

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

Школа Инженерная Школа Энергетики
 Направление подготовки 13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Численное моделирование теплопереноса в конструкции геотермальной скважины
УДК 519.876:536.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шелемехова Софья Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Половников Вячеслав Юрьевич	д.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Максимов Вячеслав Иванович	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен проектировать, методически и консультационно обеспечивать, организовывать и вести учебно-профессиональную, проектную, исследовательскую деятельность обучающихся, в том числе при подготовке выпускной квалификационной работы по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ПК(У)-2	Способен осуществлять планирование и научное руководство работ в соответствующей области знаний
ПК(У)-3	Способен осуществлять планирование и контроль работ по безопасной эксплуатации и своевременному ремонту оборудования, основываясь на анализе возможности проведения ремонтных и диагностических работ на технологических объектах с учетом режимов работы объектов
ПК(У)-4	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением, в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, в теплоэнергетике, газовой, химической и атомной промышленности
ПК(У)-5	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов

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

Школа Инженерная Школа Энергетики
 Направление подготовки 13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ04	Шелемеховой Софье Дмитриевне

Тема работы:

Численное моделирование теплопереноса в конструкции геотермальной скважины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 117-43/с от 27.04.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07 июня 2022
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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>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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор научных источников в области исследования работы геотермальной скважины; 2. Разработка физической и математической модели конденсации в конструкции геотермальной скважины; 3. Обсуждение результатов и заключение по работе. <p>Дополнительно должны быть разработаны следующие разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; раздел на иностранном языке.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Слайды презентации</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна, доцент ОСГН ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович, профессор ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Исследования в области эксплуатации геотермальных скважин (Research of the geothermal well exploitation)</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01 декабря 2021</p>
--	------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ</p>	<p>Половников Вячеслав Юрьевич</p>	<p>д.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БМ04</p>	<p>Шелемехова Софья Дмитриевна</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ04	Шелемеховой Софье Дмитриевне

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Численное моделирование теплопереноса в конструкции геотермальной скважины	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта не более 99496,5 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 98396,5 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 10%; Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ научного исследования
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана, формирование сметы затрат на проект
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Описание потенциального эффекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений	
2. Матрица SWOT	
3. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01 марта 2022
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шелемехова Софья Дмитриевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ04	Шелемеховой Софье Дмитриевне

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Численное моделирование теплопереноса в конструкции геотермальной скважины	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Объект исследования: геотермальная скважина Область применения: объекты энергетики Рабочая зона: кабинет Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер 1 шт. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: персональное место в кабинете, оснащенное персональным компьютером.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: – Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны); – Правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Конституция РФ; – Трудовой Кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); – Федеральный закон от 24.07.1998 № 125-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: – Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования; – Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	Вредные и опасные факторы: – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Отклонение параметров микроклимата; – Повышенное значение электромагнитного поля; – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека; – Превышение уровня шума; – Нервно-психические перегрузки.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Литосфера, атмосфера и гидросфера: – загрязнение сточных вод; – загрязнение атмосферы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	– Возможная и наиболее типичная ЧС: Пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение пожарной

	безопасности, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01 марта 2022
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шелемехова Софья Дмитриевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 10 рис., 16 табл., 47 источников, 1 прил.

Ключевые слова: геотермальная скважина, математическое моделирование, теплоприток, конденсация.

Объектом исследования является конструкция геотермальной скважины.

Цель работы – оценка влияния конденсации влаги в конструкции геотермальной скважины на изменение теплопритоков к ней.

В процессе исследования проведено численное исследование влияния конденсации пара в конструкции геотермальной скважины на снижение теплопритоков в рассматриваемой системе.

В результате исследования были получены численные значения изменений теплопритоков с течением времени в условиях реальной эксплуатации.

Область применения: теплоэнергетика, теплоснабжение и кондиционирование

Оглавление

Введение	10
Глава 1. Исследования в области эксплуатации геотермальных скважин	14
Глава 2. Постановка задачи и метод ее решения.....	27
2.1 Математическая модель	28
2.2 Метод решения и исходные данные	29
Глава 3. Результаты численного моделирования	31
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	35
Глава 5. Социальная ответственность	55
Заключение	74
Список использованных источников.....	75
Приложение I.....	81

Введение

Земная кора все еще хранит огромные запасы ископаемого топлива, но экономически полезная часть этой ресурсной базы намного меньше, а промышленность, как правило, нацелена в первую очередь на самые высококачественные и легкодоступные ресурсы.

На уголь, нефть, газ в настоящее время, приходится 80% вырабатываемой энергии. Если мы хотим, чтобы наше общество продолжало использовать энергию с промышленным расходом не только в течение многих лет или даже десятилетий, но и столетий в будущем, то нам потребуются источники энергии, которые можно поддерживать более или менее неограниченное время. Такие энергоресурсы, как нефть, природный газ и уголь, явно являются невозобновляемыми, поскольку время, необходимое для их формирования в результате естественных процессов, измеряется десятками миллионов лет, в то время как имеющиеся запасы обеспечат общество энергией в лучшем случае лишь на несколько десятилетий в будущем при текущих темпах использования.

В отличие от этого, солнечные фотоэлектрические и солнечные тепловые источники энергии полагаются на солнечный свет, который для практических целей не истощается и, предположительно, будет доступен в таких же количествах через тысячу лет. Некоторые энергетические ресурсы являются возобновляемыми, но все же способны истощаться. Например, древесину можно заготавливать в лесах, которые восстанавливаются сами по себе. Однако скорость заготовки имеет решающее значение: при чрезмерной заготовке леса деревья не смогут расти достаточно быстро, и лес уменьшится и исчезнет. Даже возобновляемые энергетические ресурсы, не подверженные истощению, тем не менее, ограничены размером ресурсной базы [1].

Геотермальная энергия – практически неисчерпаемый ресурс. Только в верхнем трехкилометровом слое земли содержится свыше 1020 Дж теплоты, пригодной для выработки электроэнергии, что значительно превосходит количество потребляемой на планете энергии [2].

Получение геотермальной энергии возможно почти в любой точке Земли, но не везде одинаково целесообразно использовать данный энергоресурс. Наиболее выгодно располагать геотермальные станции в местах выхода геотермальных вод и пара практически на поверхность. Такие зоны располагаются в разных уголках земного шара, в основном в районах с сейсмической и вулканической активностью, и могут использоваться как основной или дополнительный энергоресурс [3].

На данный момент наиболее широкое распространение геотермальная энергетика получила в Исландии, Сальвадоре, Новой Зеландии, Кении и Филиппинах [4], что объясняется доступностью данного вида энергии в этих странах за счет их расположения в сейсмически активных зонах. Странами-лидерами по выработке энергии из геотермальных источников являются Соединенные Штаты, Индонезия, Филиппины, Турция, Новая Зеландия, Мексика, Кения, Италия, Исландия и Япония. На 2019 год суммарная мощность энергии геотермальных станций составляет 13,9 ГВт при ежегодном приросте с 2010 года в среднем на 440 МВт [5].

Интерес к данному энергоресурсу объясняется наличием неоспоримых достоинств по сравнению с другими источниками энергии:

- 1) работа геотермальных станций стабильна и не зависит от погодных условий, смены дня и ночи и времени года;
- 2) станции могут работать автономно на своем вырабатываемом топливе (внешний источник энергии необходим только для первого запуска насоса);
- 3) геотермальные станции, располагающиеся на берегах морей или океанов, могут использоваться для опреснения воды.

Помимо большого числа достоинств, у данного вида энергетике имеются и недостатки:

- 1) большие первоначальные затраты на проектирование и строительство станции;
- 2) зависимость от мест выхода пара и воды ближе к поверхности земли;

3) через скважину могут происходить выбросы горючих и токсичных газов, содержащихся в земной коре;

4) остановки станции из-за изменений в земной коре [6].

