

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
« Численный анализ процесса теплопереноса в геотермальном термосифоне »
<u>УДК 519.876:536.24.02:621(1-462)</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б4Б2	Солодовников Владислав Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Половников В.Ю.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Завьялова З.С.	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Антонова А.М.	к.т.н., доцент		

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

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

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

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля

А. Н. Антонова

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б4Б2	Солодовникову Владиславу Сергеевичу

Тема работы:

**«Численный анализ процесса теплопереноса в геотермальном
термосифоне»**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Математическая модель процесса теплопереноса в замкнутом двухфазном термосифоне.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>Анализ и обзор современных статей и литературы</p> <p>Геометрическая и физическая постановка задачи</p> <p>Разработка математической модели</p> <p>Решение методом конечных разностей</p> <p>Верификация сформулированной математической модели</p> <p>Описание полученных результатов</p> <p>Финансовый менеджмент</p> <p>Социальная ответственность</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	З.С. Завьялова , доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Н.А. Алексеев ООД ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Половников В.Ю.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б4Б2	Солодовников Владислав Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 81 с., 20 рис., 6 табл., 43 источника.

Ключевые слова: замкнутый двухфазный термосифон (ЗДТС), математическое моделирование, геотермальная энергия, численная модель, температурный баланс.

Объектом изучения считается замкнутый двухфазный петротермальный термосифон в критериях извлечения глубинной теплоты.

Цель работы – численно исследование процессов теплопереноса в закрытом двухфазном термосифоне при извлечении геотермальной энергии.

В ходе исследования велась оценка воздействия главных характеристик (теплофизические свойства теплоносителя, 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 рассматриваемой математической модели 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 получении глубинной энергии земли.

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.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
2. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
4. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

Оглавление

Введение.....	11
1 Современные исследования в области петротермальной энергетики.....	13
2 Вычислительная модель	26
2.1 Физическая и геометрическая постановка задачи.....	26
2.2 Математическая модель течения паров теплоносителя.....	27
2.3 Математическая модель течения пленки конденсата	28
2.4. Математическая модель процесса теплопереноса в корпусе ГТС.....	29
2.5. Начальные и граничные условия	29
2.6. Метод решения.....	31
2.7. Верификация.....	32
2.8. Чувствительность сетки.....	34
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	45
4 Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
4.1 Анализ конкурентных технических решений.....	46
4.1.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения.....	51
4.2. Смета затрат на разработку проекта.....	55
4.2.1 Материальные затраты.....	55
4.2.2 Амортизация компьютерной техники.....	55
4.2.3 Затраты на заработную плату.....	56
4.2.4 Затраты на социальные отчисления	57
4.2.5 Прочие затраты.....	57
4.2.6 Накладные расходы.....	58
5 Социальная ответственность.....	60
5.1 Характеристика объекта.....	62
5.2 Производственная безопасность.....	62
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	62
5.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования.....	64

5.2.3. Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов	65
5.2.3.1. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ.....	65
5.2.3.2. Микроклимат.	65
5.2.3.3. Освещение.....	67
5.3.1 Защита от шума... ..	68
5.3.2. Электромагнитные излучения.....	71
5.3.3. Электрический ток	72
5.4 Экологическая безопасность	75
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
5.5.1. Анализ вероятных ЧС	76
5.3.2. Анализ причин, которые могут вызвать ЧС	76
5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	77
5.4. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	79
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	79
Заключение	81
Список использованных источников	82

Введение

В последние годы интерес научного сообщества к технологиям, способным извлечь выгоду из возобновляемых источников энергии, значительно возрос и стал одним из главных приоритетов из-за нехватки традиционных видов топлива и связанных с ней возрастающей стоимости. Помимо использования соляризации в прямом (например, фотоэлектрические, солнечное тепло) и косвенном (например, биомасса, энергия ветра), геотермальная энергия является важным ресурсом в энергетической составляющей будущего. Учитывая текущий контекст изменения климата, отмеченный повышением мировых температур и энергопотреблением в результате промышленной деятельности, энергоэффективность стала насущной экономической и экологической необходимостью.

Геотермальное тепло - это практически бесконечная возобновляемая энергия с огромным потенциалом и большим тепловым запасом. Его можно разделить на две основные категории: глубокие и неглубокие. Под неглубокими понимается тепловой потенциал приповерхностной зоны (от 1 м до 400 м). Глубокие же относятся к теплу, доступному в зоне глубиной более 400 м. Тепло от земли может быть извлечено двумя способами: путем передачи тепла из водоносного горизонта или из грунта его окружающего с или без извлечением жидкости.

В настоящее время используются две разные системы для сбора геотермальной энергии, а именно, циркуляционные трубы (например, U-трубы, коаксиальные трубы) и тепловые трубы (также обозначаются как термосифон (ТС)). В первом случае используется теплоемкость жидкости для передачи энергии, тогда как в последнем – 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

Целью текущей работы является численное моделирование процесса теплопереноса в закрытом двухфазном термосифоне.

1 Современные методы извлечения и использования петротермальной энергии

Chunhong Ma, Xiaodong Wu, Shian Gao [1] в своем проекте предприняли попытку использовать две технологии в одном инженерном приложении, то есть использовать местную геотермальную энергию для улучшения условий добычи “тяжелой” нефти.

В добывающих скважинах тяжелой нефти сопротивление потоку жидкости увеличивается быстро в результате потери тепла и падения температуры во время процедуры подачи нефти из забоя в устье скважины.

В частности, коагуляция и отложение парафина могут появляться вблизи устьевой зоны, и это будет влиять на условия добычи из нефтяных скважин. Чтобы сохранить текучие характеристики потока в стволе скважины и для увеличения добычи нефти, повышения температуры жидкости в стволе путем искусственного нагрева является выполнимой технологией для решения таких проблем. В настоящее время наиболее распространенные методы добычи тяжелой нефти путем нагрева скважин включают в себя прямой электрический нагрев и использование циркуляции нагретой жидкости. Однако такие методы страдают от ограничений, таких как высокое потребление энергии, высокая себестоимость и сложность подключения и эксплуатации скважин. Кроме того, прямой электрический нагрев, который является наиболее широко используемым методом, часто вызывает разрыв кабеля во время производства из-за проблем химической эрозии.

Метод нагрева скважин с использованием геотермальной энергии изучен в этом проекте, в котором используется определенная длина двухфазного замкнутого термосифона в производственной трубе с нагревательным сегментом в нижней части ствола скважины и охлаждающим сегментом в верхней части, как схематически показано на рис. 1.

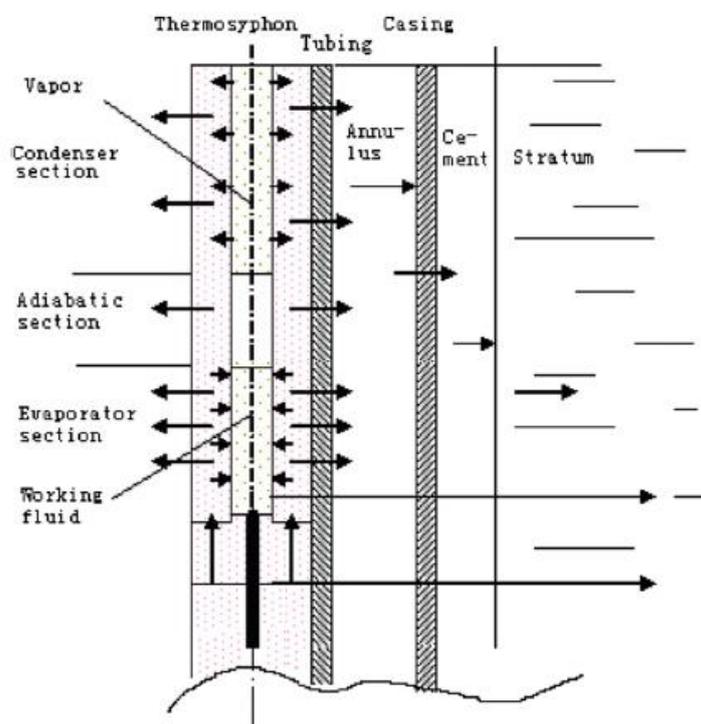


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплообмена ствола скважины с термосифоном [1]
(стрелки показывают направления тепловых потоков в каждой части системы).

