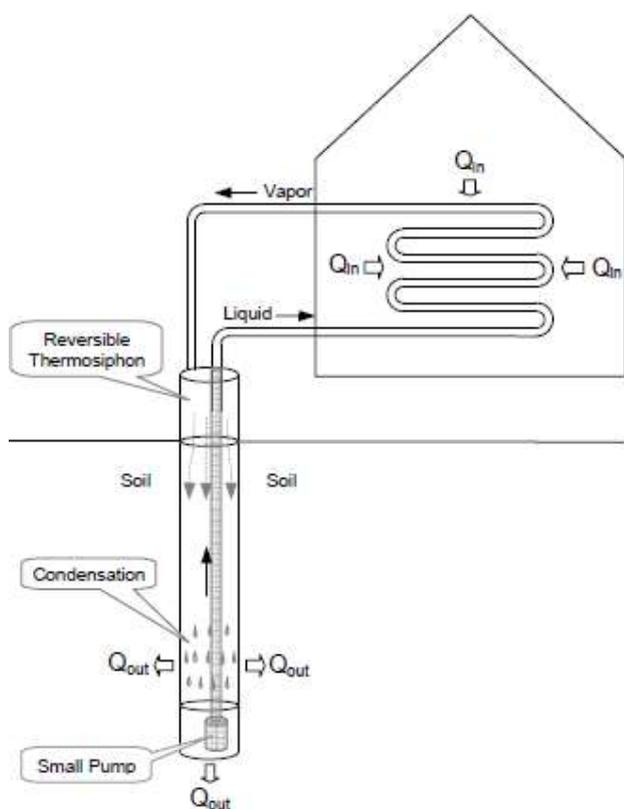


Рисунок 2 - Режим охлаждения [2]

В статье [8] представлены результаты экспериментального исследования работы высокоэффективных теплопередающих замкнутых двухфазных устройств - термосифонов, заправленных дистиллированной водой и этиловым спиртом. Описана запатентованная конструкция пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе и вынесенной переходной зоной. Описана экспериментальная установка и методика проведения исследований, условия проведения экспериментов. Проведено

сравнение интенсивности работы классического термосифона цилиндрической конструкции и пародинамического термосифона с внутренним циркуляционным контуром. Предложен способ утилизации тепла от компрессорных установок с помощью рекуператоров на основе двухфазных термосифонов. Показан внешний вид рекуператора с использованием пародинамических термосифонов в качестве теплопроводящих элементов. Представлена система для охлаждения солнечных панелей фотоэлектрических установок.

В статье [26] приводится короткий обзор о состоянии геотермальной энергетики во всем мире. На сегодняшний день тепло, получаемое с недр Земли в геотермальных станциях, используется во многих странах, в качестве электроэнергии или тепловой энергии. Огромный потенциал тепла Земли раскрывает перспективу развития данного вида энергии во многих отраслях. По этой причине возникает необходимость развития теоретических исследований в данной области. Одним из способов добычи геотермальной энергии, рассмотренных в данной статье, является способ нагрева жидкости в двухтрубной одноствольной скважине. Вода закачивается в межтрубное пространство между НКТ и обсадной колонной. Двигаясь вниз к забою, жидкость нагревается от стенки обсадной колонны за счет конвекции и кондукции, которая граничит с окружающими породами. Тепло к окружающим породам поступает с недр Земли. Поток тепла в среднем равен  $50 \text{ мВт/м}^2$ , может различаться в зависимости от региона. Нагретая уже к забою вода поднимается обратно к поверхности через НКТ. Чтобы минимизировать потери тепла при подъеме, НКТ должна быть изготовлена из теплоизоляционного материала.

## **Вывод**

1. Тема исследования «Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики» в настоящий

момент имеет ярко выраженную актуальность по причине возобновляемости теплового ресурса земли и очень низкого вреда для окружающей среды.

2. В большинстве случаев результаты проводимых исследований российскими и зарубежными авторами за последнее десятилетие актуальны и на текущий момент.

3. Дальнейшие исследования в данной области и использование опыта иностранных ученых будет способствовать реализации государственной политики импортозамещения в области энергетики.

## **2. Постановка задачи**

### **2.1. Геометрическая модель.**

Для добычи геотермальной энергии в основном применяются термосифоны высотой от 50 до 250 метров. На рисунке 3 представлена геометрическая модель рассматриваемой задачи.

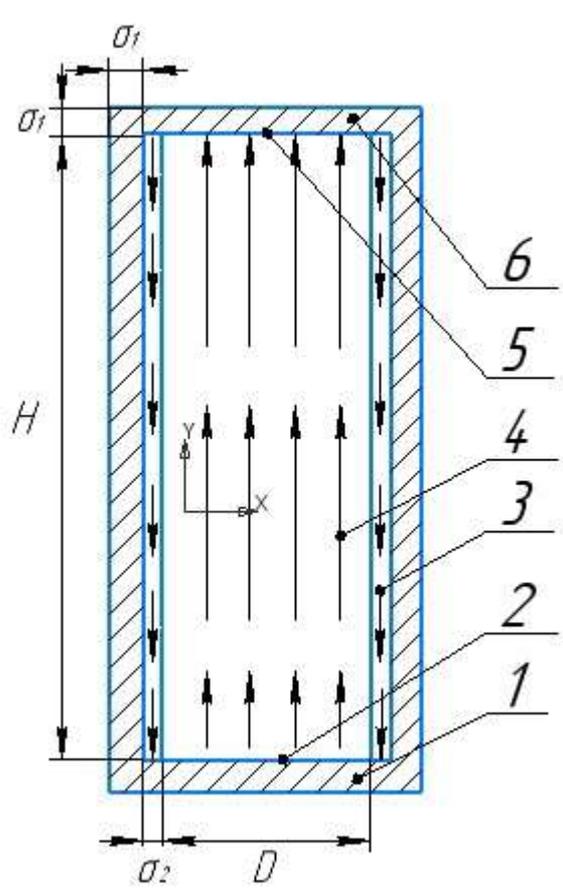


Рисунок 3- область решения: 1 – нижняя крышка, 2 - зона испарения, 3 – плёнка конденсата, 4 – пары рабочей жидкости, 5 – зона конденсации, 6- верхняя крышка.

## 2.2. Физическая модель.

Рассматривается закрытая вертикально ориентированная трубка, выполненная из стали. В полости находится теплоноситель – насыщенный пар. Вдоль вертикальных стенок равномерно стекает пленка конденсата, образующаяся в процессе пленочной конденсации пара на верхней крышке термосифона. Тепло подводится к нижней крышке термосифона. Вертикальные границы не обмениваются теплом с окружающей средой, то есть являются адиабатическими. На внешней поверхности верхней крышки термосифона были рассмотрены граничные условия третьего рода (конвективный теплообмен с внешней средой). Из-за присутствия двух сред с различными теплофизическими свойствами были заданы краевые условия

четвертого рода на границах разделения материалов.

При постановке задачи предполагалось, что весь теплоноситель испаряется на нижней крышке. Поскольку в стационарном режиме работы термосифона изменение значений теплофизических характеристик составляет не более 2%, следовательно теплофизические свойства материала корпуса и пара, можно считать не зависящими от температуры. Пар продвигался от нижней крышки геотермального термосифона к верхней за счет механизма вынужденной конвекции.

### **2.3. Математическая модель.**

Работа замкнутого двухфазного термосифона характеризуется следующими процессами:

- 1) Испарение;
- 2) Конденсация;
- 3) Кипение;
- 4) Конвекция;
- 5) Диссипация энергии
- 6) Излучение
- 7) Конвекция
- 8) Пленочное течение конденсата по стенкам термосифона

Для решения задачи такого типа введены следующие допущения:

- 1) Пар считаем несжимаемой и вязкой жидкостью;
- 2) Отсутствие диссипации
- 3) Толщина пленки конденсата в сравнении с объёмом термосифона очень маленькая, поэтому влияние на теплообмен между стенками считается пренебрежимо малым.

Начальные и граничные условия в геотермальном термосифоне.

Задача рассматривалась в двух плоскостях R и Z.

В начальный момент времени теплота подводится к нижней границе нижней крышки термосифона. Математически это будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left( r \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} + u \frac{\partial T_2}{\partial z} = a \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left( r \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

Где  $T_1$ -температура стали,  $T_2$ - температура пара,  $r$ - радиус термосифона,  $z$  - высота термосифона,  $a$  – коэффициент теплопроводности,  $u$  – скорость пара по координате  $z$  пара.

Начальные условия задачи выглядят следующим образом:

$$t = 0 : T = T_0, 0 \leq r \leq D, 0 \leq z \leq H;$$

$$r = 0 : \frac{\partial T}{\partial r} = 0, t > 0;$$

$$r = r_1 : \frac{\partial T}{\partial r} = 0, t > 0;$$

$$z = 0 : T = T_r, t > 0; \quad (3)$$

$$z = H : \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = k \cdot (T_{oc} - T), t > 0.$$

Где  $T_0$  – начальная температура,  $k$ - коэффициент теплоотдачи стенки термосифона,  $T_{oc}$  – температура окружающей среды,  $H$  – высота термосифона,  $D$  – диаметр термосифона.

$$\begin{cases} T_1(t, r^*, z) = T_2(t, r^*, z), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=r^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=r^*}, \end{cases} \text{ при } z^* \leq z \leq z^{**}$$

$$\begin{cases} T_1(t, r^{**}, z) = T_2(t, r^{**}, z), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=r^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=r^*}, \end{cases} \text{ при } z^* \leq z \leq z^{**}$$

$$\begin{cases} T_1(t, r, z^*) = T_2(t, r, z^*), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{z=z^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} - w_{исп} \cdot Q_{исп} \Big|_{z=z^*}, \end{cases} \text{ при } r^* \leq r \leq r^{**}$$

$$\begin{cases} T_1(t, r, z^{**}) = T_2(t, r, z^{**}), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{z=z^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} + w_{конд} \cdot Q_{конд} \Big|_{z=z^*}, \end{cases} \text{ при } r^* \leq r \leq r^{**} \quad (4)$$

Где  $T_1$  – температура стенок термосифона,  $T_2$  – температура стенок пара,  $\lambda_1, \lambda_2$  - коэффициент теплопроводности стали и пара соответственно,  $w_{исп}, w_{конд}$  - скорости испарения и конденсации,  $Q_{исп}, Q_{конд}$  - скрытая теплота фазового перехода (испарения и конденсации).

Для экономии вычислительных ресурсов по оси  $z$  вводилась неравномерная сетка. Сгущение расчетных узлов по мере приближения к твердым стенкам осуществлялось по закону гиперболического тангенса вида:

$$h_z = \frac{\tanh[\gamma(2 \cdot (j-1) / N_z - 1)]}{\tanh \gamma},$$

где  $h_z$  - шаг по координате  $z$ , м;  $\gamma$  - параметр сгущения;  $j$  - номер узла;  $N_z$  - общее количество узлов по координате  $z$ .

## 2.4. Метод решения.

Уравнения (1) и (2) с соответствующими начальными и граничными

условиями решены методом конечных разностей. Метод конечных разностей (или метод сеток) является одним из универсальных и широко используемых методов решения краевых задач. Его популярность во многом объясняется относительной простотой подхода к дискретизации дифференциальных уравнений. Суть метода состоит в следующем. Область непрерывного изменения аргумента заменяют конечным (дискретным) множеством точек (узлов), называемым сеткой. Вместо функций непрерывного аргумента рассматривают функции, определенные только в узлах сетки, – сеточные функции. Производные, которые входят в дифференциальное уравнение и краевые условия, заменяют их разностными аналогами – линейными комбинациями значений сеточных функций в некоторых узлах сетки. В результате краевую задачу заменяют дискретной краевой задачей (разностной схемой), представляющей собой систему конечного числа линейных или нелинейных алгебраических уравнений. Решение разностной схемы (предполагается, что оно существует) принимают за приближенное решение краевой задачи. Несмотря на кажущуюся простоту метода, при его использовании приходится решать ряд проблем. Например, следует иметь в виду, что для одной краевой задачи можно построить большое число различных разностных схем, среди которых далеко не все пригодны для использования на практике.

Аппроксимация уравнений в частных производных проведена при помощи не явной двухслойной схемы. Подробное описание используемого метода решения приведены в.

## **2.5. Верификация.**

В этом разделе решены три тестовые задачи из учебника Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. “Разностные методы решения задач теплопроводности” и курса лекций “Математическое моделирование задач теплоэнергетики”. Для математического моделирования использовалась программа MatLab R2020b

версии. Графические изображения были сделаны при помощи программ MatLab и OriginPro.