В октябре 2020 года независимая компания по энергетическим исследованиям и бизнес-аналитике Rystad Energy опубликовала прогноз развития мировой геотермальной энергетики, согласно которому рост мощностей только продолжит увеличиваться в ближайшие пять лет. Одной из причин этому станет ускоряющийся энергетический переход на альтернативные источники энергии.

Температура Земли с глубиной увеличивается в среднем на 1К через каждые 30 м. На глубине 3 км температура приблизительно равна 100 °С, а на глубине 60 км температура достигает 1800 °С. Полный тепловой поток изнутри земли примерно 26 ТВт. Это в десять раз больше энергии, которую можно извлечь из всех предполагаемых запасов угля, нефти и природного газа.

Глубина, при которой температура горных пород повышается на 1 К, называется геотермической ступенью. Она составляет примерно 30-33 м, но в экстремальных условиях бывает всего лишь полметра.

Источники геотермальной энергии делятся на пять типов:

1. Месторождения геотермального сухого пара;
2. Источники влажного пара (смеси пара и горячей воды);
3. Месторождения геотермальной воды (содержат горячую воду или пар и воду);
4. Сухие горячие скальные породы, разогретые магмой (на глубине 2км и более);
5. Магмы.

По температуре теплоносителя геотермальные источники делятся на эпигеотермальные (температура воды 50-90 °С), мезогеотермальные (температура воды 100-200 °С) и гипогеотермальные (температура превышает 200 °С) [1].

Протекающие в грунтовом массиве физические и гидравлические процессы, в период эксплуатации геотермальной скважины, существенно влияют на формирование температурного поля вокруг нее, и на систему

низкопотенциального сбора в целом. Грунтовый массив является сложным «исследовательским материалом». Знания, концепции и методы различных инженерных разделов используются для формирования исследований в процессе многолетней эксплуатации скважин.

Чаще всего, грунтовый массив является трехкомпонентной системой и включает в себя твердые минеральные частицы, воду в различных видах и состояниях и газообразные включения. Все эти компоненты грунта находятся в сложном взаимодействии, что обуславливает сложность исследований. В качестве метода исследования процессов наиболее широко распространен метод математического моделирования [6].

Разработка расчетных моделей тепломассопереноса в грунтовых породах при работе геотермального теплообменника, приобретает все большее научно-прикладное значение в инженерной практике. Этот метод позволяет исследовать динамические характеристики системы и получить их гораздо быстрее и с меньшими затратами, чем экспериментально.

Актуальность данной работы определяется необходимостью разработки научно обоснованных подходов к исследованию тепловых режимов геотермальных систем, учитывающих реальные условия эксплуатации рассматриваемых систем.

Цель работы – оценка влияния конденсации влаги в конструкции геотермальной скважины на изменение теплопритоков к ней.

Задачи:

1. Разработка физической модели конденсации влаги в конструкции геотермальной скважины;
2. Разработка математической модели конденсации влаги в конструкции геотермальной скважины;
3. Численный анализ влияния конденсации влаги в конструкции геотермальной скважины на изменение теплопритоков к ней.

Глава 1. Исследования в области эксплуатации геотермальных скважин

Яковлев П.В. и Сапрыкина Н.Ю. при помощи своего исследования [7] получили критериальные уравнения, с помощью которых можно задать наибольшую точность в расчете технико-экономических показателей с учетом длительности и режима эксплуатации геотермальной скважины.

В исследовании использовался метод численного моделирования теплообмена. Модель скважины в грунте – цилиндрическое тело из нескольких контуров. Для проведения расчета температурного поля пласта, необходимо было решить задачу нестационарной теплопроводности.

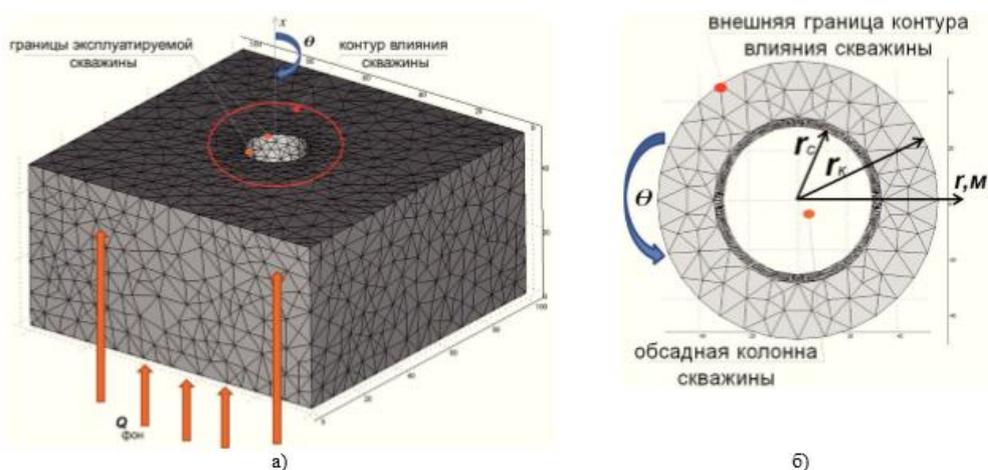


Рисунок 1.1 – Расчетная модель геотермальной скважины: а) общий вид; б) вид сверху.

С помощью сформировавшегося температурного поля стало возможным определить начальные условия для расчета температуры каждого из циклов работы оборудования.

Периоды включения теплового насоса определены условиями расчета, исходя из времени года. Квазистационарный режим достигается за время находящееся в пределах 5 лет, что подтверждено эксплуатационными параметрами в действующих системах [8-10].

Исходя из построенных графиков, видно, что зона повышенной температуры вокруг скважины сформировалась за 6 месяцев работы теплового насоса, после остановки работы насоса, температура приближается к фоновым

значениям. Все последующие циклы подвода теплоты, ведут к постепенному росту температуры до квазистационарного состояния, после чего завершаются.

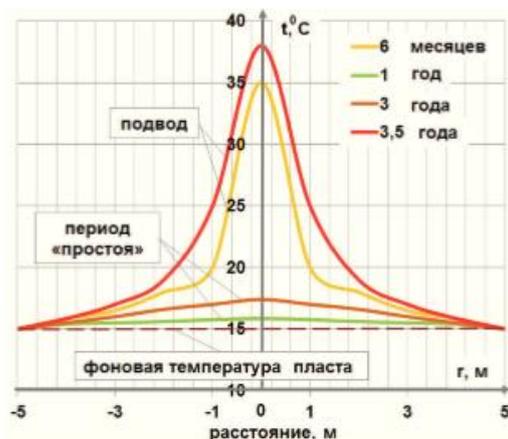


Рисунок 1.2 – Графики изменения пластовой температуры во времени при циклической работе теплового насоса без изменения направления теплового потока.

На следующем графике отображено изменение температурных полей в условиях изменения направления теплового потока.

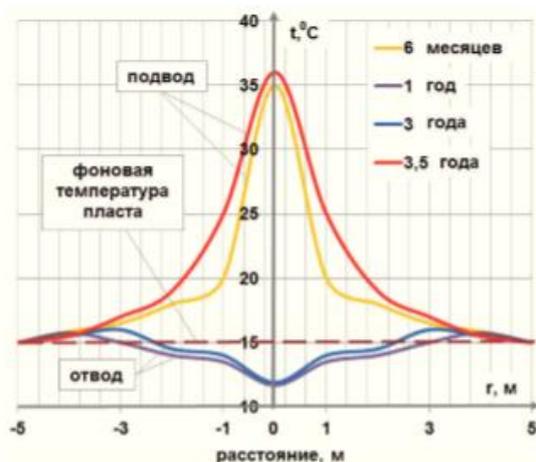


Рисунок 1.3 – Графики изменения пластовой температуры во времени при циклической работе теплового насоса с изменением направления теплового потока.

После обработки полученных результатов, авторы сошлись во мнении, что температуры пласта растут вместе с плотностью теплового потока. Также, выявлены закономерности изменения температуры в условиях нестационарного теплообмена. При смене температурного режима (происходит при переключении

режима работы с отопления на кондиционирование), происходит регенерация теплоты поочередным нагревом и охлаждением пласта.