На основе полученных результатов авторы сделали вывод, что рассмотренная модель хорошо согласуется с данными измерений реального производства скважины на месторождении Хуабей. Примеры применения продемонстрировали, что методы использования двухфазных закрытых термосифонов могут быть осуществимыми и эффективными средствами повышения темпов добычи нефти.

Udell K.S, Jankovich P, Kekelia B.[2] предложили новую концепцию использования реверсивных или насосных термосифонов (рис. 2 и 3) которыми можно достичь очень высокого, если не бесконечного (в случае пассивной работы), коэффициента производительности, так как очень малое количество энергии, либо совсем ее отсутствие, необходимо для перекачивания тепла («холода») из / в почву. Из-за явления выделения скрытой теплоты фазового перехода, характерный для тепловых труб и термосифонов даже небольшой температурный градиент между теплоносителем и подогреваемым (охлаждаемым) воздухом является достаточной движущей силой для процесса теплопередачи от (до) почвы. В пассивном режиме работы термосифон извлекает тепло из почвы и рассеивает его. Теплообменник подвергается воздействию более холодного окружающего воздуха (рис. 2). В этом режиме температура почвы должна быть выше, чем у воздуха.

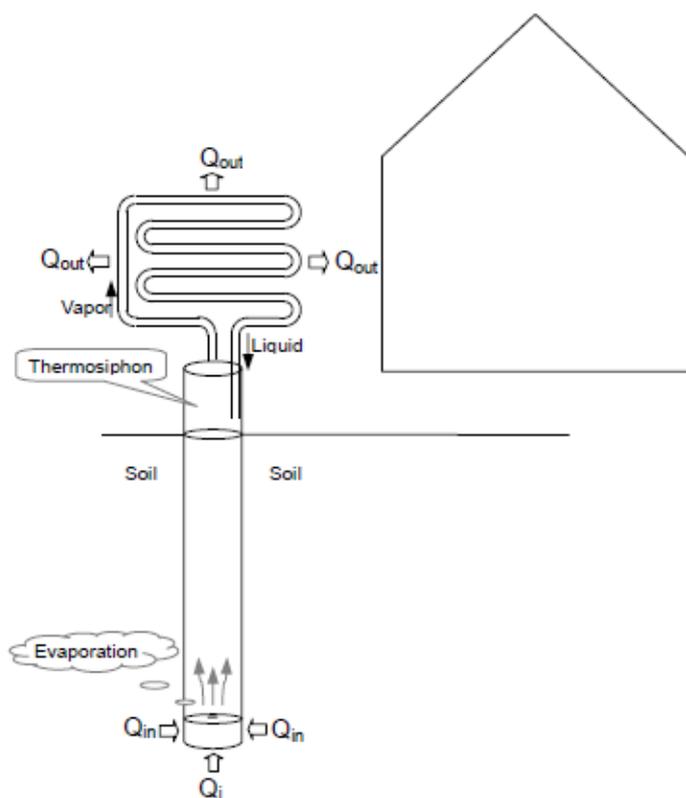


Рисунок 2 – Режим извлечения теплоты[2]

В режиме воздушного охлаждения (кондиционирования), термосифон нагнетает тепло в почву (рис. 3). Это возможно, если термосифон дополнен небольшим жидкостным насосом, который 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 градиенты давления, пары возвращаются в нижнюю часть термосифона и конденсируется, выделяя тепло в почву. Очевидно, что в этом случае температура почвы должна быть ниже, чем у охлажденного воздуха.

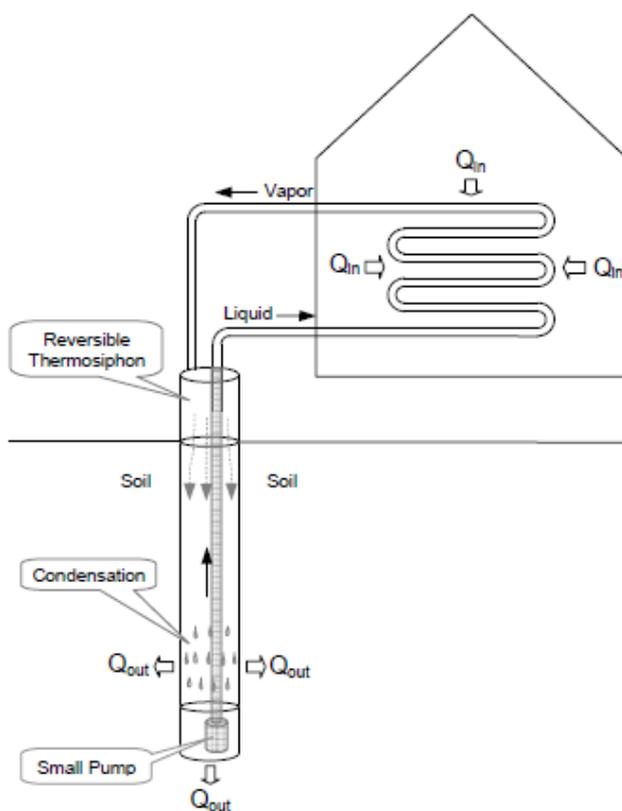


Рисунок 3 – Режим охлаждения[2]

Leonard L., Vasiliev L.P и др [3] провели экспериментальные исследования с высокими одинаковыми по конструкции термосифонами с различными рабочими жидкостями (аммиак, пропан, изобутен, вода и т. д.). Доказано, что термическое сопротивление термосифонов можно снизить, используя винт, помещенный внутрь, применяя двухфазные полимерные петли и горизонтально ориентированные термосифоны. Спиральная вставка была помещена в термосифон для создания завихрения в потоках пара и жидкости. Это создает искусственную турбулентность в потоке пара и, следовательно, усиливает теплообмен в конденсаторе и испарителе. Основным недостатком винтовой вставки является увеличение падения давления потока пара. Винтовая вставка может быть изготовлена из другого материала, такого как металл (алюминий, сталь), пористая керамика или полимерный композит. Leonard L., Vasiliev L.P и др. установили,

что для различных углов наклона термосифона проявляются значительные снижения термического сопротивления. Некоторые типы термосифонов были разработаны в Институте им. Лыкова в качестве экспериментальных образцов теплообменников для кондиционирования воздуха, обогрева домов, боковых стенок, взлетно-посадочных полос аэродромов, железнодорожных платформ на мостах и важнейших участков железных дорог.

Alessandro Franco, Maurizio Vaccaro [4] предложили получать тепловую энергию с применением закрытых двухфазных термосифонов в мелких и не очень глубоких геотермальных резервуарах при температуре ниже 100 °С.