### 2.5.1 Одномерная задача в цилиндрических координатах.

Геометрия задачи является бесконечно длинный цилиндр, материал из которого сделан этот цилиндр -кирпич. Физические свойства кирпича  $\lambda = 0,7 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$ ,  $\rho = 1500 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $c = 750 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$ . Радиус цилиндра равен 0,1 м. Начальная температура в центре цилиндра принимается  $T_0 = 20 \text{ }^\circ \text{C}$ . Принято считать, что температура на границе  $r=R$  не изменяется и остается равной  $T_h = 50 \text{ }^\circ \text{C}$

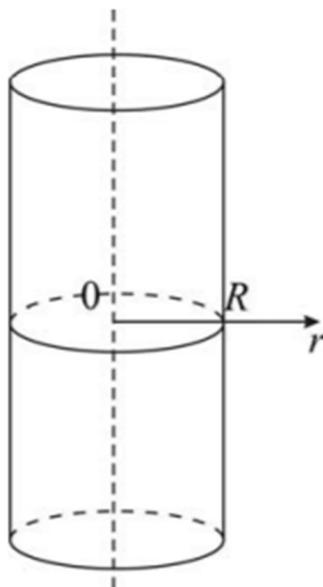


Рисунок 4 - геометрия задачи

Математическая постановка задачи:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right), 0 < r < R \quad (5)$$

Начальные и граничные условия:

$$\begin{aligned}
 t = 0: T &= T_0, 0 \leq r \leq R; \\
 r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} &= 0, t > 0; \\
 r = R: T &= T_h, t > 0.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

На рисунках ниже представлены графики зависимости распределения температуры по радиусу цилиндра в разные моменты времени  $t_1=60\text{с}$ ,  $t_2=600\text{с}$ ,  $t_3=3600\text{с}$ .

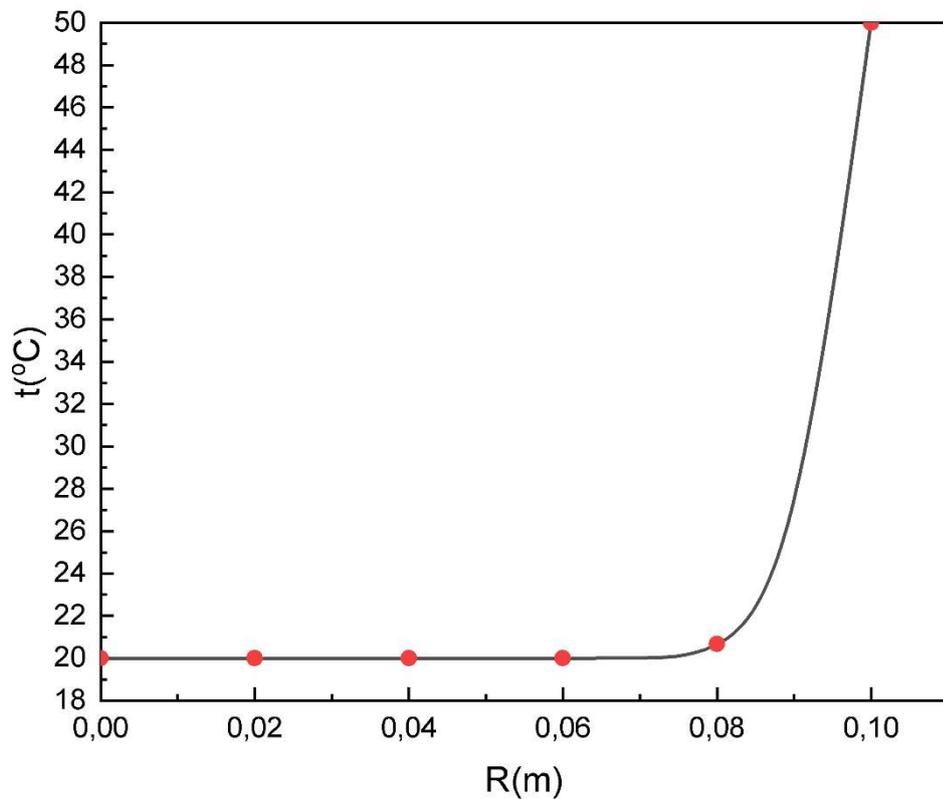


Рисунок 5 - график распределения температур по радиусу цилиндра при  $t=60\text{с}$ .

- Обозначение полученных данных на базе программы MatLab
- Данные точек с графика полученные автором учебника [25]

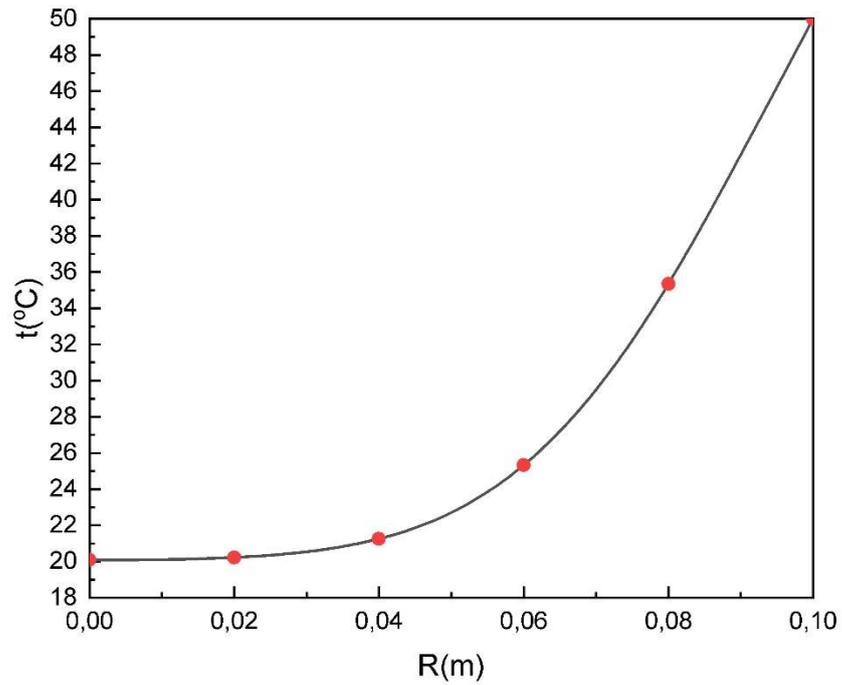


Рисунок 6 - график распределения температур по радиусу цилиндра при  $t=600\text{с}$ .

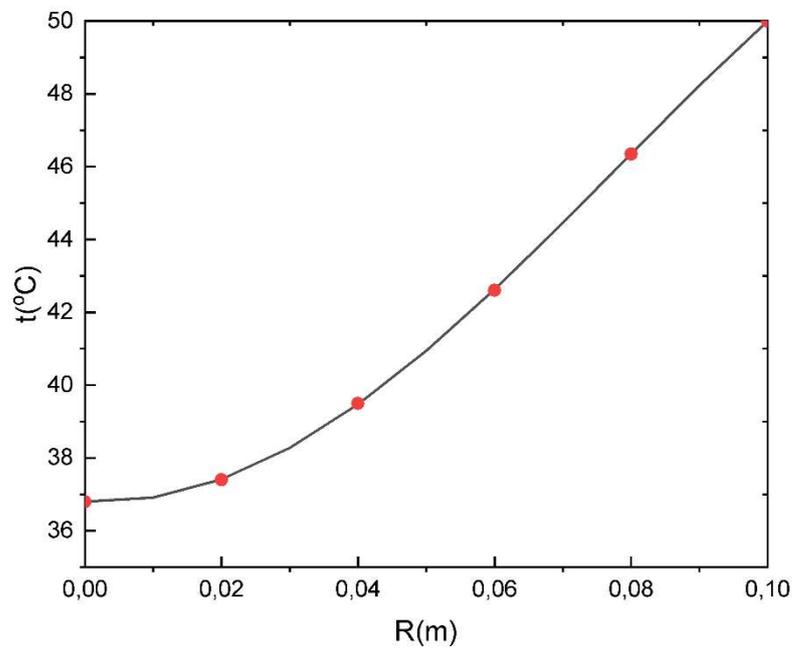


Рисунок 7 - график распределения температур по радиусу цилиндра при  $t=3600\text{с}$ .

### 2.5.2 Двумерная задача теплопроводности для однородного тела.

Рассматривается медная пластина с длиной и шириной равной 0,5 м. Горизонтальные границы являются адиабатическими, а вертикальные поддерживают постоянную температуру  $T_h$  и  $T_c$  ( $T_h = 80$  °С,  $T_c = 30$  °С). Начальная температура области решения  $T_0 = 5$  °С.

Геометрическая составляющая задачи:

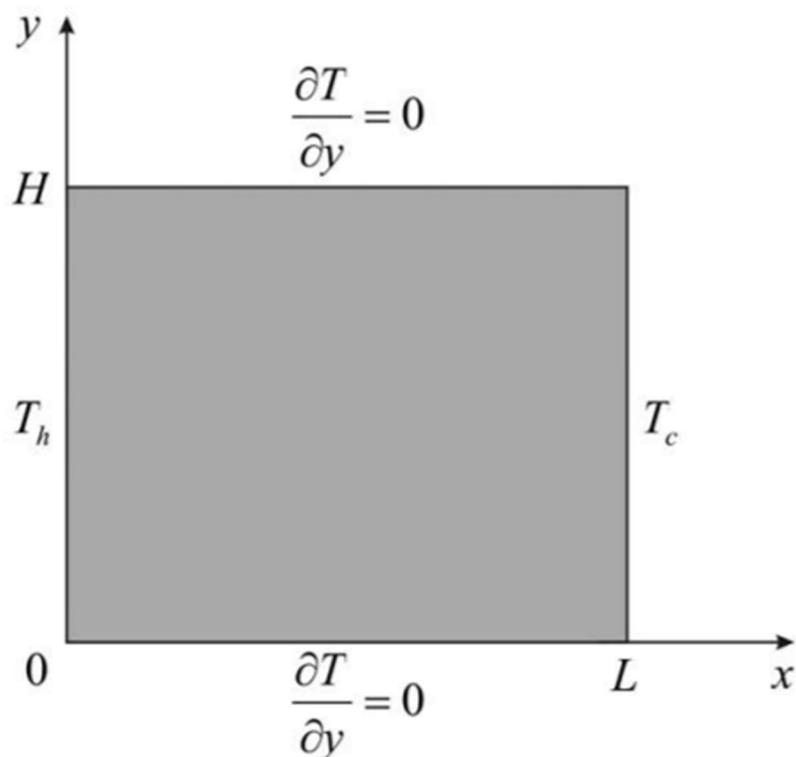


Рисунок 8 - область решения.

Математическая постановка задачи:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \begin{cases} 0 < x < L; \\ 0 < y < H. \end{cases} \quad (7)$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0 : T = T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0 : T = T_h, t > 0;$$

$$x = L : T = T_c, t > 0;$$

$$y = 0 : \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0;$$

(8)

$$y = H : \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0.$$

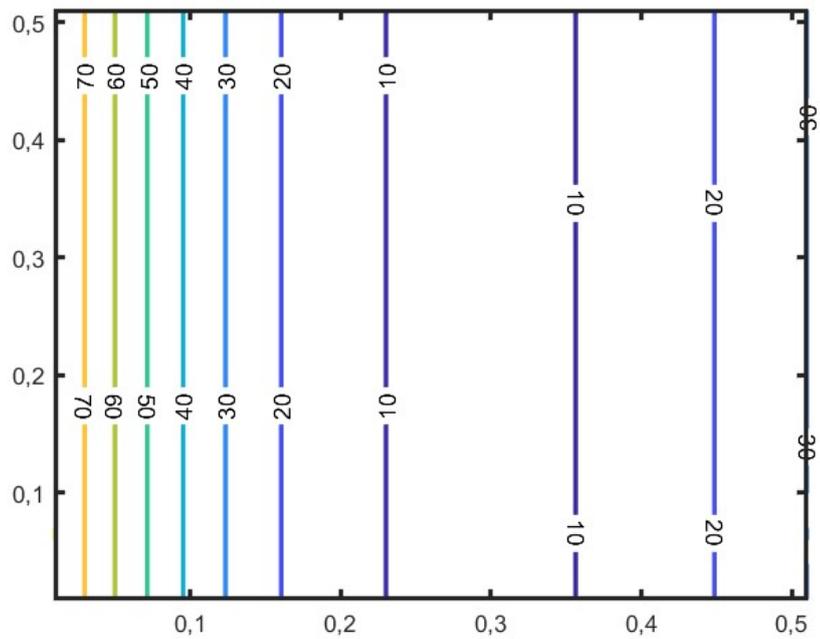


Рисунок 7 - изотермы ( $^{\circ}\text{C}$ ) полученные при решении задачи в MatLab.