На основе вывода о том, что в условиях регенерации температура грунта будет постепенно падать, предложены уравнения, учитывающие влияние регенерации теплоты, которые значительно упрощают технико-экономические расчеты для условий эксплуатации геотермальной скважины.

В работе [11] *Алхасова А.Б., Булгаковой Н.С. и Рамазанова М.М.* рассмотрены процессы тепломассопереноса при извлечении теплоносителя из насыщенного геотермального пласта, с учетом теплообмена с окружающими породами. При помощи численного метода решена связанная задача в пласте вокруг добывающей скважины и в стволе самой скважины.

Задача была решена численным разностным методом. Расчеты в пласте проводились для функции относительной проницаемости фаз простейшего вида.

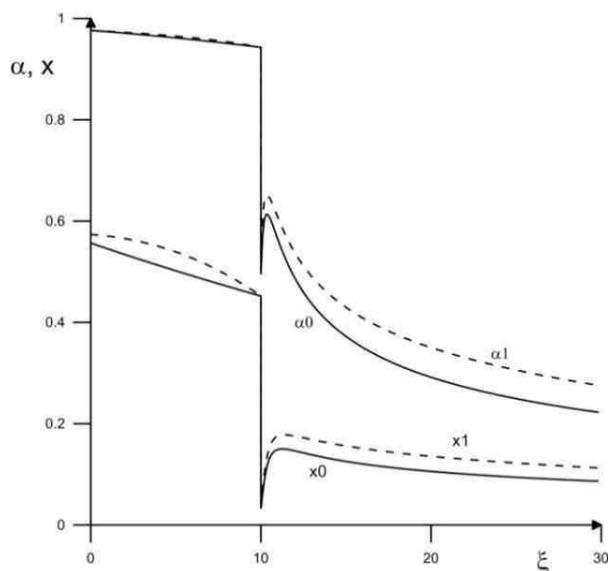


Рисунок 1.4 – Распределение объемного паросодержания и расходного массового паросодержания в скважине и пласте с учетом без учета теплообмена с окружающими породами.

На основании полученных данных, установлено, что истинная объемная паронасыщенность имеет резкий максимум вблизи скважины. С ростом проницаемости указанный максимум растет. Аналогичный результат был ранее показан в [12], но для плоской и радиально симметричной задач. В областях

повышенного паросодержания следует ожидать возможность выпадения солей в осадок, что ухудшает проницаемость пласта в этой зоне.

Отмечено, что падение давления на забое скважины в результате ее эксплуатации привело к падению температуры, а это в свою очередь при интенсивном извлечении теплоносителя приводит к образованию теплового пограничного слоя, поэтому существенная часть тепла переходит из пласта в скважину путем теплопроводности, что ведет к дополнительному парообразованию в скважине в области забоя, и, соответственно к скачкообразному увеличению массового расходного паросодержания.

На основе полученных результатов был выявлен качественный характер влияния теплообмена пласта и скважины с непроницаемыми породами на структуру термомеханических полей.

Математическая модель гидродинамики и процессов теплообмена в скважине геотермальной воды и в массиве грунта приводится в работе *Амерханова Р.А. и Кириченко А.С.* [13]. Рассматривается теплофизическая модель динамики движения теплоносителя в скважине и процессы теплопроводности в пластах.

В данной работе, с помощью программного комплекса «Phoenics», произведено численное моделирование. Системой уравнений описывалась теплофизическая модель, демонстрирующая динамику движения теплоносителя в скважине и процессы теплопроводности в пластах.

Подземный коллектор представляет собой пористый слой, снизу и сверху окруженный двумя параллельными, горизонтально расположенными горными массивами. Теплопередача в коллекторе происходит за счет конвекции в потоке фильтруемой жидкости, конвекции на границах частица-жидкость и горный массив-жидкость, теплопроводности в объеме частиц, теплопроводности в массиве породы, идеального теплового контакта между частицами, теплопроводности в потоке жидкости и теплопередачи за счет эффекта самодиффузии холодной жидкости в нагретую жидкость.

Методы математического моделирования, изложенные в статье, помогают исследователям выявить закономерности гидродинамических процессов в тепломассообмене при использовании воды из геотермальных источников. Это намного упрощает решение инженерно-технических задач для систем теплоснабжения, если используются геотермальные источники.

Щербуль 3.3. в своей статье [14] рассматривал задачу о возникновении локальных температурных аномалий, связанных с эксплуатацией геотермальных скважин, и их влиянии на теплообмен в приповерхностном слое Земли.

Для оценки влияния была разработана и модель разреза части толщи приповерхностного слоя с грунтовыми водами.

В качестве начального температурного поля берется температурное поле, фиксируемое на момент начала расчёта. Наблюдения над годовыми колебаниями температуры позволяют рассчитать коэффициенты температуропроводности для сухой почвы. Для численного решения задачи использовалась явная схема.

Результаты расчётов показали, что, через год эксплуатации, в зимнее время площадь около 200 м² вокруг скважины уже будет незамерзающей, а температура грунтовых вод будет превышать 40 градусов.

Наличие водонасыщенной прослойки, при отсутствии конвективной составляющей, существенно не влияет на измененное температурное поле в результате эксплуатации.

Проведя анализ соотношений максимальных месячных амплитуд к среднемесячным температурам на глубинах, видно, что величины соотношений снижаются в разы, а максимумы на графиках зависимостей для начальных и расчетных значений достигаются в аналогичные месяцы.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) эксплуатация геотермальной скважины уже через год приводит к снижению амплитуд колебания годовых температур в активном слое грунта, что в сочетании с увеличением среднегодовых температур по всему разрезу прискважинной зоны приводит к значительному выравниванию отношения

максимальной амплитуды колебания к средней температуре слоя в указанном радиусе теплового влияния;

2) сравнение решений задач теплопереноса для однородной сухой горной породы [15] и для толщи, содержащей водонасыщенный пласт, показывает, что на измененное температурное поле в результате эксплуатации, наличие подземных вод незначительной мощности почти никак не влияет;

3) показывает, что наличие неограниченного горизонта грунтовых вод незначительной мощности, при условии отсутствия конвекции, не окажет существенного влияния на изменённое в результате эксплуатации температурное поле приповерхностного слоя.

Известны исследования, указывающие на более ранний (чем проектный) вывод из эксплуатации геотермальных скважин, связанный обратной закачкой теплоносителя. Например, работа *Шулюпина А.Н., Любина А.А, Чернева И.И.* [16], где проводится оценка эффективности парлифтной добычи теплоносителя при переходе к освоению глубоких горизонтов.

Предельное пластовое давление использовалось в качестве характеристики подъемной способности парлифта, а для характеристики эффективности парлифтной добычи использовалось значение максимальной депрессии в пласте, которую может обеспечить парлифт.

В соответствии с принятой технологией, разработка месторождения осуществляется скважинами до 2 км – продуктивные зоны в диапазоне глубин от 1 до 2 км.

Существенной проблемой разработки месторождения является падение пластового давления ниже предельных значений для стабильной работы парлифта, что приводит к разгерметизации добычных скважин и выводу их из эксплуатации.

В отношении температуры и энтальпии флюида на исследуемых глубинах имеются различные мнения, основанные на результатах математического моделирования геотермального резервуара, – увеличение температуры [17, 18], снижение температуры [19]. Так же, существует заблуждение о том, что малый

диаметр скважины является одной из причин невозможности ее работы в режиме парлифта [20].

Результаты математического моделирования напрямую имеют связь с качеством и объемом исходных данных. В распоряжении авторов исследования был полный набор данных натурных исследований на месторождении, что подтверждает достоверность и научную значимость исследования. Как показал ход исследования, не стоит ожидать снижения температуры с глубиной, если отсутствуют прямые измерения температур на рассматриваемых глубинах.