На основе проведенных исследований авторы [4] сделали вывод, что технология закрытого термосифона представляется очень интересной, не только для прямого использования тепла, но особенно в связи с разработкой малых (одиночных скважин) энергосистем, основанных на использовании разности давлений. В этом случае, введением насоса на уровне земли можно добиться ощутимого увеличения эффективности, достигая теоретического значения 7% для небольших систем пиковой мощности до 1 – 2 кВт, получающих тепло от неглубоких водоносных горизонтов до 70-80 °С.

Johann-Christoph Ebelinga и др.[5] экспериментально исследовали модель процесса теплопередачи в вертикальном двухфазном термосифоне (рис. 4), используемом в геотермальном тепловом насосе. Термосифоном являлась вертикальная гладкая стальная труба с внутренним диаметром 114 мм и с глубиной погружения термосифона 368 м под землей. В качестве рабочей жидкости авторы использовали углекислый газ (CO₂). Особенностью предложенного метода является отсутствие секции конденсации в термосифоне. Углекислый газ конденсируется в испарителе

теплового насоса, течет в верхнюю часть термосифона и стекает как падающая пленка вдоль внутренней стенки трубы. Для моделирования теплопередачи в вертикальном двухфазном термосифоне авторами разработана квази-динамическая модель, в которой осуществляется тепломассоперенос между жидкой и паровой фазами вещества. Моделирование было основано на теории пленкообразовании Нуссельта.

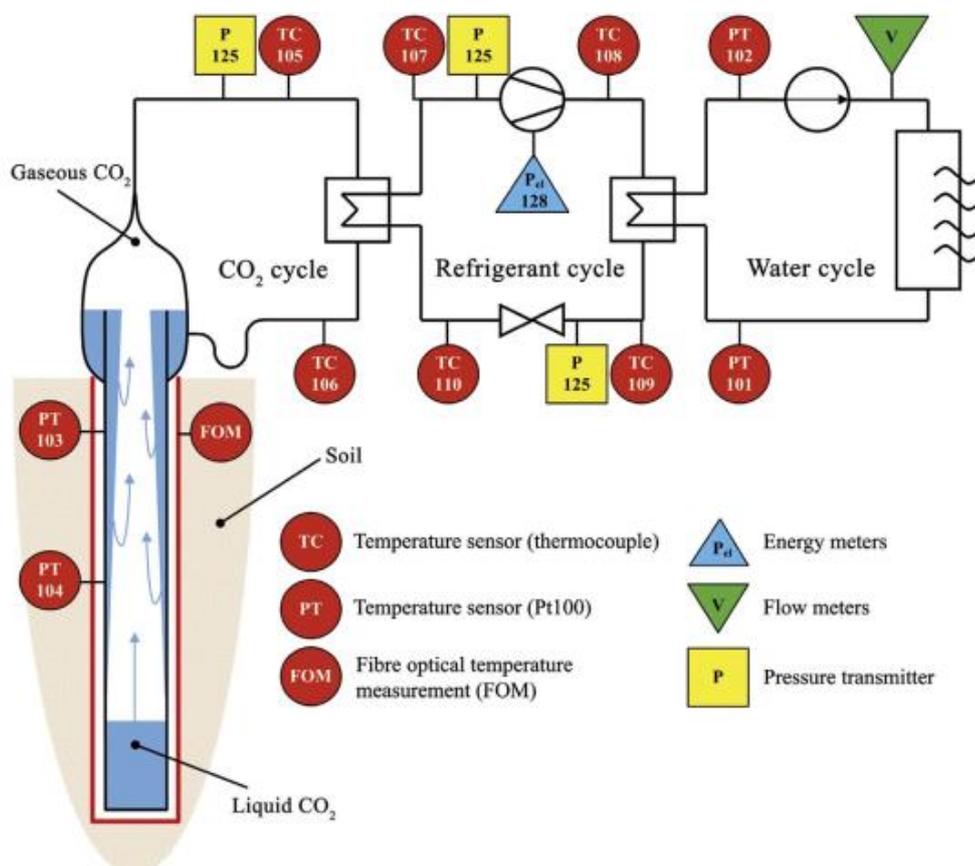


Рисунок 4 – Вертикальный геотермальный термосифон[5]

По результатам исследований построены графики изменения температуры в зависимости от времени работы термосифона. Полученные результаты и экспериментальные данные имеют хорошее совпадение, но с увеличением времени работы термосифона отклонение возрастает.

Andreas Hantsch, Ulrich Gross [6] численно исследовали влияние различных параметров на производительность частично смачиваемых геотермальных тепловых труб. Для этой цели была разработана численная двумерная модель, разработаны, проверены на соответствие аналитическому решению, а также проведена серия испытаний с различными коэффициентами смачивания, материалами трубы (сталь и полиамид), радиусами ствола скважины, теплопроводности раствора, заполняющего скважину и почвы (рис. 5).

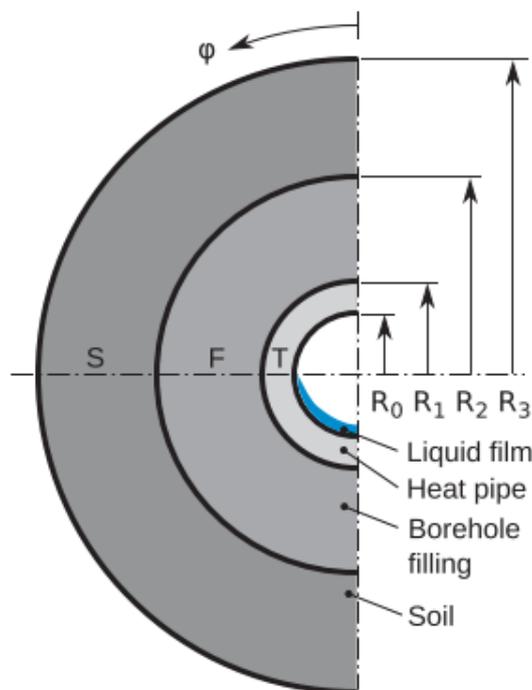


Рисунок 5 – Геометрия расчетной области (внутри от края: грунт (S), заполнение скважины (F), трубка (T), жидкая пленка, пар.[6]

Результаты исследования авторов Andreas Hantsch, Ulrich Gross показывают, что полиамидные трубки способствуют передаче от 60% до 75% теплового потока стальной трубы в зависимости от степени смачивания. Это снижение теплового потока также важно для систем циркуляции, таких как концентрические или (двойные) U-образные системы.

Кроме того, это может означать, что смачивание гораздо более важно в полиамидных трубах, чем в стальных трубах, так как стальная труба допускает периферийный тепловой поток из-за её большой теплопроводности. Уменьшение диаметра скважины, если это технологически возможно, приводит к увеличению теплового потока примерно до 120% от стандартного случая. Это также показывает, что для полиамидной трубки это увеличение лишь немного ниже. Но самым важным параметром, влияющим на тепловой поток, является теплопроводность скважинного заполнителя. Используя термически улучшенный бетон, можно увеличить тепловой поток до 180% от стандартного случая. Авторы сделали вывод, что, как для стальных, так и для труб из полиамида, стоит уменьшить диаметр скважины и увеличить теплопроводность заполнителя. Тем не менее, для трубки РА наиболее важно контролировать смачивание для обеспечения значительного увеличения теплового потока.