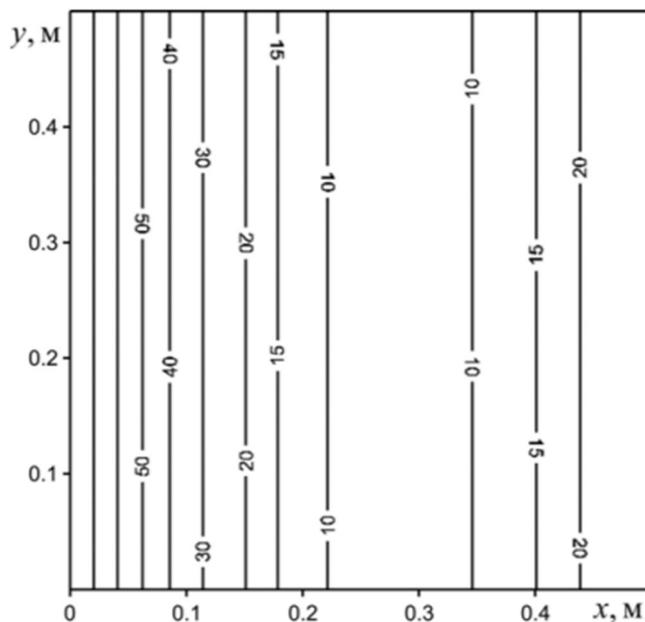


Рисунок 8 – изотермы в пластине при  $t=60$ с, данные из учебника [25]

### 2.5.3 Нестационарная задача теплопроводности в неоднородной пластине

Дана неоднородная пластина с размерами  $L=0.3$  м,  $H=0.4$  м, время расчёта составляет  $t=10$  мин, шаг по времени 10 секунд. Начальная температура  $293$  °К( $T_0$ ).

Теплофизические свойства пластины:

$$\lambda_1 = 0.6 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \rho_1 = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, c_1 = 700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad (9)$$

$$\lambda_2 = 46 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \rho_2 = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, c_2 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

На границе  $x=0$  поддерживается температура  $253$  °К( $T_c$ ), на противоположной границе  $x=L$  температура  $333$  °К( $T_h$ ), границы  $y=0$  и  $y=H$  считаются теплоизолированными. Сеточные параметры:

$$N_1=30, N_2=40, N_3=30, M_1=30, M_2=40, M_3=30.$$

## Геометрическая постановка задачи

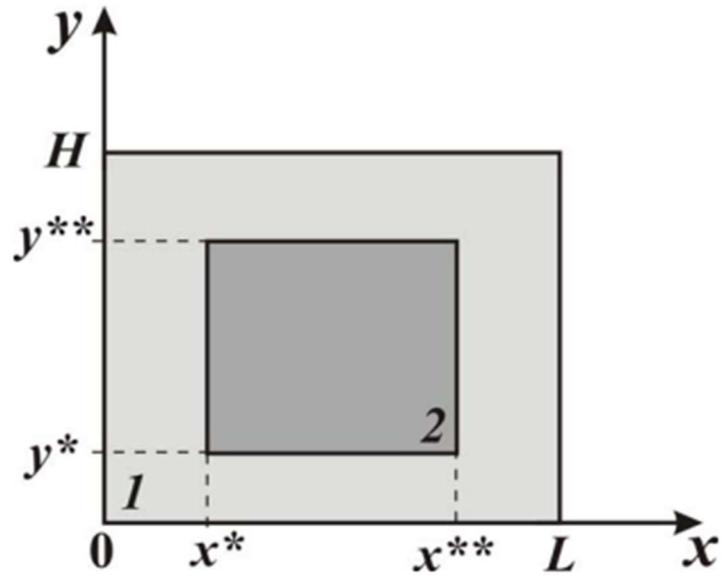


Рисунок 9- область решения.

Математическая постановка задачи

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right), \left\{ \begin{array}{l} 0 < x < x^*, 0 < y < H; \\ x^* < x < x^{**}, 0 < y < y^*, y^{**} < y < H; \\ x^{**} < x < L, 0 < y < H. \end{array} \right. \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right), x^* < x < x^{**}, y^* < y < y^{**} \end{array} \right. \quad (10)$$

Начальные и граничные условия будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 t = 0 : T &= T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H; \\
 x = 0 : T &= T_c, t > 0; \\
 x = L : T &= T_h, t > 0; \\
 y = 0 : \frac{\partial T}{\partial y} &= 0, t > 0; \\
 y = H : \frac{\partial T}{\partial y} &= 0, t > 0.
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{cases}
 T_1(t, x^*, y) = T_2(t, x^*, y), \\
 -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*}, & \text{при } y^* \leq y \leq y^{**}
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 T_1(t, x^{**}, y) = T_2(t, x^{**}, y), \\
 -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*}, & \text{при } y^* \leq y \leq y^{**}
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 T_1(t, x, y^*) = T_2(t, x, y^*), \\
 -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{y=y^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{y=y^*}, & \text{при } x^* \leq x \leq x^{**}
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 T_1(t, x, y^{**}) = T_2(t, x, y^{**}), \\
 -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{y=y^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{y=y^*}, & \text{при } x^* \leq x \leq x^{**}
 \end{cases} \tag{12}$$

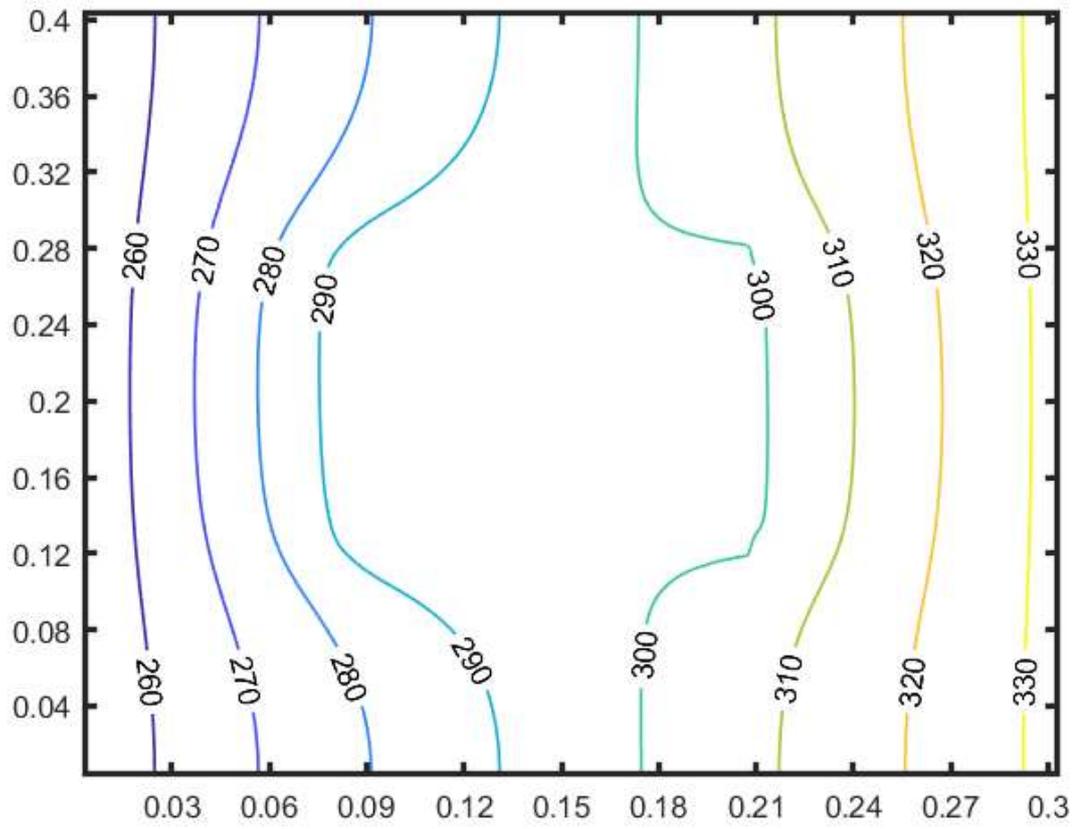


Рисунок 10 - полученные результаты при решении задачи в MatLab

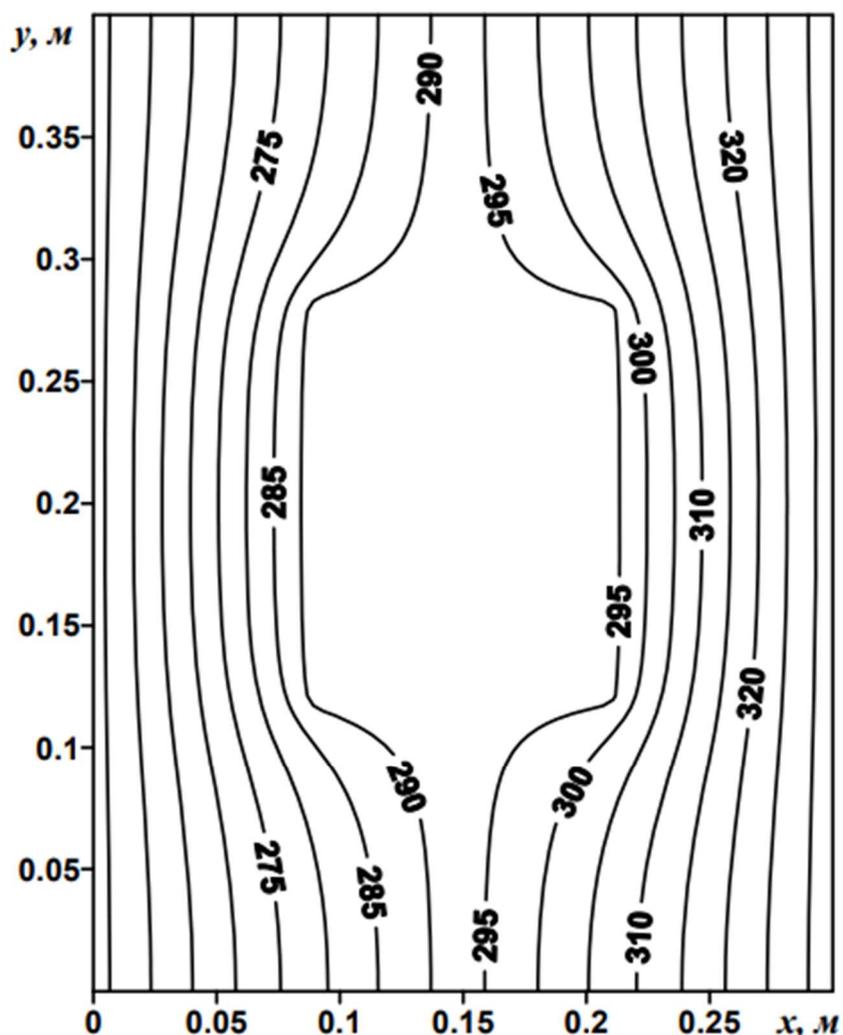


Рисунок 10 - данные из учебника [26].

### 3. Математическое моделирование процесса передачи геотермальной энергии

Для усовершенствования производства необходимо вводить различного рода инновации, но тестировать в реальности какие-либо не проверенные улучшения достаточно дорого, да и ресурсы нашей планеты не безграничны для проверки всего, что хочет создать человек. Для снижения затрат ресурсов необходимо использовать математическое моделирование. Математическое моделирование – это создание математических моделей. Математическая же модель подразумевает под собой представление процесса в реальности необходимое для исследования и получения данных, прогнозирования

поведения объекта, но при этом объекты идеализируются. Все эти аспекты способствуют развитию в любой сфере деятельности человека. Ведь необходимо понимать какие риски могут возникнуть в разрабатываемых проектах. В данной работе рассматривалась модель теплопередачи в геотермальном термосифоне. Для будущего создания геотермальной станции или использования в личных целях для отопления частного или многоквартирного домов нужно понимать какие параметры могут повлиять на получаемые параметры. В этой главе были рассмотрены влияние следующих параметров на процесс, протекающий внутри.

### 3.1. Влияние глубины скважины

Были рассмотрены скважины 5м, 10м, 15м, 20м, 25м глубиной. Вторым варьируемым параметром было время термодинамического процесса.

Графики представлены при температуре источника (Т) 373°К и глубине скважины (Н) 5м, радиус равен R=0.1 м.