Согласно [21], рост депрессии в два раза в условиях стационарной фильтрации прямо пропорционально расходу добычи. Однозначно можно утверждать – переход к освоению горизонтов до 3 км позволит значительно повысить эффективность парлифтной добычи, что, в свою очередь, увеличит объем добычи, а следовательно и срок эксплуатации месторождения.

Геотермальные ресурсы определяются не только энергией глубинных флюидов, но и энергией вмещающих пород, это важно учитывать при освоении геотермальных месторождений.

Исследование *Zhang Fengyan* и *Li Lixin* привело к выводу, что пористость, добавки в основной материал, температура затвердевания и температура испытаний являются жизненно важными факторами теплопроводности в геотермальной скважине. Эта научная работа дает теоретическое руководство по повышению температуры геотермальной жидкости на устье скважины и повышению эффективности геотермальной энергии.

В исследовании в качестве основного материала использовался цемент класса G, так как он обычно используется в геотермальных скважинах. Одновременно в качестве изоляционных материалов были выбраны плавающие шарики с полой структурой и вспученный перлит с сотовой структурой.

Выводы следующие:

- 1) Использование теплоизоляционных материалов позволяет эффективно снизить теплопроводность цемента и сохранить его прочность на

сжатие. В частности, увеличение водоцементного отношения, теплоизоляционного материала и температуры отверждения может значительно снизить теплопроводность цемента. Однако первые два фактора и последний фактор оказывают противоположное влияние на прочность на сжатие. Кроме того, повышение температуры нагревательной пластины увеличивает теплопроводность. Для сравнения, эффект вспученного перлита лучше, чем у плавающих шариков.

2) Увеличение пористости и степени гидратации частиц цемента может эффективно уменьшить площадь теплопередачи и теплопередающую способность скелета. Они являются основными причинами снижения теплопроводности. Расширение пути теплопередачи и гидратация активных веществ на поверхности изоляционного материала могут эффективно снизить эффективность теплопередачи каркаса, что является другими причинами снижения теплопроводности. Кроме того, гидратация частиц цемента является основой сохранения цемента необходимой прочности на сжатие. Прочность изоляционного материала, гидратация поверхностно-активного вещества и внутренняя сотовая структура являются важными факторами для поддержания прочности на сжатие на высоком уровне.

3) В сочетании с фактическими условиями пласта и техники, более низкая температура пласта в верхней части скважины приведет к относительно низкой температуре затвердевания и относительно большой разнице температур (между горячей водой и пластом) в процессе закачки. Это приведет к относительно высокой теплопередающей способности цемента в верхней части скважины, и, таким образом, эта область является основной зоной тепловых потерь.

Одной из проблем, с которыми сталкиваются проектировщики геотермальных электростанций, являются риски исследования грунта. Для решения этой проблемы важным инструментом оказалось прогнозирование с помощью моделирования.

При рассмотрении вопроса о строительстве геотермальных электростанций методы электромагнитного обнаружения и анализа бурения не могут полностью

гарантировать точное понимание географической информации, что может легко привести к риску отказа от инвестиций. Кроме того, инвестиции в геотермальные электростанции намного выше, чем в традиционные электростанции, что затрудняет продвижение этих инвестиций [23].

Согласно предыдущим исследованиям, при идеальных обстоятельствах коэффициент использования современной геотермальной энергетики (GPG) составляет примерно 90%, что намного выше, чем показатель прямого использования в 30% [24,25]. Причина этого заключается в том, что высокотемпературная энергия, необходимая для приведения в действие электростанций, встречается лишь в нескольких географических точках по всему миру [26].

В статье *Liu Z, Hou G, Song Y, Taherian H, Qi S.* [27] предложена новая модель геологической структуры, которая может быть использована для оценки GPG на основе характеристик грунта и потока подземных вод. Для точной оценки были использованы закон Дарси и теплопередача на границе раздела пористых сред. Сначала было проанализировано влияние изменений на выходную мощность.

Геомодель была создана путем моделирования трех геологических слоев с различными гидравлическими и тепловыми свойствами. Слои, высота и зоны разломов были смоделированы с использованием функций интерполяции из известного набора данных. Эволюция поля потока, гидротермальные характеристики и температурный градиент также были проанализированы в течение 10 лет.

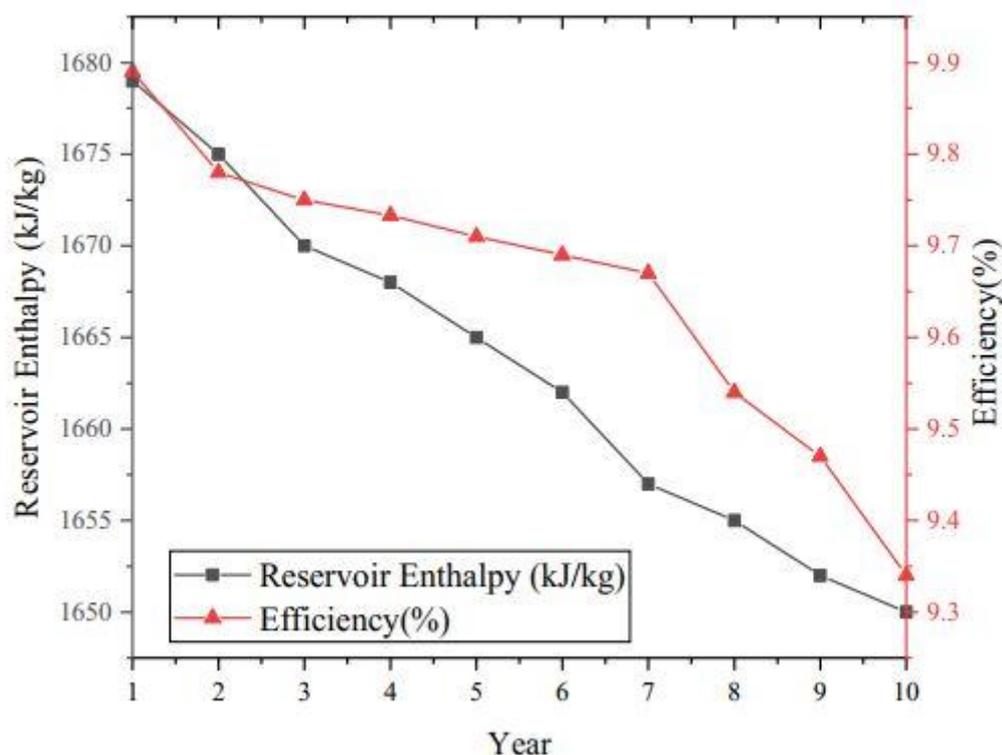


Рисунок 1.5 – Изменение КПД и энтальпии жидкости по годам.

Результаты показали, что площадь извлекаемой тепловой энергии постепенно уменьшалась в течение 10-летнего периода моделирования. Когда расстояние между подпитывающей скважиной и эксплуатационной скважиной превышало 200 м, эффективность сбора было значительно уменьшено. После 5 лет добычи эффективность выработки электроэнергии источником тепла составило менее 9.75%. Эти результаты эффективно позволили избежать затрат на исследование почвы при выборе места для геотермальной электростанции, что имеет важное значение для повышения экономической и ресурсной эффективности геотермальной скважины.

Основные выводы заключаются в следующем:

1) Были созданы модели для подземных систем с различными геологическими и термическими свойствами, которые могут быть использованы для эффективного снижения рисков разведки.

2) Были проанализированы условия накопления тепла в геологической структуре после 10 лет эксплуатации на основе построенной геологической модели. Температура на выходе снижалась со скоростью 2 К в год в течение 10

лет, что может быть использовано для оценки производственного цикла и окупаемости инвестиций электростанции в будущем.

3) При изменении расстояния до скважины температура на выходе также изменяется. Однако, когда расстояние превышает 200 м, изменение уже не очевидно. Этот результат имеет большое значение для строительства геотермальных электростанций в различных условиях.