Marius Rokslund, Tommy A и др [7] в своей работе исследовали идею использования заброшенных нефтяных скважин для получения геотермальной энергии. Поскольку процесс бурения уже завершен, цена геотермального проекта сокращается. При дооснащении уже спроектированного ствола скважины устанавливаются обсадные колонны. Используя модифицированную модель и разработанный симулятор, проведено исследование двухтрубного теплообменника, модифицированного под заброшенную нефтяную скважину. Представленная модель теплопередачи учитывает множество параметров, таких как физические свойства пласта и рабочей жидкости, архитектуру ствола скважины и т. д. Marius Rokslund, Tommy A и др. установили, что для циркуляция воды в качестве рабочей жидкости в скважине глубиной 4500 м, температура будет в диапазоне 70 – 80 °С, что в свою очередь означает

возможность использования электростанции бинарного цикла. Улучшенная рабочая жидкость будет собирать больше тепла и вырабатывать больше желаемого количества электроэнергии, если это необходимо.

Limin Ma, Linlin Shang и др. [8] провели исследование рабочих характеристик закрытого двухфазного термосифона для извлечения энергии грунтовых вод. Экспериментальная установка представлена на рис. 6. Изучение коэффициентов теплоотдачи проводилось для восьми рабочих жидкостей: R134a, R601, R245fa, R600a, R1234ze, R152a, R245fa/R152a, и R601/R245fa. Термосифон был изготовлен из гладкой медной трубы длиной 3 м с диаметром 40 мм. Секция испарителя была погружена в термостатическую водяную баню, а секция конденсатора была охлаждена отработанной водой.

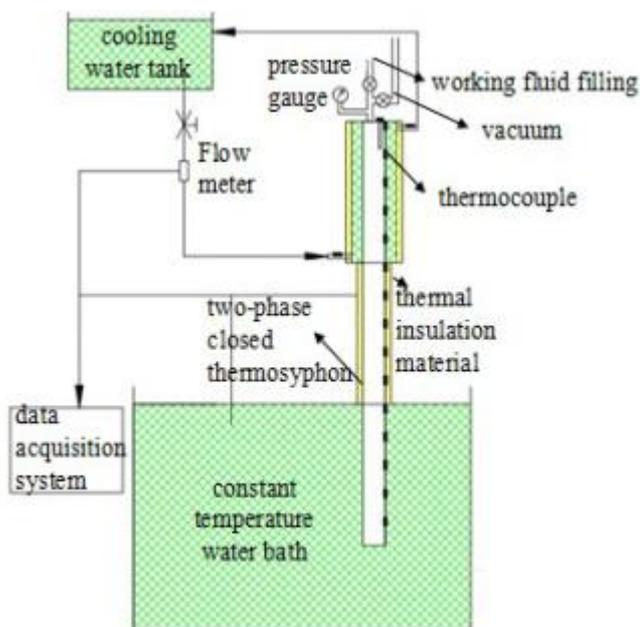


Рисунок 6 – Экспериментальная установка [8]

По результатам проведенного эксперимента авторы сделали вывод, что R245fa / R152a предлагает лучшие характеристики. R600a и R1234ze показывают характеристики близкие к R134a.

R245fa показывают лучшие показатели с увеличением температуры. Испарение экспериментального хладона увеличивается с повышением температуры. Два испарения хладонов Cooper и Rohsenow, были выбраны для корреляции с экспериментальными результатами. Средние ошибки Cooper и Rohsenow при корреляции составляют 23,1% и 16,6% соответственно. Корреляции Нуссельта, Хасимото и Каминага были выбраны для прогнозирования конденсации НТС. Средние ошибки корреляции Купера и Рохсенова для конденсации составляют 20,1% и 13,9%, соответственно. Корреляция Хасимото и Каминага предлагает лучшее соотношение.

Pei-pei Zhang, Jia-ling Zhu и др[9] в своей работе экспериментально исследовали влияние отношение длины к диаметру тепловой трубы, разные температуры источника холода и тепла и скорость потока в контуре холода и тепла при теплопередаче. На основе проведенных экспериментов авторы сделали вывод, что, когда внешние условия эксперимента остаются неизменными, при изменении диаметра тепловой трубы характеристики теплопередачи тепловой трубы демонстрируют одинаковую тенденцию изменения при различных факторах влияния. Тепловая труба имеет лучшие характеристики теплопередачи, когда отношение длины к диаметру относительно мало. Это влияет на теплопередачу в тепловой трубе.

Температура источника тепла является основным фактором, влияющим на теплопередачу, но температура не может быть слишком высокой, чтобы предотвратить кризис кипения.

Увеличение скорости потоков горячей и холодной воды усиливает теплообмен между источником тепла и тепловой трубой, поэтому теплопередача увеличивается с ростом скорости потока. При большой разнице температур горячего и холодного контуров, наблюдаются увеличение теплопотерь и ухудшение характеристик теплопередачи тепловой трубы.

Wansheng Pei , Mingyi Zhang и др.[10] в своей работе смоделировали использование двухфазного замкнутой термосифона (ДЗТС) на тенистых и солнечных склонах в области вечной мерзлоты Цинхай-Тибетского плато, основанное на модели теплопередачи воздух-почва (рис. 7). Авторы исследовали геотемпературные состояния для трех случаев - насыпь с односторонними ДЗТС, насыпь с двусторонними ДЗТС и насыпь без ДЗТС. На основе моделирования Wansheng Pei , Mingyi Zhang и др. сделали выводы, что распределение геотемпературы на тенистых и солнечных склонах ассиметрична и неравномерна, поэтому может вызвать деформацию дорожной насыпи в регионах вечной мерзлоты, особенно в контексте глобального потепления.

Односторонние ДЗТС погруженные в солнечном плече насыпи могут эффективно ослабить дегенерацию вечной мерзлоты и охладить грунт под солнечным склоном. Двухсторонние ДЗТС в тенистом плече напротив лучше способны охлаждать температуру грунта под насыпью, регулируя время работы и эффективность обоих типов ДЗТС под двумя склонами, можно повысить стабильность и нивелировать ассиметричное распределение геотемператур.

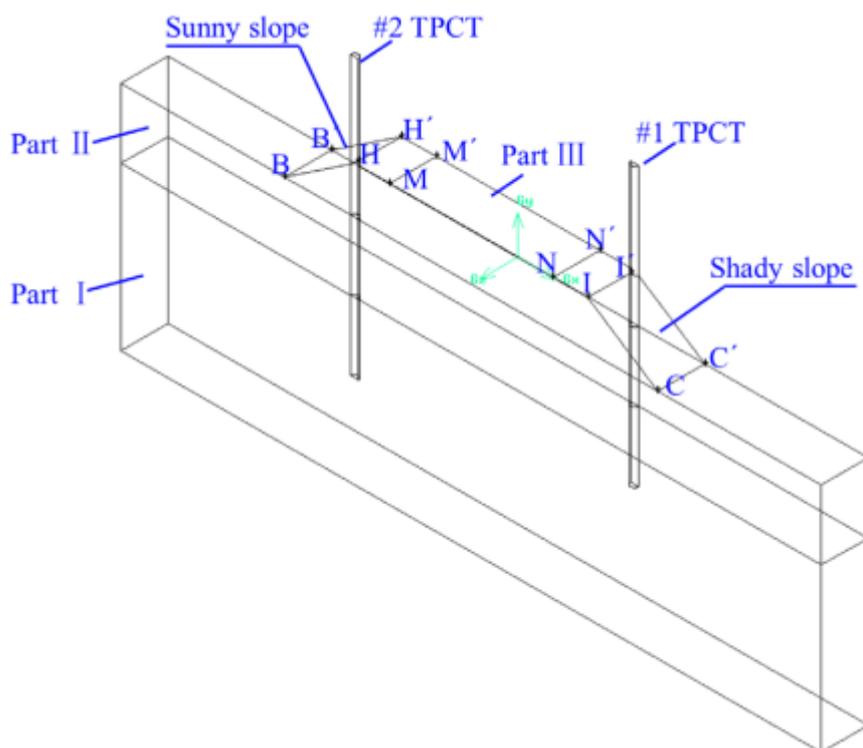


Рисунок 7 – Модель установленных термосифонов.[10]

Вывод по первой главе:

1. Изучение процессов теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах актуально в настоящее время.
2. Большинство исследований осуществленные зарубежными авторами за последние 10–15 лет актуальны до сих пор, что говорит о большем потенциале закрытого термосифона.
3. Описаны возможности эффективного использования закрытых двухфазных термосифонов в петротермальной энергетике, а так же способы использования тепловых труб в других техногенных областях.