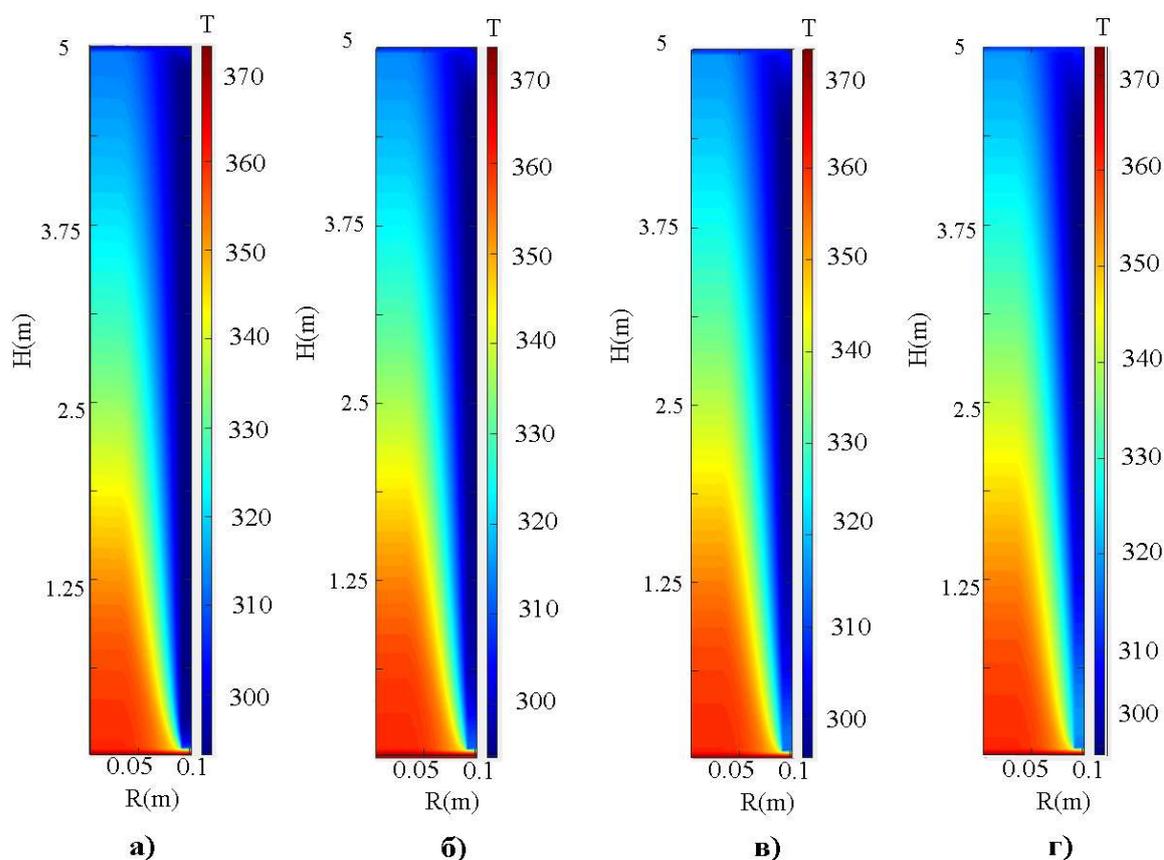


Рисунок 11- а) при  $t=1000\text{с}$ , б) при  $t=5000\text{с}$ , в) при  $t=10000\text{с}$ , г) при  $t=20000\text{с}$ .

На рисунке 11 рассматривается термосифон высотой 5 метров. С течением времени термосифон прогревается на большую величину. Для данной высоты в принципе достаточно  $t=1000\text{с}$  для выхода на стационарный режим работы. Распределение температуры на нижней крышке термосифона является равномерным. Таких величин температур термосифона достаточно для парообразования и его работы.

Графики представлены при температуре источника (Т)  $373^\circ\text{К}$  и глубине скважины (Н) 10м, радиус равен  $R=0.1$  м.

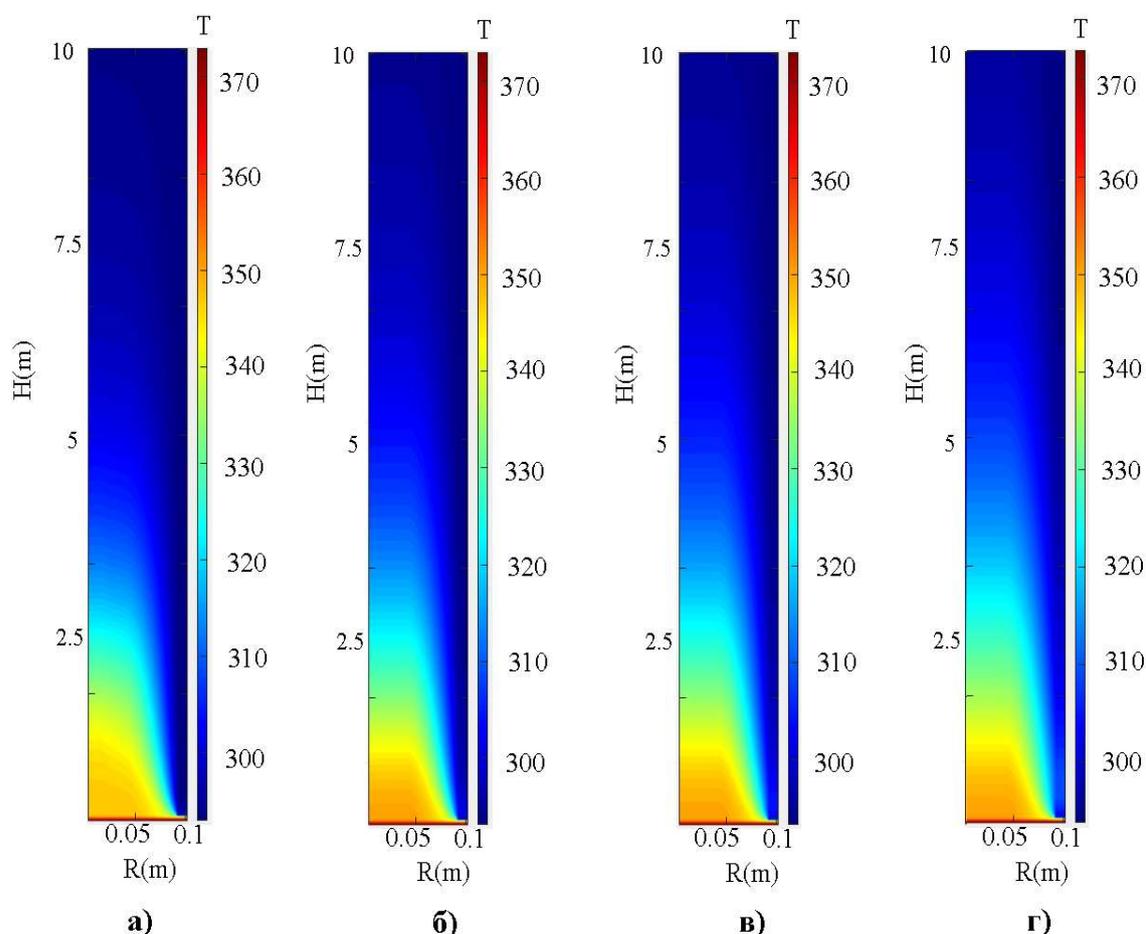


Рисунок12- а) при  $t=1000\text{с}$ , б) при  $t=5000\text{с}$ , в) при  $t=10000\text{с}$ , г) при  $t=20000\text{с}$ .

На рисунке 12 рассматривается термосифон высотой 10 метров. Для данной высоты температура источника  $373^\circ\text{К}$  недостаточно даже для прогрева термосифона до 5 метров. Для получения необходимых температур необходимо увеличить температуру источника. Распределение температуры на нижней

крышке термосифона является равномерным. Таких величин температур термосифона достаточно для парообразования и его работы.

Графики представлены при температуре источника (Т) 400°К и глубине скважины (Н) 15м, радиус равен R=0.1 м.

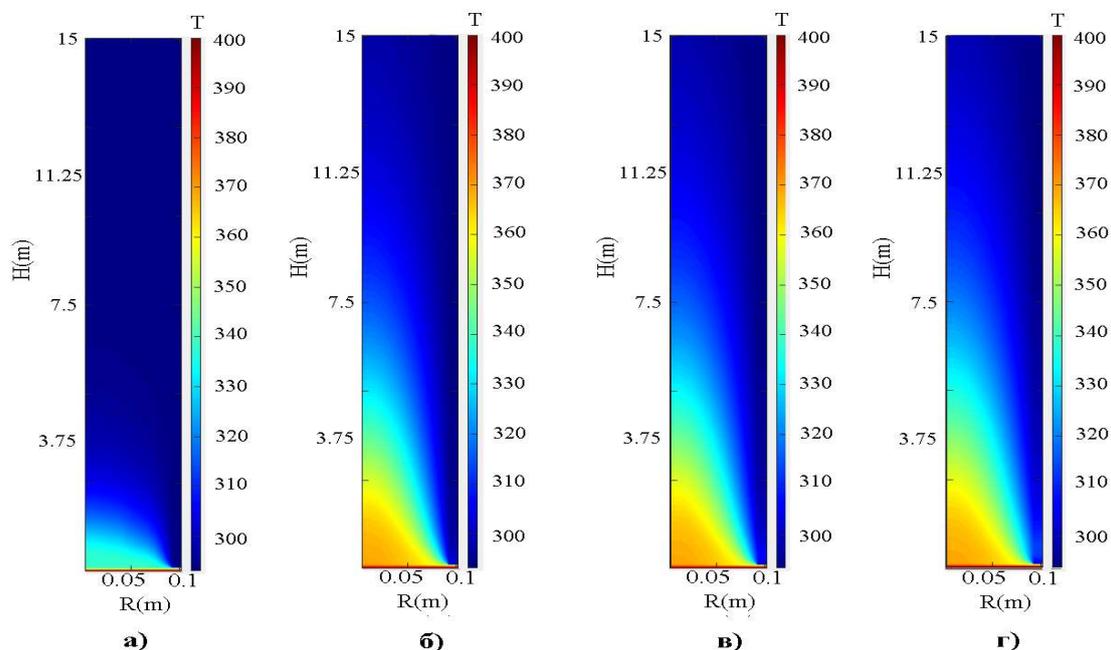


Рисунок 13- а) при  $t=1000\text{с}$ , б) при  $t=5000\text{с}$ , в) при  $t=10000\text{с}$ , г) при  $t=20000\text{с}$ .

На рисунке 13 идентичен рисунку 12 за исключение того, что 1000с термосифону высотой 15 метров недостаточно для выхода на стационарный режим работы при температуре 400°К. Термосифон прогревается всего на 5 метров в высоту за время  $t=20000\text{с}$ . Распределение температуры на нижней крышке термосифона является равномерным. Таких величин температур термосифона достаточно для парообразования и его работы.

Графики представлены при температуре источника (Т) 400°К и глубине скважины (Н) 20м, радиус равен R=0.1 м.

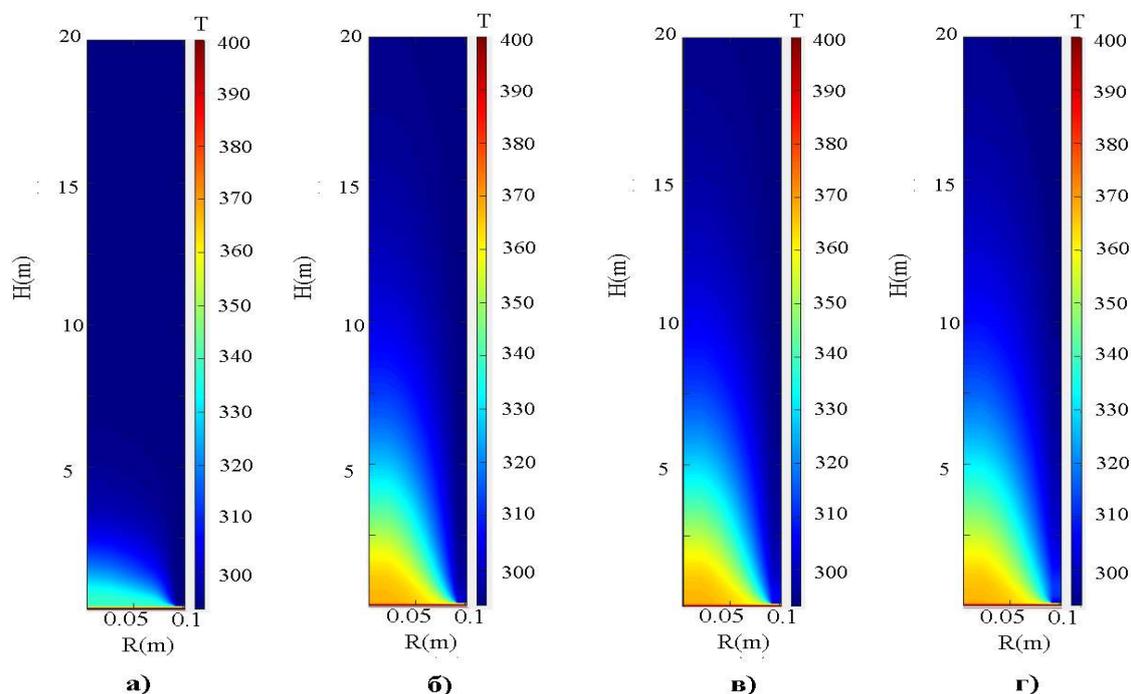


Рисунок14- а) при  $t=1000\text{с}$ , б) при  $t=5000\text{с}$ , в) при  $t=10000\text{с}$ , г) при  $t=20000\text{с}$ .