4) Идеальная выходная мощность источника тепла постепенно уменьшается. Скорость затухания становится быстрее после пятого года, а эффективность ниже 9.75%. Однако все больше геотермальных электростанций рассматривают возможность использования углекислого газа для замены исходной воды в качестве рабочей жидкости. Это может стать новым направлением для будущих ученых.

При построении математической модели авторы [28] предположили, что рассматриваемая геотермальная система состоит из двух скважин: нагнетательной с температурой воды и добывающей. Теплообмен в такой системе осуществлялся при помощи конвекции и диффузии. Для описания конвективного метода и выбора математической модели было рассмотрено уравнение движения жидкости в пористом грунте.

Поскольку поры имеют различные направления, это означает, что в каждом выделенном объеме должны быть и различные по направлению скорости. В теории фильтрации принято рассматривать не скорость, а расход через определенную область.

Сначала методом установления находили давление, а затем поле скоростей в продуктивном слое. Результаты таких расчетов для одного из типовых вариантов показаны на рис. 6 и рис. 7.

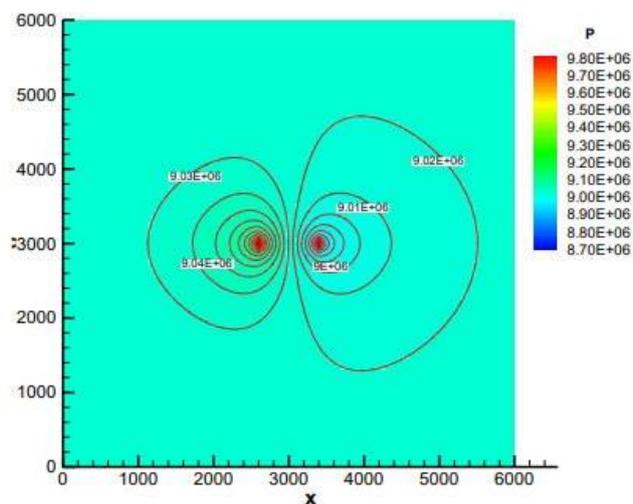


Рисунок 1.6 – Поле давления в продуктивном пласте после 5 лет эксплуатации скважины.

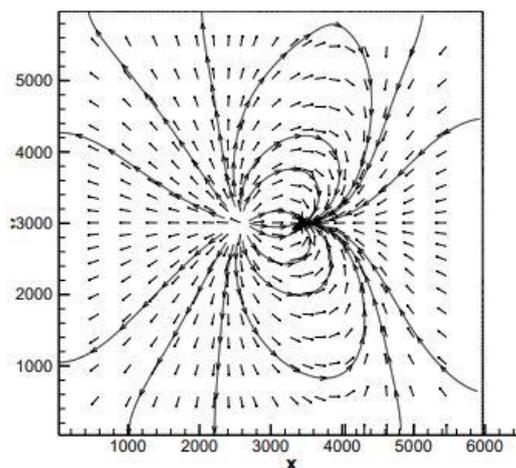


Рисунок 1.7 – Поле скоростей в продуктивном пласте после 5 лет эксплуатации скважины.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют моделировать распределение фронта холодной воды в продуктивном пласте при различных параметрах работы скважины и выбирать оптимальные параметры для продления срока службы.

На основании проделанного анализа доступной литературы, можно отследить популярность данной проблемы среди ученых и исследователей в этой области. В основном, в разработке модели учитывают такие параметры как глубина прокладки скважины, режим работы, материалы, характеристики грунта.

В данной же работе, учитывается влияние конденсации на работу скважины, что
вовсе не учитывалось другими исследователями.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время основным критерием оценки перспективности научного открытия является коммерческая ценность разработки, поскольку затруднительно на первых этапах жизненного цикла оценить масштабность проекта.

Коммерческая ценность предполагает не только более совершенные технические характеристики продукта по сравнению с уже имеющимися на рынке, но и ответ на вопросы о стоимости, востребованности, бюджете проекта, сроках выхода на рынок.

Анализ конкурентных технических решений позволяет производить корректировки научного исследования для увеличения его конкурентоспособности, так как рынки сбыта находятся в постоянном движении.

Настоящая работа проводится на персональном компьютере и предполагает исследование эффективности способа решения поставленной инженерной задачи, а именно – применения программного пакета COMSOL в качестве средства для моделирования теплопереноса в геотермальной скважине. Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом исследования является геотермальная скважина. Потенциальными потребителями могут выступать научно-исследовательские институты, организации, специализирующиеся на исследовательских работах в области энергетики, организации, специализирующиеся на модернизации оборудования. Общая черта – интерес получения наиболее эффективной разработки в области геотермальной энергетики. Для институтов и организаций, специализирующиеся на исследовательских работах в области энергетики это как возможность сотрудничества и дальнейших исследований, для организаций, специализирующиеся на модернизации оборудования вариант покупки разработки, для использования в своей работе. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка

		Сферы использования		
		Научно-исследовательские институты	Организации, специализирующиеся на исследовательских работах в области энергетики	Организации, специализирующиеся на модернизации оборудования
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят крупные научно-исследовательские институты, средние организации, специализирующиеся на исследовательских работах в области энергетики, крупные и мелкие организации, специализирующиеся на модернизации оборудования.

4.2 Оценка конкурентоспособности разработки

Исследование посвящено изучению процесса теплопереноса в геотермальной скважине. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Конкурентами являются теоретики и экспериментаторы в области исследования теплопереноса в геотермальной скважине.

Выделим двух конкурентов в области исследований энергоэффективности геотермальных скважин.

Васяновичем Ю.А., Шулюпиным А.Н. и Варламовой Н.Н. была произведена оценка предельного пластового давления для парлифтной добычи флюида на Мутновском геотермальном месторождении [16]. Их исследование подразумевает увеличение глубины скважины для восполнения дефицита теплоносителя на действующих геотермальных электростанциях Камчатки. Согласно их исследованию, увеличение глубины скважины почти в 2 раза повысит энергоэффективность геотермальных источников. Обозначим их, как К1.

Сапрыкина Н.Ю., Яковлев П.В. в своем исследовании [7] показали, что в результате длительной эксплуатации геотермальной скважины, происходят изменения температурного поля пласта вокруг скважины, приводящие к потере теплоты. На основании полученных данных вывели критериальные уравнения, которые позволяют уточнить расчет технико-экономических показателей, что позволит в будущем производить расчет эффективности работы скважины. Обозначим их К2.

В моем исследовании проводилась оценка влияния конденсации пара в конструкции геотермальной скважины на изменение теплопритоков к ней. Применение разработанной математической модели для анализа теплопритоков к геотермальным скважинам позволяет прогнозировать тепловые режимы рассматриваемых систем, а, следовательно, и производить расчет эффективности работы скважины. Обозначим Кф.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. В данном случае для сравнения были взяты такие критерии как энергоэффективность, надежность, долговечность, простота обслуживания, безопасность, уровень материалоемкости, так как это наиболее типичные характеристики для оценки, в основном именно на них нацелено исследование и дальнейшие пути модернизации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Результаты оценки приведем в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка конкурентоспособности разработки

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Энергоэффективность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Надежность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Долговечность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Простота обслуживания	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Безопасность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Уровень материалоемкости разработки	0,2	5	3	4	1,0	0,6	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
Финансирование научной разработки	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Конкурентоспособность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Перспективность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	45	45	41	4,45	4,45	4,05

По результатам расчета таблицы 2 видно, что предлагаемый способ повышения эффективности работы геотермальной скважины конкурентоспособен. Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере энергоэффективности, надежности, безопасности уровне материалоемкости разработки. Так же довольно ясно видно, что особую конкуренцию составляет К1, за счет того, что у К1 разработка более приближена к практике и будет более понятна инвесторам и потенциальным покупателям.

4.3 SWOT-анализ разработки

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 теплопереноса в геотермальных скважинах.

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 и режимов использования геотермальной скважины.