2 Постановка задачи

2.1 Геометрическая и физическая постановка задачи

Для извлечения геотермальной энергии в основном применяются термосифоны высотой от 50 до 250 метров. На рисунке 8 представлена геометрическая модель рассматриваемой задачи.

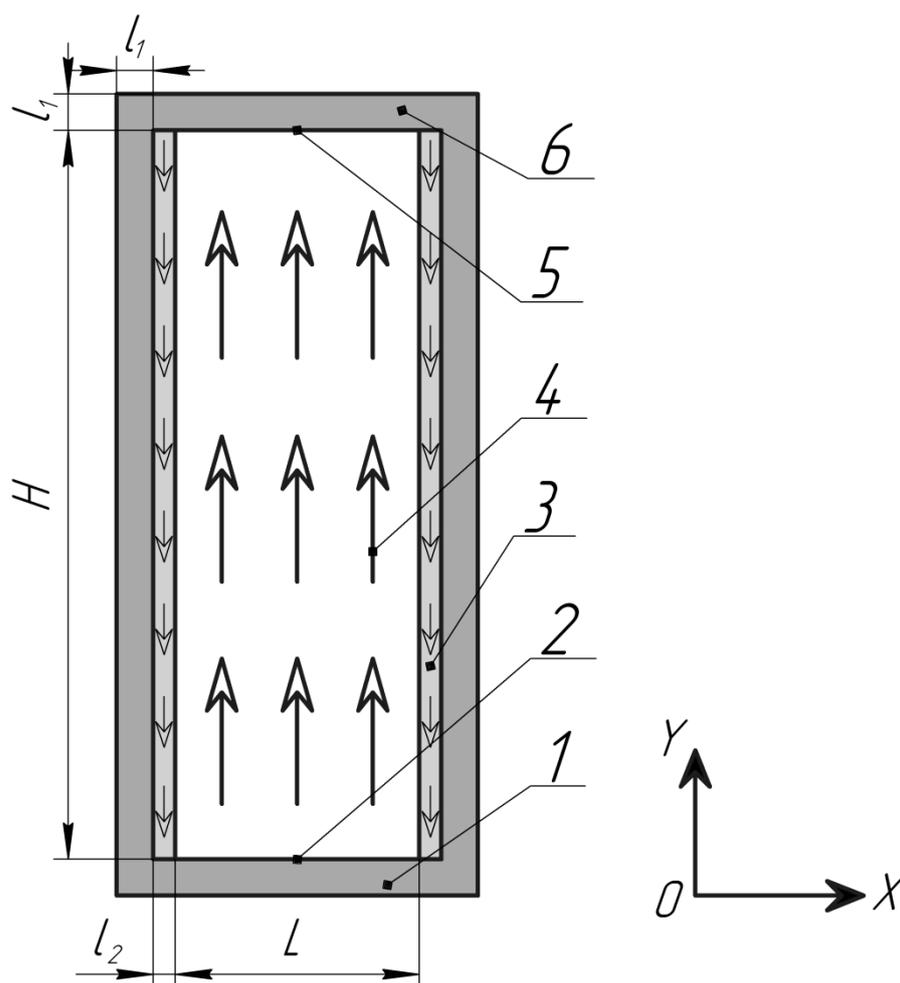


Рисунок 8.— Область решения: 1 – нижняя крышка, 2 – зона испарения, 3 – пленка конденсата, 4 – пары рабочей жидкости, 5 – зона конденсации, 6 – верхняя крышка.

Рассматривается закрытая вертикально ориентированная трубка, выполненная из высокотеплопроводного металла (например, медь). Полость заполнена парами теплоносителя. Вдоль вертикальных стенок равномерно стекает пленка рабочей жидкости, образуемая в процессе пленочной конденсации пара на верхней крышке термосифона. Подвод теплоты осуществлялся к нижней крышке геотермального термосифона. Вертикальные границы предполагались адиабатическими. На внешней поверхности верхней крышки ГТС учитывался конвективный теплообмен с окружающей средой. На границах раздела сред с различными теплофизическими свойствами задавались краевые условия четвертого рода.

При постановке задачи предполагалось, что весь теплоноситель испаряется на нижней крышке. Подвод рабочей жидкости осуществляется с вертикальных стенок за счет стекающей пленки конденсата. Считалось, что теплофизические свойства материала корпуса и хладагента не зависят от температуры, поскольку в стационарном режиме работы термосифона изменение значений теплофизических характеристик составляет не более 2%. Толщина пленки конденсата принималась постоянной по высоте. Пары рабочей жидкости продвигались от нижней крышки ГТС к верхней за счет механизма вынужденной конвекции, обусловленного фазовыми превращениями теплоносителя. Рассматривалось нестационарное плоское течение паров рабочей жидкости, удовлетворяющих приближению Буссинеска.

2.2 Математическая модель течения паров теплоносителя

Предполагая, что пары рабочей жидкости являются вязкой несжимаемой теплопроводной жидкостью и эффекты вязкой диссипации пренебрежимо малы, уравнения сохранения массы, импульса и энергии в безразмерных преобразованных переменных «завихренность – функций

тока – температура» в приближении Буссинеска имеют следующий вид

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Omega}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}_v} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Theta}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}_v \cdot \text{Pr}_v} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right), \quad (3)$$

здесь $\text{Re}_v = \frac{M_{ev} \cdot d_{eq}}{\rho_v \cdot \nu_v}$, $\text{Pr}_v = \frac{\nu_v}{a_v}$

2.3 Математическая модель течения пленки конденсата

В целях оценки взаимного влияния восходящего потока паров рабочей жидкости и стекающей вдоль вертикальной стенки конденсата пленочное течение моделировалось путем решения двумерных нестационарных уравнений Навье-Стокса и энергии в безразмерных преобразованных переменных «завихренность – функций тока – температура»:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Omega}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}_v} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Theta}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}_v \cdot \text{Pr}_v} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right), \quad (6)$$

здесь $\text{Re}_l = \frac{V \cdot \delta}{\nu_l}$, $\text{Pr}_l = \frac{\nu_l}{a_l}$

Скорость течения пленки конденсата V и ее толщина δ могут быть найдены из квази-стационарного уравнения Нуссельта для пленочной конденсации пара аналогично.