На рисунке 14 также видно, что для выхода на стационарный режим работы необходимо время  $t=5000\text{с}$  и больше. Температуры источника едва хватает для прогрева термосифона до высоты 5 метров. Распределение температуры на нижней крышке термосифона является равномерным. Таких величин температур термосифона достаточно для парообразования и его работы.

Графики представлены при температуре источника (Т) 400°К и глубине скважины (Н) 25м, радиус равен R=0.1 м.

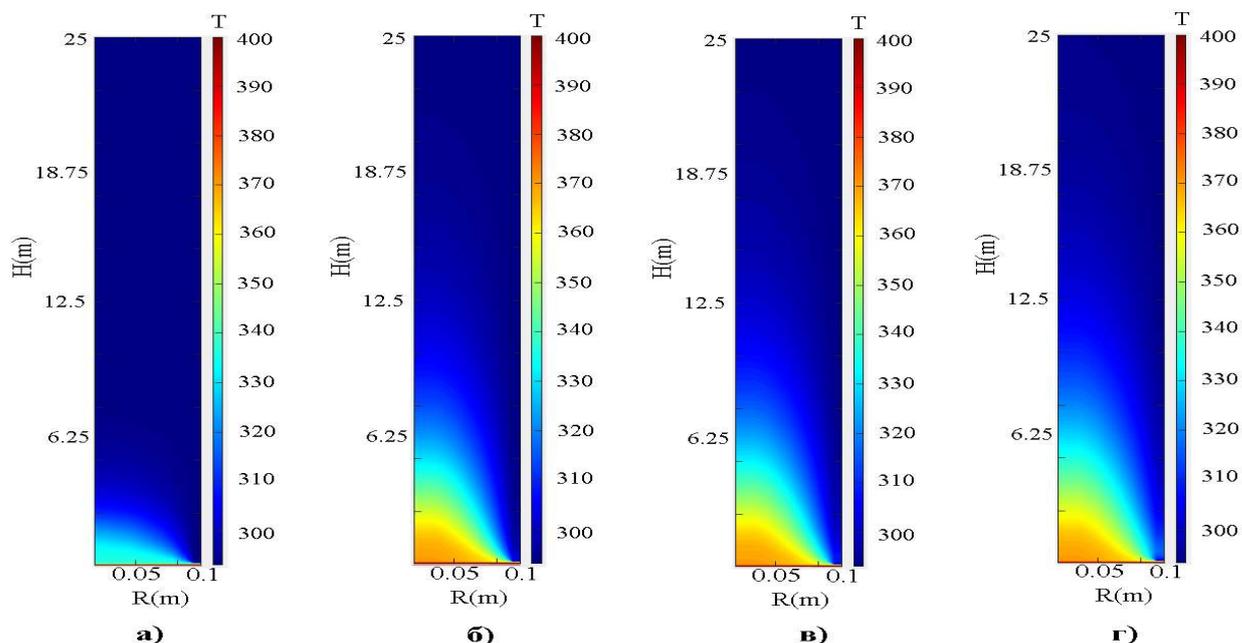


Рисунок15- а) при  $t=1000\text{с}$ , б) при  $t=5000\text{с}$ , в) при  $t=10000\text{с}$ , г) при  $t=20000\text{с}$ .

Рисунок 15 подтверждает недостаточное значение температуры источника. Выход на стационарный режим работы осуществляется при 5000с. Распределение температуры на нижней крышке термосифона является равномерным. Таких величин температур термосифона достаточно для парообразования и его работы.

Из графиков можно заметить, для скважин 5м и 10м необходимо меньше времени для выхода термосифона в стационарный режим работы. Для более глубоких скважин 15м, 20м, 25м необходимо примерно 5000с для выхода на стационарный режим и на большей температуре по сравнению с неглубокими скважинами. Для более длинных термосифонов необходимо иметь более мощный источник геотрёмальной энергии для более эффективной теплопередачи.

### 3.2. Влияние температуры источника

В данном пункте были рассмотрены следующие параметры геотермального термосифона:  $H=10\text{м}$ ,  $R=0,1\text{м}$ ,  $t=5000\text{с}$ .

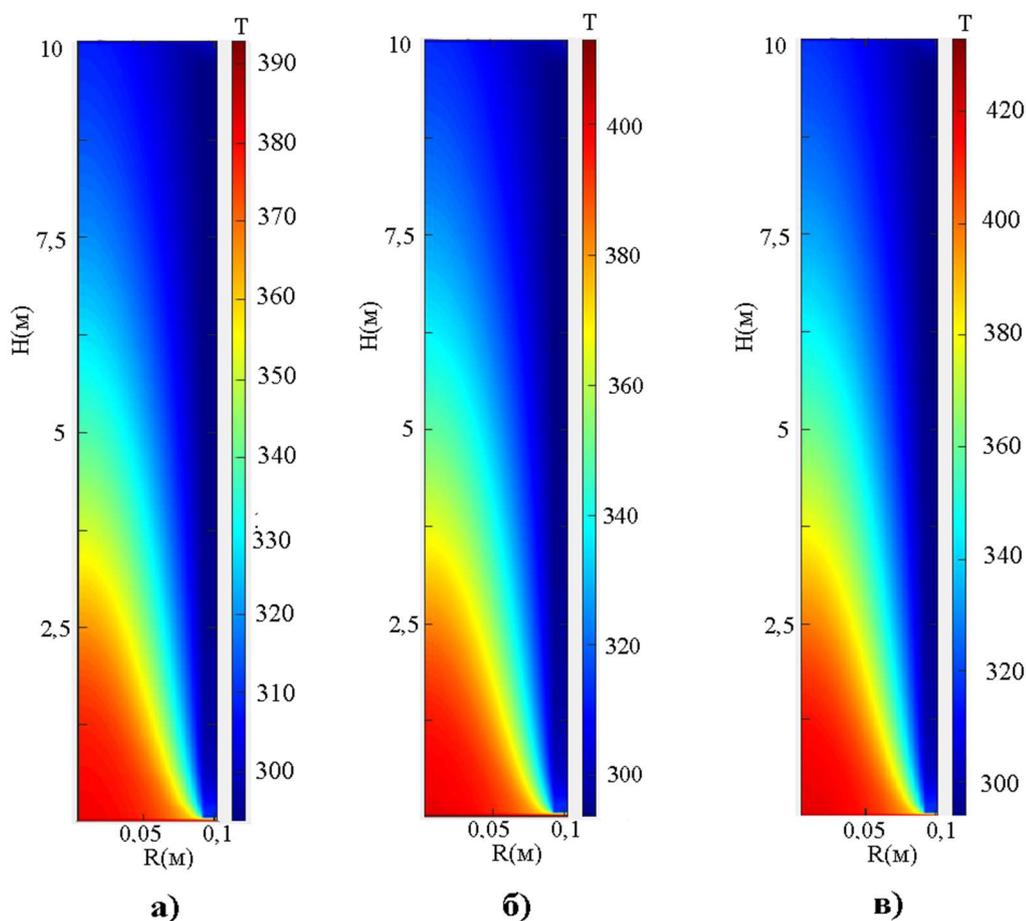


Рисунок 16- а) при  $T=393\text{ K}$ , б) при  $T=413\text{ K}$ , в) при  $T=433\text{ K}$ .

Для высоты термосифона 10 м времени  $t=5000\text{с}$  достаточно для выхода в стационарный режим работы для всех рассматриваемых температур источника. Очевидно, что с повышением температуры источника поле температур равномерно увеличивается по отношению к нижней стенке, что можно увидеть на рисунке 16.

#### Вывод по разделу

На сегодняшний день моделирование процессов является актуальной задачей, поскольку он позволяет получить результат с минимальными затратами. В ходе исследования достигнуты все поставленные задачи. Изучена информация в области моделирования процессов теплопередачи в геотермальном

термосифоне. Разработана работоспособная программа для проведения численных исследований процесса теплопередачи. В работе проведено исследование влияния глубины скважины и температуры источника на распределение температур внутри термосифона.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе рассчитываются затраты на исследование темы: «Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики».

### **4. Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования был рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Сегмент - это группа потребителей, характеризующаяся однотипной реакцией на предлагаемый продукт и на набор маркетинговых стимулов.

Сегментирование – это групповая дифференциация покупателей по типу товаров и услуг.

Сегментация рынка заключается в разделении рынков на четкие группы покупателей (рыночные сегменты), которые могут требовать разные продукты и к которым необходимо прилагать разные маркетинговые усилия.

Критериями сегментирования рынка потребителей могут быть: географический, демографический, поведенческий, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Главными преимуществами проведения, сегментации являются следующие:

1. Обеспечивается лучшее понимание не только нужд потребителей, но и того, что они из себя представляют (их личностные характеристики, характер поведения на рынке и т.п.)

2. Обеспечивается лучшее понимание природы конкурентной борьбы на конкретных рынках. Исходя из знания данных обстоятельств легче выбирать рыночные сегменты для их освоения и определять, какими характеристиками должны обладать продукты для завоевания преимуществ в конкурентной борьбе.

3. Представляется возможность концентрировать ограниченные ресурсы на наиболее выгодных направлениях их использования.

4. При разработке планов маркетинговой деятельности учитываются особенности отдельных рыночных сегментов, в результате чего достигается высокая степень ориентации инструментов маркетинговой деятельности на требования конкретных рыночных сегментов.

В настоящее время закрытые двухфазные термосифоны могут быть применены на железных дорогах и нефтепроводах, для компенсации температурных расширений, в микроэлектронике и авиации, для охлаждения важных частей, в условиях крайнего севера для стабилизации температуры грунта, а также для охлаждения промышленных энергетических аппаратов.

Продуктом нашего проекта будут результаты экспериментальных исследований, которые послужат научными основами для создания эффективной конструкции термосифона. Также данные результаты могут быть использованы для изучения закономерностей совместно протекающих процессов кондукции, конвекции и фазовых превращений в закрытом объеме.

Результаты исследования обращены к тем, у кого возник интерес к исследованиям процессов, протекающих в термосифоне, для создания научной базы, с целью разработать эффективную конструкцию термосифона. А также различным фирмам, компаниям и заводам, деятельность которых связана с теплоэнергетикой.

Потенциальными клиентами могут быть:

- атомные и тепловые электростанции;
- авиастроительные заводы;

- строительная промышленность (прокладка железных дорог и нефтепроводов, строительство зданий в условиях крайнего севера)
- физическое лицо (прокладка независимого отопления в частном доме).

Первым этапом необходимо провести сегментирование рынка услуг.

Для этого приведем критерии, по которым будет проводиться анализ (таблица 1).

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

	Потребитель				
	Частное лицо		Юридическое лицо		
Закрытый двухфазный термосифон	Имеющие индивидуальное жилье	Проживающие в многоквартирных домах	Атомные и тепловые электростанции	Авиастроительные заводы	Строительные компании
	3	1	4	2	5

Оценка степени значимости выполнена по шкале от 1 до 5.

На карте сегментирования показано, какие ниши на рынке по использованию закрытых двухфазных термосифонов не заняты конкурентами и где уровень конкуренции низок. Таким образом, максимальные усилия и ресурсы необходимо направить на использование термосифонов на предприятиях строительного сектора, а также для приобретения их физическими лицами, проживающими в отдельно стоящих жилых домах для отопления.

#### 4.1. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений проводится следующими методами и технологиями: QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ, ФСА-анализ, метод Кано, морфологический анализ.