Основными средствами является: ЭВМ, программное обеспечение. Обратный капитал отсутствует.

Матрица SWOT-анализа представлена в данном разделе в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT- анализ

<p>Сильные стороны 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 геотермальной энергетике</p> <p>С3. Новое высокотехнологическое оборудование</p>	<p>Слабые стороны 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 немало 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 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. Погрешность измерений.</p> <p>У3. Увеличение цен на материалы</p> <p>У4. Отсутствие инвесторов</p>

Сильные стороны и возможности: В1С1, С2, С3; В2С1, С2, С3; В3С2, С3; В4С1, С2, С3.

Слабые стороны и возможности, следующие: В1Сл1, Сл3, Сл4; В2Сл3, Сл4; В4Сл3.

Сильные стороны и угрозы: У1С1.

Слабые стороны и угрозы: У1Сл1; У2Сл2, Сл3, Сл4.

Выполнив SWOT-анализ, можно сделать вывод о том, что у данного проекта существует масса преимуществ, основным из которых является дальнейшая перспектива модернизации теплотехнических технологий в геотермальной энергетике, задавать более эффективный режим работы скважин, сложностью данного проекта видится появление конкурентов в области исследования и отсутствие инвесторов. Необходимо сделать упор на такие сильные стороны как применение полученных результатов в геотермальной энергетике, так как это связано с наибольшим количеством возможностей проекта. Что касается слабых сторон, нужно обратить внимание на попытку создания необходимых условий, чтобы избежать большинства угроз проекта.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Данная часть экономического раздела выпускной квалификационной работы направлена на определение основных свойств совершаемых работ [1]:

- 1) Определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) Определение участников каждого пункта работ;
- 3) Определение продолжительности работ;
- 4) Построение графика продолжительности проведенных работ.

Для начала определим перечень этапов, работ и распределим исполнителей на каждом этапе. Планирование проведение работ позволит разграничить обязанности каждого из исполнителей проекта, рассчитать заработную плату работников, а также гарантирует реализацию проекта в срок. Основные задачи распределяются между двумя исполнителями проекта: руководителем проекта и инженером. Последовательность и содержание работ, а также распределение исполнителей представлено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение	Научный руководитель

		технического задания	
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение теоретического материала	Инженер
	3	Выбор направления исследования	Научный руководитель, инженер
	4	Составление календарного плана работ	Научный руководитель, инженер
Проведение исследования	5	Создание расчетной модели	Инженер
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Проведение экспериментального исследования	Инженер
	8	Анализ результатов и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Контроль и координирование	10	Контроль качества выполнения проекта и	Научный руководитель

проекта		консультирование инженера	
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Инженер

По результатам составления данной таблицы можно сделать вывод о том, что проект содержит 11 этапов, большую часть из которых выполняет инженер.

Определение трудоемкости выполнения работ

Так как основной частью стоимости разработки проекта состоит из трудовых затрат, то очень важно определить трудоемкость работ каждого из участников проекта. Определить ожидаемое (среднее) значение трудоемкости возможно по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}$$

где t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.–дн.;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.–дн.;

Основываясь на ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Проведение данного расчета необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

Для удобства построения графика продолжительности работ, длительность каждого из этапов работ следует перевести в календарные дни. Для осуществления данного перевода существует следующая формула:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot K_{КД}$$

где $K_{КД}$ – коэффициент календарности, расчет которого осуществляется по следующей формуле:

$$K_{КД} = \frac{T_{КД}}{T_{КД} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

где $T_{КД}$ – количество календарных дней в году;

$T_{ВД}$ – количество выходных дней в году;

$T_{ПД}$ – количество праздничных дней в году.

В качестве примера приведем расчет для работы №1 «Составление и утверждение технического задания», выполнение которой осуществляет руководитель проекта.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4, \text{ чел} - \text{ дн.}$$

Коэффициент календарности для 2022 года:

$$K_{КД} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47$$

Расчет количества календарных дней:

$$T_{КД} = 4 \cdot 1,47 = 5,88 \approx 6 \text{ к.дн}$$

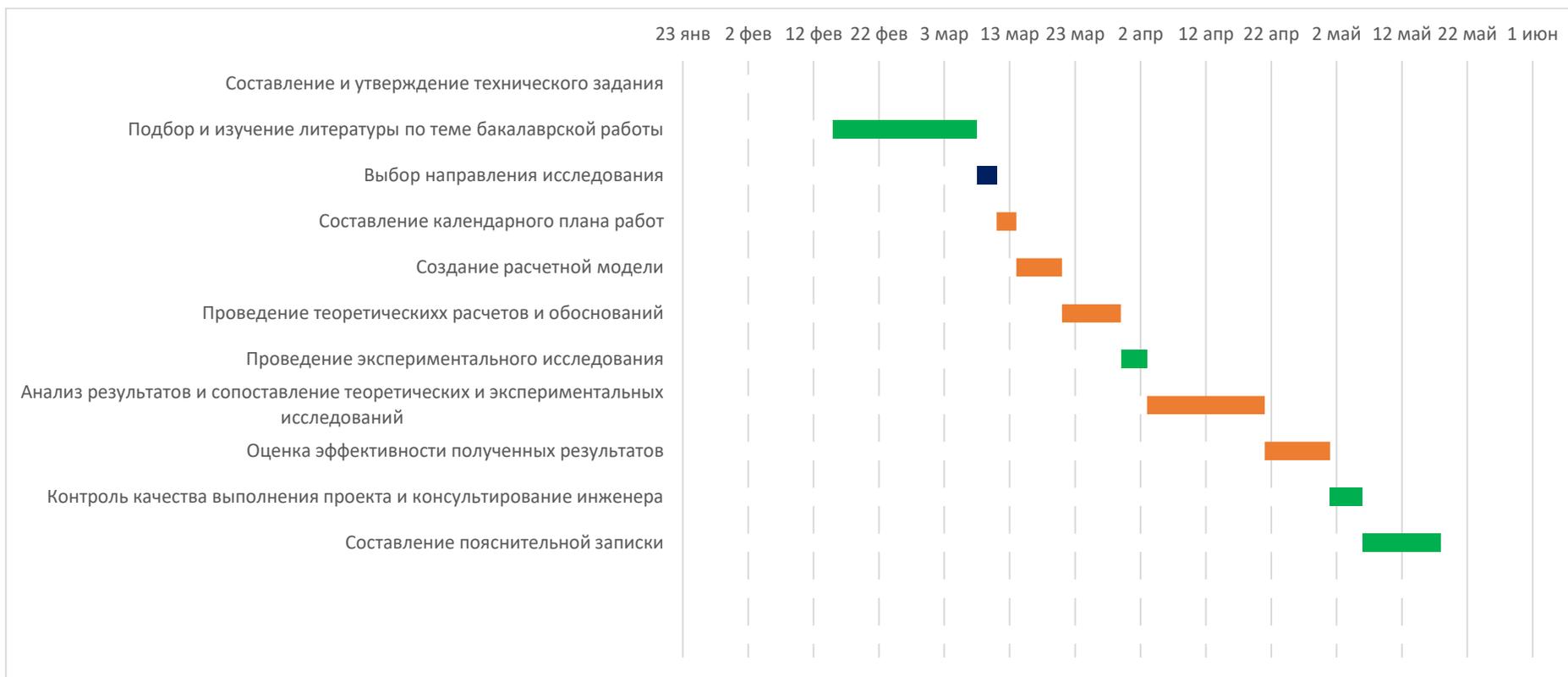
Для наглядности и простоты построения диаграммы Ганта занесем рассчитанные значения для каждого вида работ каждым исполнителем (руководитель проекта (НР) и инженер (И)) в таблицу 4.5. На основании данной таблицы построим календарный план-график (диаграмму Ганта), представленную на рисунке 1.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения работ