2.4 Математическая модель процесса теплопереноса в корпусе ГТС

Процесс теплопереноса в твердых с стенках геотермального двухфазного термосифона можно описать нестационарным двумерным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = Fo_s \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right). \quad (7)$$

2.5 Начальные и граничные условия

Предполагалось, что в начальный момент времени температура во всех точках области анализа имела одинаковое значение. Пары рабочей жидкости и пленка конденсата считались неподвижными. Таким образом, начальные условия для уравнений (1) – (7) можно сформулировать как:

$$\Psi(X, Y, 0) = \Omega(X, Y, 0) = \Theta(X, Y, 0) = 0. \quad (8)$$

Безразмерные граничные условия для уравнений (1) – (7) в рамках сформулированной физической модели имеют вид:

$$X = 0, 0 < Y < \frac{l_1 + H + l_1}{H}; \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0, \quad (9)$$

$$X = \frac{l_1 + l_2 + L + l_2 + l_1}{H}, 0 < Y < \frac{l_1 + H + l_1}{H}: \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0, \quad (10)$$

$$Y = 0, 0 < X < \frac{l_1 + l_2 + L + l_2 + l_1}{H}: \Theta = 1, \quad (11)$$

$$Y = \frac{l_1 + H + l_1}{H}, 0 < X < \frac{l_1 + l_2 + L + l_2 + l_1}{H}: \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = Bi \cdot (\Theta - \Theta_s), \quad (12)$$

$$Y = \frac{l_1}{H}, \frac{l_1 + l_2}{H} < X < \frac{l_1 + l_2 + L}{H}: \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 1, \Omega = 0, \begin{cases} \Theta_s = \Theta_v, \\ \frac{\partial \Theta_s}{\partial Y} = \frac{\lambda_v}{\lambda_s} \cdot \frac{\partial \Theta_v}{\partial Y} - W_{ev}, \end{cases} \quad (13)$$

$$Y = \frac{l_1 + H}{H}, \frac{l_1 + l_2}{H} < X < \frac{l_1 + l_2 + L}{H}: \frac{\partial \Psi}{\partial X} = \frac{\partial \Omega}{\partial X} = 0, \begin{cases} \Theta_v = \Theta_s, \\ \frac{\partial \Theta_v}{\partial Y} = \frac{\lambda_s}{\lambda_v} \cdot \frac{\partial \Theta_s}{\partial Y} + W_{co}, \end{cases} \quad (14)$$

$$X = \frac{l_1}{H}, \frac{l_1}{H} < Y < \frac{l_1 + H}{H}: \begin{cases} \Theta_s = \Theta_i, \\ \frac{\partial \Theta_s}{\partial X} = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \frac{\partial \Theta_i}{\partial X}, \end{cases} \quad (15)$$

$$X = \frac{l_1 + l_2}{H}, \frac{l_1}{H} < Y < \frac{l_1 + H}{H}: \Psi = 0, \begin{cases} \Theta_i = \Theta_v, \\ \frac{\partial \Theta_i}{\partial X} = \frac{\lambda_v}{\lambda_i} \cdot \frac{\partial \Theta_v}{\partial X}, \end{cases} \quad (16)$$

$$X = \frac{l_1 + l_2 + L}{H}, \frac{l_1}{H} < Y < \frac{l_1 + H}{H}: \Psi = 0, \begin{cases} \Theta_v = \Theta_i, \\ \frac{\partial \Theta_v}{\partial X} = \frac{\lambda_i}{\lambda_v} \cdot \frac{\partial \Theta_i}{\partial X}, \end{cases} \quad (17)$$

$$X = \frac{l_1 + l_2 + L + l_2}{H}, \frac{l_1}{H} < Y < \frac{l_1 + H}{H}: \begin{cases} \Theta_i = \Theta_s, \\ \frac{\partial \Theta_i}{\partial X} = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \frac{\partial \Theta_s}{\partial X}, \end{cases} \quad (18)$$

где $W_{ev} = \frac{Q_{ev} \cdot M_{ev} \cdot H}{\lambda_s \cdot (T_h - T_0)}$, $W_{co} = \frac{Q_{co} \cdot M_{co} \cdot H}{\lambda_v \cdot (T_h - T_0)}$

Считая, что поверхность фазового перехода плоская, скорость испарения/конденсации можно рассчитать по формуле Герца-Кнудсена:

$$M_{ev} = \frac{A \cdot (P^* - P_{sat})}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}{\mu}}}, \quad (19)$$

$$M_{co} = \frac{A \cdot (P_{sat} - P^*)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}{\mu}}}. \quad (20)$$

Предполагая, что для рассматриваемого случая справедливо уравнение Клаузиуса-Клапейрона, формулу Герца-Кнудсена можно представить в форме, не содержащей давление паров:

$$M_{ev} = \frac{A}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}{\mu}}} \cdot Q_{ev} \cdot \left(\frac{\rho_v \cdot \rho_l}{\rho_l - \rho_v} \right) \cdot \left(\frac{T^* - T_{sat}}{T_{sat}} \right), \quad (21)$$

$$M_{co} = \frac{A}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}{\mu}}} \cdot Q_{co} \cdot \left(\frac{\rho_v \cdot \rho_l}{\rho_l - \rho_v} \right) \cdot \left(\frac{T_{sat} - T^*}{T_{sat}} \right). \quad (22)$$

2.6 Метод решения

Уравнения (1) – (7) с соответствующими начальными (8) 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. Для определения граничных условий для уравнения переноса вихря на непроницаемых стенках использовалась формула Вудса.

2.7 Верификация

Верификация сформулированной математической модели проведена путем решения модельных задач гидродинамики. На первом этапе решена классическая задача течения жидкости в замкнутой квадратной полости с движущейся верхней крышкой. Численное моделирование проведено для различных чисел Рейнольдса на равномерной разностной сетке 257×257 с шагом по времени 0.05 (при таких значениях достигалась сеточная и временная сходимость). На рисунке 9 представлены результаты сравнений линий тока, полученные авторами настоящей работы и [11].