Анализ конкурентных технических решений был рассмотрен с помощью технологии QuaD (QUalityADvisor). Данная технология позволяет описывать качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяет принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Анализ конкурентного технического решения приведен в табличной форме (таблица 2), где каждый показатель оценивается экспертным путем по 100-балльной шкале: 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	100	100	1	10
2. Помехоустойчивость	0,03	1	100	0,01	0,03
3. Надежность	0,075	100	100	1	7,5
4. Унифицированность	0,045	100	100	1	4,5
5. Уровень материалоемкости разработки	0,03	100	100	0,01	3

6. Уровень шума	0,03	100	100	1	3
7. Безопасность	0,1	100	100	1	10
8. Потребность в ресурсах памяти	0,03	1	100	0,01	0,03
9. Функциональная мощность представляемые возможности	0,03	100	100	1	3
10. Простота эксплуатации	0,045	100	100	1	4,5
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	100	100	1	3
12. Ремонтопригодность	0,075	100	100	1	7,5
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
13. Конкурентоспособность продукта	0,03	100	100	1	3
14. Уровень проникновения на рынок	0,03	1	100	0,01	0,03
15. Перспективность рынка	0,045	100	100	1	4,5
16. Цена	0,1	1	100	1	0,1
17. Послепродажное обслуживание	0,045	100	100	1	4,5
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,075	1	100	1	7,5

19. Срок выхода на рынок	0,03	1	100	0,01	0,03
20. Наличие сертификации разработки	0,03	100	100	0,01	3
Итого	1				78,72

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

В случае оценки конкурентной способности двухфазного замкнутого термосифона средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки равно  $P_{cp}=78,72$ , что позволяет судить о перспективности выше среднего.

Далее был применен метод SWOT-анализа.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Внешняя среда состоит из макро- и микроуровня. В настоящей выпускной работе макроуровень отсутствует. Рассмотрим микроуровень, который включает конкурентов и поставщиков:

Конкуренты

Конкурентами являются экспериментаторы и теоретики в области исследования двухфазных термосифонов.

Поставщики

Поставщиками электронного оборудования и установки являются ООО “Физикон”, компания “KRUSS” и супермаркет цифровой техники “DNS”.

Аудиторией влияния являются руководители и сотрудники Томского Политехнического Университета.

Рассмотрим внутреннюю среду:

Проектный продукт и его характеристики

Продуктом нашего проекта будут результаты экспериментальных исследований, которые послужат научными основами для создания эффективной конструкции термосифона. Также данные результаты могут быть использованы для изучения закономерностей совместно протекающих процессов кондукции, конвекции и фазовых превращений в закрытом объеме.

Основными средствами является: ЭВМ, программное обеспечение.

Оборотный капитал отсутствует.

Таблица 3– SWOT-анализ

<p><u>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</u> С1. Возможность получения новых, никем ранее не полученных, результатов С2. Применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике С3. Новое высокотехнологическое оборудование С4. Отсутствие капитальных затрат за счет автономности работы термосифона</p>	<p><u>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</u> Сл1. Присутствие конкурентов Сл.2. Сложность создания необходимых условий Сл3. Большое количество дополнительных экспериментов Сл.4. Требуется много времени на исследование</p>
--	--

<u>Возможности научно-исследовательского проекта:</u> В1. Новые теоретические знания, научные термины В2. Опыт проведения научных и экспериментальных исследований В3. Высокая актуальность в реализации проекта В4. Освоение нового оборудования и программного обеспечения	<u>Угрозы научно-исследовательского проекта:</u> У1. Появление новых, активных и целеустремленных конкурентов У2. Большая погрешность измерений. У3 Увеличение цен на энергоресурсы У4. Отсутствие инвесторов У5. Высокий процент по кредитам
--	--

Для того, чтобы определить необходимость стратегических изменений, необходимо выявить соответствие сильных и слабых сторон.

Таблица 4 – Интерактивная матрица по выявлению сильных сторон и возможностей

Сильные стороны					
		C1	C2	C3	C4
Возможности	B1	+	+	+	-
	B2	+	+	+	0
	B3	-	+	+	+
	B4	+	+	+	-

Анализ данной интерактивной таблицы показал коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С1,С2,С3; В2С1,С2,С3; В3С2,С3,С4; В4С1,С2,С3.

Далее рассмотрена корреляция слабых сторон

Таблица 5 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и возможностей

Слабые стороны					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	B1	+	0	+	+

	B2	-	0	+	+
	B3	0	-	0	-
	B4	0	-	+	0

Корреляции слабых сторон и возможностей следующие: B1Сл1,Сл3,Сл4;  
B2Сл3,Сл4; B4Сл3.

Таблица 6 – Интерактивная матрица по выявлению сильных сторон и угроз

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Угрозы	У1	+	0	-	-
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	-	0
	У4	-	-	-	0
	У5	-	-	-	0

Возможна следующая корреляция сильных сторон и угроз:  
У1С1,С8.

Таблица 7 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и угроз

		Слабые стороны			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы	У1	+	-	-	-
	У2	-	+	+	+
	У3	0	-	-	-
	У4	-	-	-	-
	У5	-	-	-	+

Могут быть получены следующие результаты: У1Сл1; У2Сл2Сл3,Сл4; У5Сл4.

#### 4.1.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения работы, составлен план. В нем подсчитаны по пунктам трудоемкость работ, количество исполнителей, участвующих в проекте, расходы и текущие затраты: заработная плата, социальные отчисления.

Поэтапный список работ, работающие исполнители, оценка объема трудоемкости отдельных видов работ сведена в таблицу 8.

Таблица 8 – Планирование работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнитель	Продолжительность дней
1	2	3	4
1	Выдача и получение задания	Научный руководитель	1
		Инженер	
2	Обзор и анализ литературы	Инженер	6
3	Постановка задачи	Инженер	3
4	Разработка математической модели	Инженер	5
5	Аппроксимация полученных уравнений	Инженер	2
6	Верификация сформулированной математической модели	Инженер	3
7	Численные исследования эффективности работы геотермальных термосифонов	Инженер	6
8	Проверка расчетов	Научный руководитель	1
		Инженер	

9	Оформление работы по стандартам ТПУ	Инженер	3
10	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель	1
		Инженер	
11	Итого	Научный руководитель	3
		Инженер	34

Таблица 9 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Исполнители	Ткi кал. дн	Продолжительность выполнения работ															
				Апрель					Май										
				1-14	15	16-21	22-24	25-30	1-2	3-5	6	7	8-12	13	14-16	17	18-22	23	24-31
1	Выдача и получение задания	Научный руководитель, Инженер	1		■														
2	Обзор и анализ литературы	Инженер	6			■													
3	Постановка задачи	Инженер	3				■												
4	Разработка математической модели	Инженер	5					■											
5	Аппроксимация полученных уравнений	Научный руководитель, Инженер	2						■										
6	Верификация сформулированной математической модели	Студент	3							■	■								
7	Численные исследования эффективности работы геотермальных термосифонов	Студент	6									■	■						
8	Проверка расчетов	Студент	1											■					
9	Оформление работы по стандартам ТПУ	Руководитель, студент т	3												■				
10	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель, Инженер	1													■			

## 4.2 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ была использована следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Бюджет НТИ определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{ИР}} = Z_{\text{МАТ}} + Z_{\text{АМ}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{СО}} + Z_{\text{ПРОЧ}} + Z_{\text{НР}}, \text{ руб.}$$

где  $Z_{\text{МАТ}}$  – материальные затраты, руб.;  $Z_{\text{АМ}}$  – амортизация компьютерной техники, руб.;  $Z_{\text{ЗП}}$  – затраты на заработную плату, руб.;  $Z_{\text{СО}}$  – затраты на социальные нужды;  $Z_{\text{ПРОЧ}}$  – прочие затраты, руб.;  $Z_{\text{НР}}$  – накладные расходы, руб.

### 4.2.1 Материальные затраты

Статья «Материальные затраты» включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Задачей данной научной работы является выполнение расчетов теплопередачи в термосифоне и создание математической модели. В связи с чем материальные затраты на выполнение исследования отсутствуют.

#### **4.2.2 Амортизация компьютерной техники**

При выполнении данного проекта была использована компьютерная техника, в связи с этим была рассчитана амортизация от ее использования.

Затраты на амортизацию компьютерной техники рассчитаны по формуле:

$$Z_{AM} = \frac{T_{ИСП КОМП Т.}}{T_{КАЛ Д}} \cdot Ц_{КОМП Т.} \cdot \frac{1}{T_{СЛ}}, \text{ руб.}$$

где  $T_{\text{ИСП. КОМП.Т.}}$  – время использования компьютерной техники;  $T_{\text{КАЛ.Д}}$  – календарное время, (365 дней);  $C_{\text{КОМП.Т}}$  – стоимость техники, руб.;  $T_{\text{СЛ}}$  – срок службы компьютерной техники, 5 лет.

Стоимость компьютера принята в размере 60000 руб.

По расчету  $Z_{\text{АМ}}$  составило 822 руб.

$$Z_{\text{АМ}} = \frac{25}{365} \cdot 60\,000 \cdot \frac{1}{5} = 822 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию объектов основных средств, необходимых для данной разработки, занесены в таблицу 11.

Таблица 11 - Затраты на амортизацию

Наименование амортизируемого объекта	Цена, руб.	$T_{\text{СЛ}}$ , лет	$T_{\text{ИСП. КОМП.Т.}}$ , дн	Норма амортизации в день, %	Затраты на амортизацию, руб.
Компьютер	60000	5	25	0,0548	822

#### 4.2.3 Затраты на заработную плату

В состав затрат на оплату труда включаются:

–выплаты основной заработной платы за фактически выполненные работы, исходя из должностных окладов в соответствии с принятыми нормами и системами оплаты труда;

–выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда;

–оплата в соответствии с действующим законодательством очередных и дополнительных отпусков.

Фонд заработной платы рассчитывается по формуле:

$$\Phi Z_{\text{П.МЕС}} = Z_{\text{З/ПЛ}} = Z_{\text{П.ИНЖ}} + Z_{\text{П.Н.Р.}}, \text{ руб.}$$

где  $Z_{\text{П.ИНЖ}}$  – заработная плата инженера, руб.;  $Z_{\text{П.Н.Р.}}$  – заработная плата научного руководителя, руб.

Месячная заработная плата:

$$Z_{\text{П.МЕС}} = Z_{\text{П.О}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ руб.}$$

где ЗПО – месячный оклад научного руководителя (27000 руб.), инженера (18000 руб.);  $K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск, (1,1);  $K_2$  – районный коэффициент (для города Томска районный коэффициент установлен в размере 30%),  $K_3$  – коэффициент, учитывающий стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей ( $K_3$  принят в размере 1,2).

Месячная заработная плата научного руководителя составляет:

$$ЗП_{\text{МЕС}} = 27000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 46332 \text{ руб.}$$

Месячная заработная плата инженера составляет:

$$ЗП_{\text{МЕС}} = 18000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 30888 \text{ руб.}$$

Таблица 12 – Расчет заработной платы по категориям исполнителей

№ п/п	Исполнители по категориям	Оклад, руб.	$K_1$	$K_2$	$K_3$	Итого месячная заработная плата	Дневная заработная плата, руб.
1	Научный руководитель	27000	1,1	1,3	1,2	46332	2206,29
2	Инженер	18000	1,1	1,3	1,2	30888	1470,86

Расчет средней заработной платы согласно затраченному времени на выполнение ВКР находим по формуле:

$$ЗП_{\text{СР}} = \frac{ЗП_{\text{МЕС}}}{21} \cdot n^{\Phi}, \text{ руб.}$$

где 21 – число рабочих дней в месяц;  $n^{\Phi}$  – фактическое число дней в проекте.

$$ЗП_{\text{СР.Н.Р.}} = \frac{46332}{21} \cdot 4 = 8825,14 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{СР.ИНЖ.}} = \frac{30888}{21} \cdot 32 = 47067,43 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы составляет:

$$\Phi ЗП_{\text{МЕС}} = K_{3/\text{ПЛ}} = 47067,43 + 8825,14 = 55892,57 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной и дополнительной заработной платы сведены в табл. 13.

Таблица 13 - Расчет основной и дополнительной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам) на выполнение проекта, руб.
1	Научный руководитель	4	2206,29	8825,14
2	Инженер	32	1470,86	47067,43
	Итого			55892,57

#### 4.2.4 Затраты на обязательные социальные отчисления

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, обязательного медицинского страхования. Затраты на социальные нужды рассчитаны как доля 30 % от затрат на оплату труда (22 % в пенсионный фонд; 2,9 % на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством; 5,1 % на обязательное медицинское страхование) по формуле:

$$K_{CO} = 0,3 \cdot K_{з/пл}, \text{ руб.}$$

$$K_{CO} = 0,3 \cdot 55892,57 = 16767,77 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл. 14).