Наименование работы	Исполнители работы	Длительность работ, дн.			Трудоёмкость работ по исполнителям, чел.дн			
		t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$	T_{pi}		T_{ki}	
					НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	8	9	11
Составление и утверждение технического задания	НР	2	7	4	4	0	5	0
Подбор и изучение теоретического материала	И	11	21	15	0	15	0	22
Выбор направления исследования	НР, И	2	7	4	2	2	3	3
Составление календарного плана работ	НР, И	2	7	4	2	2	3	3
Создание расчетной модели	И	3	8	5	0	5	0	7
Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	4	9	6	0	6	0	9
Проведение экспериментального исследования	И	1	6	3	0	3	0	4
Анализ результатов и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований	И	8	18	12	0	12	0	18
Оценка эффективности полученных результатов	И	5	10	7	0	7	0	10
Контроль качества выполнения проекта и	НР	2	7	4	4	0	5	0

консультирование инженера								
Составление пояснительной записки	И	6	11	8	0	8	0	12
Итого:		46	111	72	12	60	16	88

Рисунок 4.1 – Календарный план-график проведения исследования



На основании построенного графика продолжительности реализации проекта можно заключить, что продолжительность работ по выполнению задания составит около 14 недель. Начало разработки проекта намечено на вторую неделю февраля, а окончание на третью неделю мая. Значение реальной продолжительности работ может быть как меньше (при благоприятных обстоятельствах) посчитанного значения, так и больше (при неблагоприятных обстоятельствах), так как трудоемкость носит вероятностный характер. Общая длительность выполнения проекта в календарных днях составит 97 дней, из них инженер проработает 88 дней, а руководитель проекта 16 дней.

Бюджет затрат на проектирование

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат [31]:

- 1) материальные затраты проекта;
- 2) затраты на оборудование;
- 3) основная заработная плата исполнителей проекта;
- 4) дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- 5) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 6) накладные расходы.

Расчет материальных затрат проекта

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п.

Теоретические исследования, а также моделирование системы требуют ряд программных продуктов: Microsoft Office, COMSOL 3.5a и др.

Большинство из них предоставляются бесплатно для студентов ТПУ, другие находятся в свободном доступе в сети «Интернет».

Таким образом, затраты на материалы включают в себя расходы на канцелярские принадлежности, картридж для принтера.

Для исследований используется персональный компьютер с бесплатным доступом к лицензии COMSOL 3.5a. В материальные затраты также включаются транспортно-заготовительные расходы (ТЗР) в пределах от 5% до 20% от общей цены материалов. Список материальных затрат приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	310	1	310
Тетрадь общая, 48 л.	50	1	50
Шариковая ручка	30	3	90
Картиридж для принтера	550	1	550
Итого			1000
Итого с учётом ТЗР (10%)			1100

В сумме материальные затраты составили 1100 рублей. Цены приняты средние по городу Томск.

Расчет затрат на амортизацию специального оборудования для научных (экспериментальных) работ

Амортизация – процесс переноса стоимости оборудования на созданную при его участии продукцию и создание источника для простого производства [1].

Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 30000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет [3].

Норма амортизации H_A рассчитывается как [3]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\% ,$$

где T – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации H_A :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% .$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 30000 \cdot 0,33 = 9900 \text{ руб.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес} = \frac{9900}{12} = 825 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 825 \cdot 5 = 4125 \text{ руб.}$$

Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды

Оклад научного руководителя (в должности доцента) составляет 33 664 рублей. Оклад студента (инженера) принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации, т.е. ассистента и составляет 12 664 рублей. В 2022 году с учётом 24-дневного отпуска 223 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1603,05 рублей в день, для консультанта и инженера – 603,05 рублей в день.

Заработная плата включает в себя основную и дополнительную части. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{дн} \cdot T_{РД} \cdot (1 + K_{пр} + K_{д}) \cdot K_p ,$$

где $ЗП_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{РД}$ – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях;

$K_{пр}$ – коэффициент премирования;

$K_{д}$ – коэффициент доплат;

K_p – районный коэффициент.

Результаты расчета заработной платы для руководителя и инженера проекта приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет заработной платы для руководителя и инженера

Исполнители	$ЗП_{дон}$	K_p	K_{∂}	K_{np}	$T_{РД}$	$ЗП_{осн}$, руб
Руководитель	1603,05	0,1	0,2	1,3	16	32061
Инженер	603,05	0	0,2	1,3	88	66335,5
Итого						98396,5

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,12 ,$$

где $ЗП_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{внеб} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,302 ,$$

где $ЗП_{осн}$ – основная заработная плата, руб;

$ЗП_{дон}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Таблица 4.8 – Расчёт дополнительной заработной платы и отчислений

Исполнители	$ЗП_{дон}$	$ЗП_{внеб}$
Руководитель	3847,32	10772,5
Инженер	7960,26	22288,7
Итого	11807,58	33061,2

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех остальных расходов.

В результате данных расчетов посчитана основная заработная плата у исполнителей проекта. Из таблицы 6 видно, что ставка руководителя наибольшая, но итоговая заработная плата получилась наибольшей у инженера, так как основная заработная плата зависит от длительности работы проекта.

Формирование затрат на проектирование

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Бюджет затрат на проект

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	1100	0,67
Затраты на амортизацию	4125	2,57
Основная заработная плата	98396,5	60,2
Дополнительная заработная плата	11807,58	7,23
Страховые взносы	33061,2	20,24
Накладные расходы	14849	9,09
Итого	163339	100

Суммарный бюджет проекта равен 163339 рублей, где наибольший процент бюджета составляют затраты на покрытие основное заработной платы исполнителей в размере 98396,5 рублей или 60,2 % к общей сумме бюджета.

Выводы по разделу

В ходе выполнения данного раздела были решены следующие задачи:

Выявлены потенциальные потребители результатов исследования.

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят крупные научно-исследовательские институты, средние организации, специализирующиеся на исследовательских работах в области энергетики, крупные и мелкие организации, специализирующиеся на модернизации оборудования. В основном исследование интересно научному и научно-конструкторскому сегменту рынка.

2) Проведён анализ конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений в сравнении с аналогичными исследованиями в сфере геотермальной энергетики, показал, что рассматриваемая разработка конкурентоспособна. Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере энергоэффективности, надежности, безопасности, уровне материалоемкости разработки.

Так же довольно ясно видно, что особую конкуренцию составляет К1, за счет того, что у К1 разработка более приближена к практике и будет более понятна инвесторам и потенциальным покупателям.

3) SWOT-анализ.

Был проведён SWOT-анализ, который показывает слабые и сильные стороны исследования, а также угрозы и возможности на рынке в целом.

В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: появление конкурентов в этой области исследования, отсутствие инвесторов, погрешность измерений, увеличение цен на энергоресурсы.

4) Планирование выполнения работ по проекту.

Было произведено распределение обязанностей по выполнению проекта и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 97 дня. При этом инженер принимал участие в работе практически каждый день, а научный руководитель производил контроль работы.

5) Формирование бюджета затрат.

Также был сформирован бюджет затрат на разработку проекта, который составил 163339 руб.

Расчет показал, что трудовые затраты составляют основную часть от стоимости разработки и составляют 98396,5 тыс.руб. Минимальные затраты составляют материалы и амортизационные отчисления, в сумме около 4125 руб.

Расходы по заработной плате определены по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок и составили: заработная плата руководителя – 32061 руб., заработная плата инженера – 66335,5 руб. Накладные и прочие расходы составили в сумме 49010,2 руб. Все затраты проекта могут быть реализованы, так как оказались ожидаемы.

В целом по работе можно сделать вывод, что проектируемый объект имеет коммерческий потенциал, он конкурентоспособен и перспективен, но в современных условиях требует финансовых и временных вложений на изучение.

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

К социальным вопросам на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально–экономические, организационно–технические, санитарно–гигиенические, лечебно–профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Главной задачей охраны труда, является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, т.е. создание таких условий труда, которые исключают воздействия вредных факторов производства на рабочих.