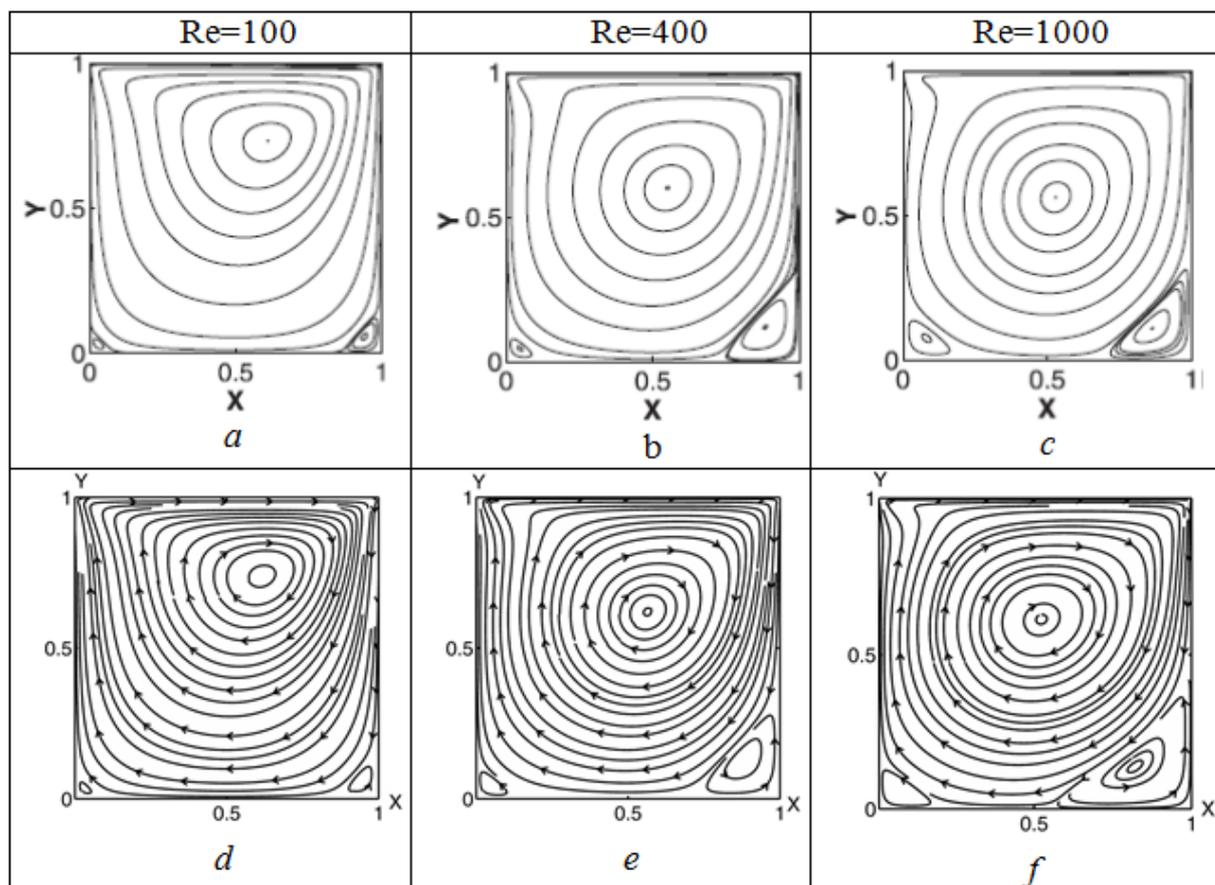


Рисунок 9 – Линии тока при $Re=40$, полученные: *a, b, c*) [11]; *d, e, f*) авторами настоящей работы.

На втором этапе решена задача вынужденной конвекция вязкой несжимаемой жидкости в замкнутой квадратной полости с входными и выходными отверстиями. Численное исследование проведено для различных чисел Рейнольдса и геометрических расположений участков ввода и вывода массы. Краевая задача вынужденной конвекции решена на равномерной сетке 257×257 с шагом по времени 0.01. Сравнения полученных линий тока с результатами [12] приведено на рисунке 10.

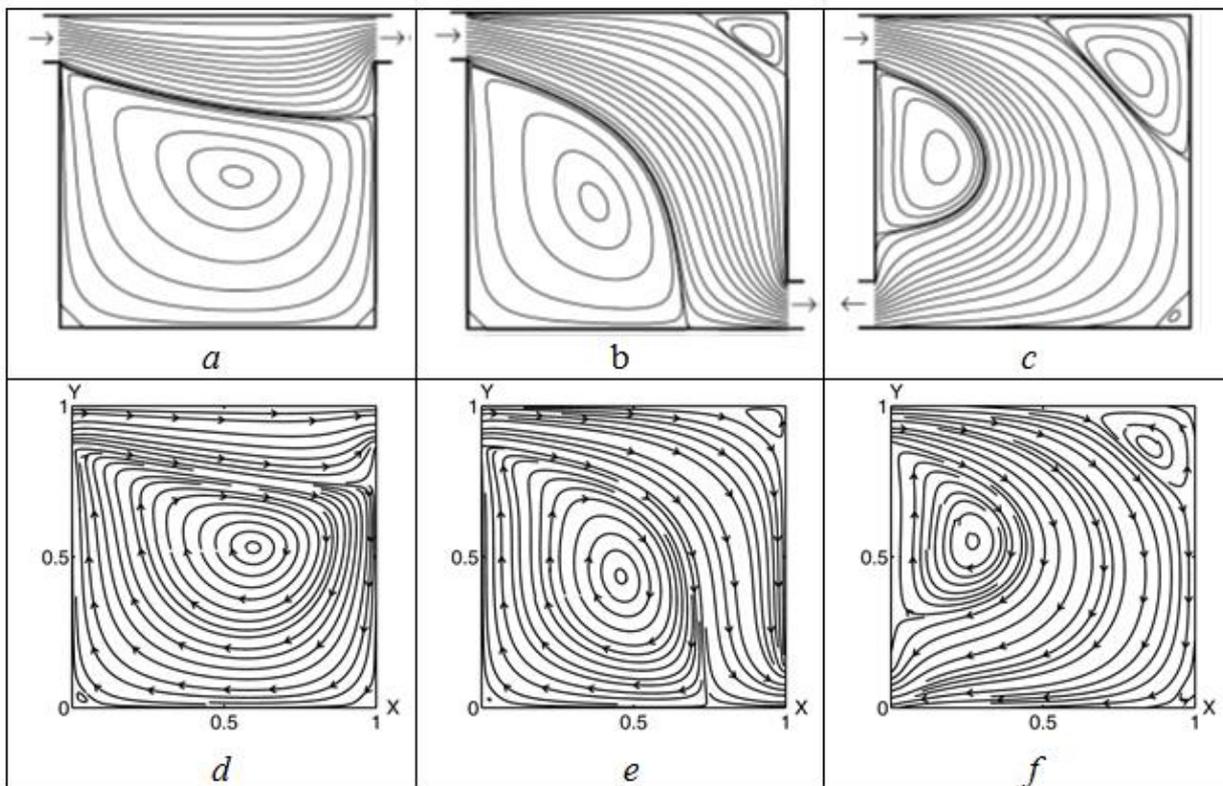


Рисунок 10 – Линии тока при $Re=40$, полученные: *a, b, c*) [12]; *d, e, f*) авторами настоящей работы.

На основании результатов тестирования сформулированной математической модели можно сделать обоснованный вывод, что используемые алгоритм и метод решения достаточно хорошо воспроизводят течение вязкой несжимаемой жидкости в замкнутых и вентилируемых полостях.

2.8 Чувствительность сетки

Чтобы получить независимые от сетки результаты, мы протестировали разработанный числовой код пространственной сходимости. Чувствительность сетки была исследована для геотермального

термосифона высотой 50 метров, заполненного R134a. Корпус изготовлен из меди. Температурные профили в плоскости среды представлены на рис. 11.