Таблица 14 - Расчет отчислений во внебюджетные фонды

№ п/п	Исполнители по категориям	Всего заработная плата по тарифу (окладам) на выполнение проекта, руб.	Страховые взносы, руб.
	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30 %	
1	Научный руководитель	8825,14	2647,54
2	Инженер	47067,43	14120,23
	Итого	55892,57	16767,77

#### 4.2.5 Прочие затраты

К прочим затратам относятся налоги, затраты на командировки и т.д. Прочие затраты рассчитаны как 10% от суммы материальных затрат, затрат на заработную плату и отчислений на социальные нужды, амортизационных отчислений:

$$З_{ПР} = 0,1 \cdot (З_{МАТ} + З_{АМ} + З_{ЗП} + З_{СО}), \text{ руб.}$$

$$З_{ПР} = 0,1 \cdot (1200 + 822 + 55892,57 + 16767,77) = 7468,23 \text{ руб.}$$

#### 4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: канцелярские расходы, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Величина коэффициента накладных расходов принята в размере 20%.

В составе накладных расходов были учтены: затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. с учетом транспортных расходов принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

В данной работе канцелярские расходы приняты в размере 1200 руб. (ручки, карандаши, бумага, флэш-носитель, заправка для картриджа).

Затраты на заправку картриджа Canon FC/PC-108/200/210/230/310/330/860 приняты по прайс-листу на заправку картриджами в размере 400 руб.

SvetoCopy — бренд № 1 в категории «Бумага для офиса» с оптимальным соотношением цены и качества. Надежная в работе, проверенная временем и пользователями офисная бумага SvetoCopy подходит для любого принтера и копировального аппарата, цена 500 руб./шт.

Цена 1 пачки бумаги формата А4 принята в размере 600 руб. с учетом затрат на доставку (20 %).

$$Z_{\text{канц}} = 400 + (500 \times 1,2 \text{ руб.}) + 200 = 1200 \text{ руб.}$$

Канцелярские расходы, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 10.

Таблица 10 - Канцелярские расходы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), руб.
Бумага	Пач.	1	600	600
Заправка картриджа	Шт.	1	400	400
Ручки, карандаши	Шт.	4	50	200
Итого				1200

Прочие накладные расходы (оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы) приняты в размере 20 % от расходов на оплату труда.

$$Z_{\text{НР}} = Z_{\text{канц}} + 0,2 \cdot Z_{\text{ЗП}}, \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{НР}} = 1200 + 0,2 \cdot 55892,57 = 12378,51 \text{ руб.}$$

#### 4.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы по теме «Перспективы использования геотермальной энергии в задачах теплоснабжения объектов теплоэнергетики» является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Бюджет затрат на проект составит:

$$Z_{\text{ПР}} = 822 + 55892,57 + 16767,77 + 7468,23 + 12378,51 = 93329,08 \text{ руб.}$$

Бюджет затрат на проект представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Бюджет затрат на проект

Элементы затрат	Обозначение	Стоимость, руб.
Материальные затраты	$Z_{\text{МАТ}}$	0
Амортизация компьютерной техники	$Z_{\text{АМ}}$	822
Затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя	$Z_{\text{З/ПЛ}}$	55892,57
Затраты на социальные нужды	$Z_{\text{С.О}}$	16767,77
Прочие затраты	$Z_{\text{ПР}}$	7468,23
Накладные расходы	$Z_{\text{НР}}$	12378,51
Итого бюджет затрат НИИ	$Z_{\text{ПР}}$	93329,08

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Исследование процесса плавления и солидификации энтальпийным методом математическим моделированием позволяет быстро, дешево и точно получить качественную и количественную информацию об исследуемом объекте.

Описывается решение уравнения теплопроводности энтальпийным методом. Для получения оптимальных значений теплофизических характеристик материала в работе моделируется процесс охлаждения за счет фазового перехода, для создания охлаждающего чипа. В начальный момент времени материал берется при значении температуры равной температуре фазового перехода, образуется фронт плавления и изучается влияние безмерных критериев на расположение фронта плавления. На основе полученных данных можно судить о теплофизических свойствах материала.

Моделирование процессов энтальпийным методом применяется в энергетике. Потенциальными пользователями являются компании, связанные с электроникой, такие как Apple, Xiaomi, M.Видео, Intel и др.

Исследование проводилось в помещении площадью 15 м<sup>2</sup>. В использованное оборудование входит компьютер, программа Matlab. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: моделирование процессов плавления и солидификации.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовой кодекс РФ позволяет контролировать отношения между организацией и сотрудниками, включая размер заработной платы, выходные, отпуска и т.д.

Основным документом, регулирующим трудовые отношения между работником и работодателем, является ТК РФ [27]. В него входят нормы по регламентированию продолжительности работы, ее оплаты, компенсации при работе во вредных условиях, защиты персональных данных работников, социальных выплат работодателем, о социальной страховке и о пенсионном обслуживании.

Согласно [27] продолжительность рабочего времени составляет 40 часов в неделю в оптимальных условиях внешней среды. В течение рабочего дня (смены) работнику предоставляется перерыв для отдыха и питания продолжительностью от 30 минут до 2 часов. Время предоставления перерыва и его конкретная продолжительность устанавливаются в правилах внутреннего трудового распорядка или по соглашению между работником и работодателем. Работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;

- обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе инженером-теплотехником допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом, прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе.

Данная работа предполагает работу в позе «сидя». Исходя из этого необходимо установить правила рабочего места при выполнении такого рода работы. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя» [29] рабочее место должно соответствовать стандартам безопасности труда.

Так, трудовые процедуры должны выполняться в рамках досягаемости моторного поля.

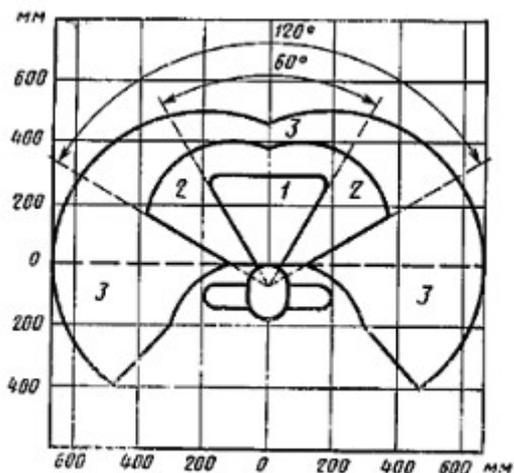
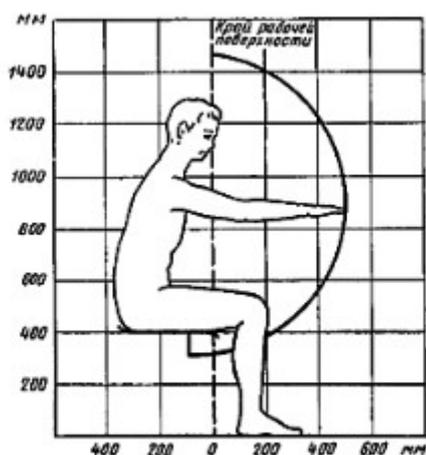


Рисунок 1 – зона досягаемости моторного поля по вертикале

Рисунок 2 – зона досягаемости моторного поля по горизонтали

Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости.

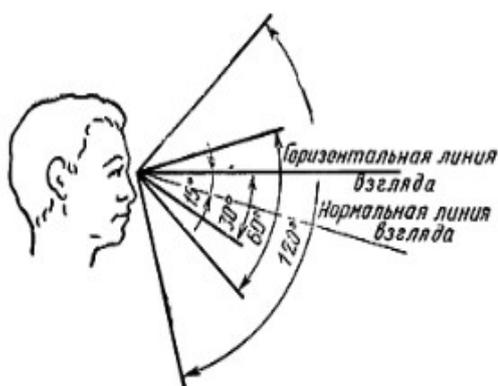


Рисунок 3 – Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости

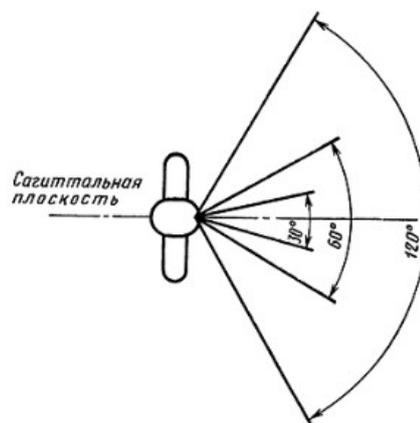


Рисунок 4 – Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости

## 5.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003 – 2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» выявим производственные факторы и проведем анализ.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при разработке проектного решения

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
---------------------------------	-----------------------

Вредные факторы	
Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса	Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [29]
Умственное перенапряжение	Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [29]
Перенапряжение зрительного анализатора	Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [29]
Статические перегрузки, связанные с рабочей позой	ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя; [24]
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [5].
Длительное сосредоточенное наблюдение	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [7]

Повышенный уровень электромагнитных излучений	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [7]
Опасные факторы	
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которых попадает работающий.	В «Правила устройства электроустановок, ПУЭ» описываются меры предосторожности для предотвращения поражения электрическим током.

1) При математическом моделировании опасным фактором является фактор, связанный с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. В «Правила устройства электроустановок, ПУЭ» описываются меры предосторожности для предотвращения поражения электрическим током. Так как ПК работает на электрическом токе появляется риск поражения электрическим током при происшестввах или при несоблюдении правил безопасности.

В зависимости от силы тока и его пути по человеческому телу могут проявлять такие болезни, как электрический шок, электроофтальмия, электрические ожоги, металлизация кожи.

Не существует безопасной величины электрического тока, но есть значения ощутимого тока – 0,8-1,2 мА, неотпускающего тока, когда человек не может отпустить токопроводящую часть из-за сильной судороги – 10-16 мА и фибрилляционный ток – 100 мА и более при поражении током такой силы

происходит клиническая смерть или смерть от удушья вследствие судорожного состояния сердца или легких.

Для минимизации случаев поражения электрическим током необходимо огородить места повышенной опасности, использовать изолирующие устройства и покрытия и устройства защитного заземления.

2) Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса.

В результате нервно-психических перегрузок может пострадать нервная система работника, органы чувств и эмоциональное состояние человека.

Для уменьшения воздействия этого вредного фактора необходимо проводить мероприятия по снижению стресса. Например, вести здоровый образ жизни, полноценно восстанавливаться после рабочего дня, выполнять разминку в время рабочего процесса.

Зачастую этому фактору подвержены программисты, работающие с большим объемом данных и проводящих длительное время за программированием.

3) Умственное перенапряжение

При умственном перенапряжении истощаются клетки мозга от постоянной чрезмерной нагрузки. Умственное перенапряжение сложнее поддается лечению, так как физически оно начинает проявляться, когда процесс уже заходит далеко. В большинстве случаев умственное перенапряжение сопровождается нарушением сна.

Для решения данной проблемы необходимо отдыхать через некоторый интервал времени. Самая лучшая поза для отдыха считается, сидя на полу, поджав под себя ноги «по-турецки». Эта поза снимает напряжение (и нервное, и мышечное), что позволяет мозгу в это время функционировать без особых усилий. Кроме того, такая поза улучшает работу всех органов нижней половины тела.

#### 4) Перенапряжение зрительного анализатора

Как правило, усталость глаз вследствие перенапряжения зрительного анализатора сопровождается непостоянным снижением зрения, слезотечением или сухостью глаза и головными болями. Однако при длительном существовании астиопия может стимулировать развитие близорукости.

Для предотвращения заболеваний необходимо соблюдение режима зрительной работы, ликвидация отраженного света и бликов, настройка технических параметров приборов.

#### 5) Статические перегрузки, связанные с рабочей позой

В случае выполнения работ в течении продолжительного времени без смены позы, накапливается напряжение в мышцах спины и мышцах шеи. Это происходит в случае работы за компьютером, или в случае выполнения однообразных операций вручную, например, сборке чего-либо, и т.п.

Для защиты от этого фактора рекомендуется во время такой работы делать короткий перерыв на разминку каждый час, и длинный перерыв каждые три часа. Также можно делать перерывы, общие для всех работников, находящихся в одном помещении для совместной разминки. Также необходимо уделить особое внимание непосредственно организации самих рабочих мест: рабочее место при работе сидя должно быть организовано в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя[29].

б) Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;

Данный фактор приводит к снижению общего самочувствия работника. При хроническом воздействии происходит ухудшение зрения.

Рекомендуется помимо естественного освещения из окон, использовать искусственное освещение электрическими светильниками. Оно

может быть представлено двумя видами: общее равномерное (светильники на потолке) и местное (осветители непосредственно на рабочих местах).