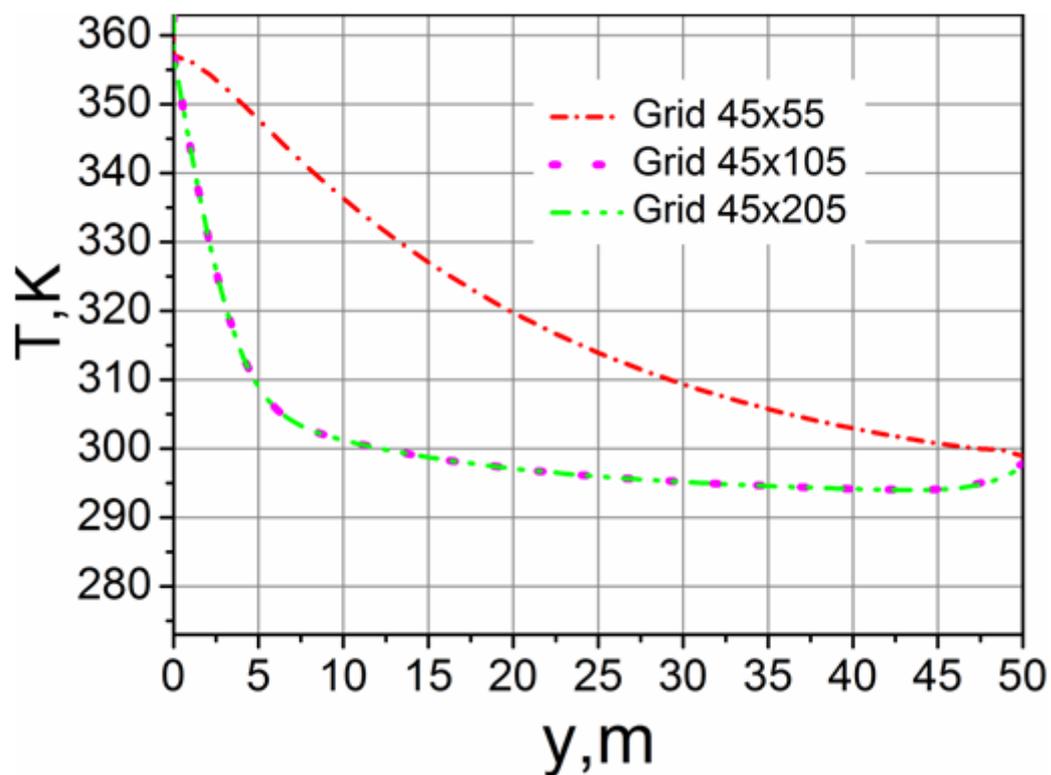


Рисунок 11 – Температурные профили для $\tau = 10000$.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б4Б2	Солодовникову Владиславу Сергеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	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 научного руководителя 27000 руб.; оклад инженера 18000 руб.;</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент – 30%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Социальные отчисления от ФОТ – 30%</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>Планирование научно-исследовательских работ и оценка времени их выполнения</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Смета затрат на научно-исследовательскую работу</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение практической значимости исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Завьялова Зинаида Сергеевна	к.ф.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б4Б2	Солодовников Владислав Сергеевич		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе рассчитываются затраты на исследование темы

« Численный анализ процесса теплопереноса в геотермальном термосифоне »

4. Потенциальные потребители результатов исследования

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, протекаемых 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 клиентам 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 6 – Карта сегментирования рынка

	Потребитель		
	Частное лицо	Юридическое лицо	Гос. корпорация
Закрытый двухфазный термосифон	1	2	3

Оценка степени значимости по шкале от 1 до 3.

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.

Рассмотрим с помощью технологии QuaD (QUalityADvisor), которая позволяет описывать качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяет принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Анализ конкурентно технического решения проводим в табличной форме (таблица 1), 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 7 – 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
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
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

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.

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 работе макроуровень отсутствует. Рассмотрим микроуровень:

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 8– SWOT-анализ

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

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

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

Таблица 9 – Интерактивная матрица по выявлению сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Возможности	В1	+	+	+	-
	В2	+	+	+	0
	В3	-	+	+	+
	В4	+	+	+	-

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

Таблица 10 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и возможностей

Слабые стороны					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	В1	+	0	+	+
	В2	-	0	+	+
	В3	0	-	0	-
	В4	0	-	+	0

Корреляции слабых сторон и возможностей следующие: В1Сл1,Сл3, Сл4; В2Сл3,Сл4; В4Сл3.

Таблица 11 – 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 12 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и угроз

Слабые стороны					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	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, составляется план. В нем подсчитывается 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 4.1

Таблица 4.1 – 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 13 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал.д н	Продолжительность выполнения работ								
				Апрель					Май			
				1-14	15	16-21	22-24	25-30	1-2	3-5	6	
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									

Продолжение таблицы 13

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi'} кал.д н	Продолжительность выполнения работ									
				Май									
				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	3										
10	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель , Инженер	1										

4.2 Смета затрат на разработку проекта

Капитальные вложения в проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{зп}} + K_{\text{со}} + K_{\text{проч}} + K_{\text{нр}}, \text{ руб.};$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты, руб.; $K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники, руб.; $K_{\text{зп}}$ – затраты на заработную плату, руб.; $K_{\text{со}}$ – затраты на социальные нужды; $K_{\text{проч}}$ – прочие затраты, руб.; $K_{\text{нр}}$ – накладные расходы, руб.

4.2.1 Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 1200 руб на канцелярские товары, $K_{\text{мат}} = 1200$ руб.

4.2.2 Амортизация компьютерной техники

При выполнении данного проекта была использована компьютерная техника, в связи с этим необходимо рассчитать амортизацию от ее использования.

Затраты на амортизацию компьютерной техники рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп. комп.т.}}}{T_{\text{калд}}} \cdot Ц_{\text{комп.т.}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб.},$$

где $T_{\text{исп. комп.т.}}$ – время использования компьютерной техники; $T_{\text{калд}}$ – календарное время, (365 дней); $Ц_{\text{комп.т.}}$ – стоимость техники, руб.; $T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники, 5 лет;

$$K_{\text{ам комп}} = \frac{25}{365} \cdot 60000 \cdot \frac{1}{5} = 822 \text{ руб.};$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

В состав затрат на оплату труда включаются:

–выплаты заработной платы за фактически выполненные работы, исходя из должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии 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:

$$\Phi ЗП_{\text{мес}} = K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{н.р.}}, \text{ руб.},$$

где $ЗП_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера, руб.; $ЗП_{\text{н.р.}}$ – заработная плата научного руководителя, руб.

Месячная заработная плата:

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ руб.},$$

где $ЗП_0$ – месячный оклад научного руководителя (27000 руб.), инженера (18000 руб.);

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, (1,1);

K_2 – районный коэффициент, для города Томска 30%.

Месячная заработная плата научного руководителя составляет:

$$ЗП_{\text{мес}} = 27000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 38610 \text{ руб.}$$

Месячная заработная плата инженера составляет:

$$ЗП_{\text{МЕС}} = 18000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 25740 \text{ руб.}$$

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^{Φ} – фактическое число дней в проекте.

$$ЗП_{\text{СР.Н.Р.}} = \frac{38610}{21} \cdot 4 = 7354,28 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{СР.ИНЖ}} = \frac{25740}{21} \cdot 32 = 39222,8 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы составляет:

$$\Phi ЗП_{\text{МЕС}} = К_{\text{З/ПЛ}} = 39222,8 + 7354,28 = 46577,08 \text{ руб.}$$

4.2.4 Затраты на социальные отчисления

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования. Затраты на социальные нужды рассчитываются как доля 30% от затрат на оплату труда: по формуле:

$$К_{\text{С.О.}} = 0,3 \cdot К_{\text{З/ПЛ}}, \text{ руб.},$$

$$К_{\text{С.О.}} = 0,3 \cdot 46577,08 = 13973,12 \text{ руб.}$$

4.2.5 Прочие затраты

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

$$К_{\text{ПР}} = 0,1 \cdot (К_{\text{МАТ}} + К_{\text{АМ}} + К_{\text{З/ПЛ}} + К_{\text{С.О.}}), \text{ руб.},$$

$$K_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (1200 + 822 + 46577,08 + 13973,12) = 6257,22 \text{ руб.}$$

4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда.

$$K_{\text{НР}} = 2 \cdot K_{\text{З/ПЛ}}, \text{ руб.},$$

$$K_{\text{НР}} = 2 \cdot 46577,08 = 93154,16 \text{ руб.}$$

Полученные данные приведены в таблице 14.

Суммарные затраты на проект составили:

$$K_{\text{пр}} = 1200 + 822 + 46577,08 + 13973,12 + 6257,22 + 93154,16 = 161983,58 \text{ руб.}$$

Таблица 14 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты, $K_{\text{МАТ}}$	1200
Амортизация компьютерной техники, $K_{\text{АМ}}$	822
Затраты на заработную плату, инженера и научного руководителя, $K_{\text{З/ПЛ}}$	46577,08
Затраты на социальные нужды, $K_{\text{С.О}}$	13973,12
Прочие затраты, $K_{\text{пр}}$	6257,22
Накладные расходы, $K_{\text{НР}}$	93154,16
Итого, $K_{\text{пр}}$	161983,58