Таблица 17- Требования к освещению

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд подражательной зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение				Естественное освещение	
				средняя освещенность на рабочей поверхности, лк	цилиндрическая освещенность, лк	объединенный показатель $UGR$ , не более	коэффициент пульсации освещенности $K_n$ , % не более	КЕО $e_n$ , % при	
								Верхнем или комбинированном	бокoвом
Различные объекты при фиксированной и нефиксированной линии зрения: средней точности	Более 0,5	В-1	Не менее 70	200	50*	2218**	2015**	2,0	05
		В-2	Менее 70	150	Не регламентируется	2218**	2015**	2,0	0,5

7) Длительное сосредоточенное наблюдение;

Длительное сосредоточенное наблюдение результатов работы или длительная работа на компьютере приводит к плохому самочувствию работника, а в последствии к ухудшению зрения. В СанПиН 1.2.3685-21

Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [34], описана допустимая величина (в % от времени смены) длительности сосредоточенного наблюдения и составляет от 26 до 50%. Для поддержания здоровья не следует превышать данную норму.

8) Повышенный уровень электромагнитных излучений;

Известно, что ПК являются источником электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона. При длительном постоянном воздействии, которого на организм человека наблюдаются нарушения сердечнососудистой, дыхательной и нервной систем, появляется утомляемость, ухудшение самочувствия, гипотония, также характерна головная боль, изменение проводимости сердечной мышцы. Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) нормируются СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [34].

ПДУ электромагнитного поля (ЭП) частотой 50 Гц на рабочем месте - 5 кВ/м.

При напряженности ЭП от 5 до 20 кВ/м включительно, допустимое время пребывания рассчитывается по формуле (4.1):

$$T = \frac{50}{E^2}, \quad (4.1)$$

где  $T$  - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

$E$  - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

### 5.3 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

#### *Воздействие на селитебную зону:*

В ходе проведения эксперимента затрачивается достаточно большое количество электроэнергии. Данный фактор обусловлен из – за специфики проводимых экспериментов в данной работе, так как для создания математической модели, необходимо длительное использование ПК. Предотвращения воздействия на селитебную зону можно добиться приобретением более мощного ПК, который будет работать быстрее и затрачивать меньше электроэнергии.

Загрязнение селитебной зоны отходами после реализации эксперимента. После реализации эксперимента возможны отходы материалов с фазовым переходом, единственный вред какой они могут принести селитебной зоне заключается в создании дискомфорта жителям, если утилизировать их путём выбрасывания в неположенных местах.

#### *Воздействие на литосферу и атмосферу:*

После создания математической модели и запуска производства чипа возможны проблемы с утилизацией отработавших чипов, так как многие люди халатно относятся к данному процессу. Данную проблему необходимо решить вознаграждением за правильную утилизацию или возвращением чипа на переработку. Воздействие на атмосферу будет незначительным поскольку чип будет очень маленьким и выделение вредных веществ никак не будет превышать норм.

*Воздействие на гидросферу не обнаружено*

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно анализу, возможные ЧС на рабочем месте относятся пожар, взрыв, землетрясение.

Рассмотрим более подробно наиболее вероятный вид ЧС – пожар. Возможный источник его возникновения – с ПК или зарядным устройством ПК, которые могут привести к короткому замыканию и сильному нагреву в проводке или микросхемах, который может вызвать тление пластиковых деталей, воспламенение столешницы или предметов, лежащих на столе и вокруг него. Для предотвращения этого необходимо в первую очередь озаботиться пожаробезопасности конструкции, а именно:

- применять качественные стыки проводки (клеммы);
- спрятать все провода в негорючие кабель-каналы;

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания и направляются на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС. На этаже находится два огнетушителя и пожарных крана, а также три эвакуационных выхода.

Также сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки. План эвакуации представлен на рисунке 3.

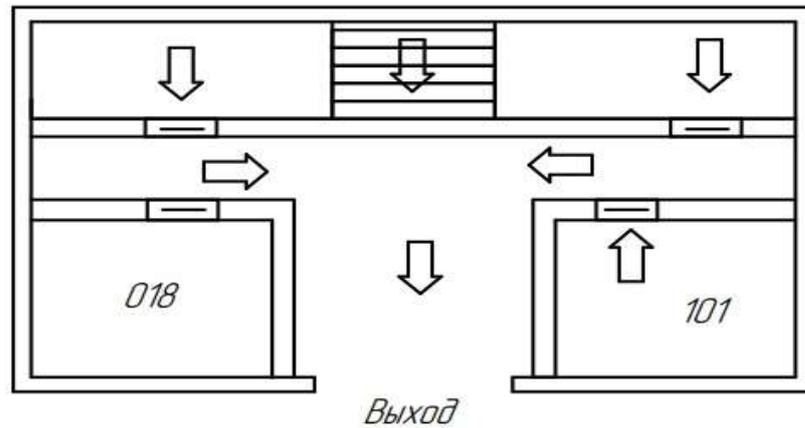


Рисунок 1 – Схема эвакуации при пожаре

Возможные пожары могут быть А, С и Е классов, соответственно в первичные средства пожаротушения должны входить переносные или передвижные огнетушители и пожарный кран.

## **Выводы по разделу социальная ответственность**

Таким образом, в работе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, позволяющие определять взаимоотношения между организацией и сотрудником, условия труда, а также характеристику рабочего места работника.

Фактических значений потенциально возможных факторов по нормативным значениям не выявлено.

Персонал относится к I группе по электробезопасности, то есть неэлектротехнический персонал.

Офис по электробезопасности относится к 1 категории электробезопасности. Влажность воздуха в помещении лежит в пределах 60-75%. Не осуществляется технологических процессов – нет технологической токопроводящей пыли. Температура помещения до 20 °С. Пол выполнен из керамической плитки.

При выполнении исследовательской работы тяжесть труда была категории Ia.

Категория помещения по взрыво- и пожарной опасности Г.

Категория помещения III «Объекты, оказывающие незначительное негативное воздействие на окружающую среду» по тому, процесс разработки предмета исследования не оказывает влияние на окружающую среду.

## Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы была рассмотрена геометрическая и математическая модели процессов, проходящих внутри геотермального термосифона. В задачах было изучено влияние глубины скважины (5м, 10м, 15м, 20м, 25м) и изменение температуры источника (393 °К, 413 °К, 433 °К) на процесс теплопередачи.

Во время выполнения работы получены графики распределения температур внутри термосифона.

По итогу выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был произведен расчёт НТИ. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена социальная ответственность предприятия, указаны пагубные воздействия на человека и меры их предотвращения.

## Список литературы

1. Геотермальная энергия как альтернативный источник энергии / Бойкова А.В. // В сборнике: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. Новокузнецк – 2020- С. 151-155.
2. Геотермальная энергия как основной источник энергии для будущего развития энергетики / Ермолаева Д.Е. // В сборнике: НАУЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ. сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях – 2017- С. 9-22.
3. Обзор альтернативных источников энергии. геотермальная энергия / Белоокая Н.В., Пивоварова Е.И. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость-2015- № 1 (12)- С. 67-72.
4. Геотермальный ресурс как важный источник энергии / Гацаева Л.С., Гацаева С.С.А., Даукаев А.А. // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова РАН. 2020- № 4 (4)- С. 87-92.
5. Развитие рынка геотермальной энергии на современном этапе / Кузьмина О.Ю. / Наука XXI века: актуальные направления развития. 2021- № 2-1. С. 223-226.
6. Потенциал кластерного энергоснабжения Северного Кавказа с использованием геотермальной энергии / Алиев Р.М., Байрамов А.М., Прохоров А.И. // В сборнике: GEOENERGY. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Таймасханов Х.Э., Малышев Ю.Н., Минцаев М.Ш., 2015- С. 156-170.
7. Исследование работы пародинамического термосифона и термосифона без внутренних циркуляционных вставок / Шаповалов А.В., Родин А.В., Васильев Л.Л., Журавлев А.С. / Агротехника и энергообеспечение. 2017 - № 4 (17) - С. 100-114.

8. Исследование переходных процессов в термосифонах / Мунц В.А., Папченков А.И., Павлюк Е.Ю., Осминкина А.С. // В сборнике: Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве. Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием. Редакционная коллегия сборника докладов: Спириин Н. А., Лавров В. В., Бурыкин А. А., Воронов Г. В., Гольцев В. А, Гуриин И. А., Казяев М. Д., Киселев Е. В., Куделин С. П., Лошкарев Н. Б., Матюхин В. И., Носков В. Ю., Швыдкий В. С., Ярошенко Ю. Г. - 2017 - С. 78-82.

9. Использование рекуператоров на основе двухфазных термосифонов для утилизации тепла от компрессорных установок / Шаповалов А.В., Родин А.В. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого- 2017-№ 3 (70)- С. 29-34.

10. Инженерный метод расчета закрытых двухфазных термосифонов / Тюриин М.П., Бородин А.С., Домбровская А.И. // В сборнике: Современные задачи инженерных наук. Сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума, Международного научно-технического Форума-2017- С. 142-145.

11. Исследование влияния оребрения на эффективный коэффициент теплопередачи термосифона / Бородин А.С., Тюриин М.П., Шутова А.Л. // В сборнике: Современные задачи инженерных наук. Сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума, Международного научно-технического Форума- 2017-С. 182-185.

12. Переходные процессы в термосифонах / Мунц В.А., Папченков А.И., Павлюк Е.Ю., Даминов Д.Р. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика- 2017- Т. 17. № 4- С. 5-13.

13. Математическое моделирование температурных полей в характерных сечениях рабочей зоны замкнутого двухфазного термосифона / Кузнецов Г.В., Нурпейис А.Е. // Вестник Тюменского государственного

университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика-2018- Т. 4. № 1- С. 8-22.

14. Экспериментальное определение температур в характерных сечениях рабочей зоны замкнутого двухфазного термосифона / Кузнецов Г.В., Нурпейис А.Е. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики-2018-Т. 20. № 3-4- С. 136-144.

15. Термическое сопротивление пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе / Шаповалов А.В., Родин А.В. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого- 2016- № 3 (66)-С. 59-66.

16. Теплоперенос в вертикальном парожидкостном термосифоне. Аникин Г.В., Поденко Л.С., Феклистов В.Н. Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 3. С. 54-58.

17. Численный анализ влияния температурного перепада на режимы переноса энергии в замкнутом двухфазном цилиндрическом термосифоне / Кузнецов Г.В., Аль-Ани М.А.З., Шеремет М.А. // Известия Томского политехнического университета-2010-Т. 317. № 4-С. 13-19.

18. Способ использования геотермальной энергии "FILL WELL". Патент на изобретение RU 2341736 С2, 20.12.2008. Заявка № 2006139448/06 от 07.11.2006.

19. Способ извлечения геотермальной энергии слабопроницаемого массива горных пород. Дядькин Ю.Д., Ярошенко К.П. Патент на изобретение RU 2173821 С1, 20.09.2001. Заявка № 2000102538/03 от 01.02.2000.

20. Использование геотермальных источников энергии в районах Севера / Леканова Т.Л., Мусихин П.В., Горбатенко А.Н. // В сборнике: Февральские чтения. Сборник материалов научно-практической конференции по итогам научно-исследовательской работы 2017 года преподавателей Сыктывкарского лесного института- 2018-С. 130-136.

21. Экономическая эффективность использования геотермальной энергии земли в Северо-западном регионе на примере тепловых насосов /

Холкин Н.А., Головина Е.И. // В сборнике: Сборник статей VI Международного научно-практического конкурса-2019- С. 68-70.

22. Геотермальная энергия – инновационный метод выработки электроэнергии / Габдрахманова К.Ф., Измайлова Г.Р., Ахмедшин Д.Р., Марупов С.Р. // В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле - 2018. сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2-х томах- 2018- С. 227-229.

23. Компьютерная модель микро-ГЭС с использованием потенциальной энергии геотермальных вод / Эргашев К.М., Мадмарова У. // В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле - 2018. сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2-х томах-2018- С. 338-341.

24. Использование геотермальной энергии - ключ прогресса энергетической сферы / Идиева А.А., Пардаева Ш.С., Халикова А.М. // В сборнике: Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования. сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях- 2018-С. 162-164.

25. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 172

26. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Лекции по курсу Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 49

27. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).

28. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» (ред. от 30.12.2020).

29. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя».

30. ГОСТ 12.0.003 – 2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

31. ТК РФ Статья 351.6. «Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений».

32. Р 2.2.2006–05. «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

33. СП 52.13330.2016. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

34. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

35. Правила устройства электроустановок. ПУЭ-2009. Харьков: ОООФорт, 2010. – С. 704.

36. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ред. от 30.04.2021).

37. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

38. Постановление правительства от 31 декабря 2020 года № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».