Все факторы, воздействующие на работника в процессе осуществления трудовой деятельности, принято разделять на два типа: вредные и опасные производственные факторы.

В данной главе преследуются несколько задач:

Проанализировать рабочее место на предмет возникновения вредных и опасных факторов, а также их влияние на человека; определить предполагаемые средства защиты и меры по снижению их воздействия; рассмотреть возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и разработать меры по их предупреждению.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специфика труда оператора ПЭВМ заключается в больших зрительных нагрузках в сочетании с малой двигательной активностью, монотонностью выполняемых операций, вынужденной рабочей позой. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие работающего.

ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового, модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

В ст. 91 ТК РФ вводится понятие рабочее время – время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

В соответствии со ст. 100 ТК РФ режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели. Для студентов и преподавателей НИ ТПУ согласно правилам внутреннего трудового распорядка предусмотрена шестидневная с одним выходным днем.

Главой 14 ТК РФ гарантирована защита персональных данных работника. Работники и их представители должны быть ознакомлены под роспись с документами работодателя, устанавливающими порядок обработки персональных данных работников, а также об их правах и обязанностях в этой области.

Согласно приказу ректора НИ ТПУ 01.03.2022 №60-од утверждено приложение 3б к Положению «Об обработке и защите персональных данных в Томском политехническом университете» в новой редакции, в котором ТПУ гарантирует обучающемуся по образовательной программе высшего

образования, обработку личных данных в соответствии с законодательством РФ.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Организация рабочего места – это система мероприятий по его оснащению средствами и предметами труда и размещению их в определенном порядке с учетом санитарно-гигиенические требований.

Общие эргономические требования к рабочему месту исследователя при работе сидя должны соответствовать требованиям СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».

Согласно документу установлена площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров, к примеру, с использованием компьютеров на базе плоских дискретных экранов площадь одного рабочего места должна быть не менее 4,5 кв.м. Соответственно при размещении столов с компьютерами, расстояние между мониторами устанавливается с соблюдением площади рабочего места.

Что касается света, то, согласно СП 2.2.3670-20, компьютеры размещают таким образом, чтобы показатели освещенности не превышали установленных гигиенических нормативов, утвержденных в соответствии с пунктом 2 статьи 38 Федерального закона от 30.03.1999 N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения".

Также в обязательном порядке должно быть обеспечено соблюдение требований таблицы Л.1 приложения Л СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

5.2 Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Таблица 5.2.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении экспериментов в компьютерном классе

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	разработ-ка	изготов-ление	эксплуа-тация	
Отклонение показателей микроклимата	+			СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+			СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+			ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих
Повышенный уровень шума	+			ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
Повышенный уровень электромагнитного излучения	+			СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»
Нервно-психические перегрузки	+			СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»

Отклонение показателей микроклимата

Компьютерный класс № 41 4 корпуса НИ ТПУ можно отнести к помещениям первого класса (помещения с незначительными избытками явного тепла (до 23 Дж/м³·с и менее)) исходя из производственных условий.

Допустимые микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года и тяжести выполняемой работы (Iб категория) указаны в ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Выбрана категория работ по уровню энергозатрат Iб, так как большинство работ производится сидя и с кратковременной ходьбой сопровождающейся незначительной физической нагрузкой.

Таблица 5.2.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб (140-74)	22-24	21-25	40-60	0,1

Компьютерный класс оборудован следующими средствами для обеспечения благоприятных микроклиматических условий:

- система отопления (позволяет поддерживать температуру);
- система вентиляции (позволяет удалять загрязненный воздух);
- система кондиционирования (позволяет поддерживать относительную влажность на заданном уровне и регулировать температуру);

Температура, относительная влажность, скорость движения воздуха в рабочей зоне помещения, относящегося к первому классу, должны соответствовать оптимальным нормам метеорологических условий, указанных в табл. 6, которые обеспечиваются и поддерживаются на необходимом уровне с помощью систем, перечисленных выше.

Превышение уровня шума

Шум – совокупность звуков различной частоты и интенсивности, беспорядочно изменяющихся во времени. Физической природой шума являются механические колебания в среде. При проведении экспериментальной части исследования основным источником шума является персональный компьютер.

Шум оказывает как местное, так и общее воздействие на организм. Он может стать причиной учащенного пульса, повышенного артериального давления, головных болей, бессонницы, ослабления внимания, замедления психических реакций. Шум не только ухудшает самочувствие человека, снижает производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводит к профессиональным заболеваниям, таким как тугоухость.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ Шум. Общие требования безопасности.

Для минимизации воздействия данного фактора в качестве средств индивидуальной защиты (СИЗ) от шума можно использовать беруши, наушники.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

К освещению рабочих мест, оборудованных персональным компьютером, применяются следующие требования:

Таблица 5.2.3 – Требования к освещению рабочего места, оборудованного ПК

Параметр	Значение параметра
Освещенность на рабочем столе, лк	400-600
Освещенность на экране, лк	не выше 300
Блики на экране, кд/м ²	не выше 40

Прямая блёскость источника света, кд/м ²	200
Показатель ослепленности	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости между рабочими поверхностями	3:1-5:1
Отношение яркости между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации, %	не более 10

Помещение кабинета оснащено рабочим и аварийным освещением согласно требованиям СП 52.13330.2016, а естественное освещение организовано через два оконных проема размером 1,3×2,8м.

Выполним расчет общего равномерного искусственного освещения по методу светового потока для прямоугольного помещения кабинета длиной А = 6 м, шириной В = 4 м, высотой Н = 4 м. Необходимо создать освещенность $E_n = 400$ лк. Согласно отраслевым нормам освещенности, уровень рабочей поверхности над полом составляет $h_{pn}=0.8$ м.

Световой поток ламп светильника определяется по формуле

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100 / (n \cdot \eta), \text{ лм},$$

где: E_n – нормируемая минимальная освещенность по СП 52.13330.2016, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий старение ламп и загрязнение светильников, при малом выделении пыли $K_3=1,5$;

Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчетах составляет $Z=1,1$;

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока, %.

Так как поверхность стен окрашена в серый цвет, свежепобеленные с окнами без штор, то коэффициент отражения поверхности стен $\rho_{\text{отст}}=50\%$.

Поверхность потолка также свежепобеленная, поэтому коэффициент отражения поверхности потолка $\rho_{\text{п}}=70\%$.

Выбираем светильник типа ОД-2-80 с количеством ламп 2 шт.

Высота светильника над рабочей поверхностью

$$H = H - h_{\text{pn}} = 4 - 0,8 = 3,2, \text{ м}$$

Индекс помещения

$$i = S / (h \cdot (A + B)) = (6 \cdot 4) / (3,2 \cdot (6 + 4)) = 0,75$$

Учитывая $\rho_{\text{ост}}$, $\rho_{\text{п}}$ и i определяем значение коэффициента использования светового потока по $\eta=37\%$.

Потребный световой поток ламп

$$\Phi = 400 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 / (9 \cdot 37) = 4756, \text{ лм}$$

По [14, табл. 1] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛХБ с потоком 5000 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq [(\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}) / \Phi_{\text{л.станд.}}] \leq +20\%;$$

$$-10\% \leq 4,88\% \leq +20\%;$$

Световой поток ламп не выходит за пределы диапазона, поэтому нет необходимости далее корректировать число светильников и ламп.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитное поле своим воздействием может быть причиной учащенного пульса, дыхания, повышения артериального давления, возникновения головных болей, ослабления внимания и замедления реакции, что приводит к снижению работоспособности.

Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц. Временные допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПК нормируются СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».

Таблица 5.2.4 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ

Наименование параметра		ВДУ ЭМП
Напряженность электростатического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Для уменьшения степени воздействия электромагнитных излучений от ПК необходимо делать перерывы в работе – по 15 минут каждые 2 часа.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение в результате случайного включения в сеть; к нетоковедущим частям, выполненным из проводящего электрический ток материала, после перехода на них напряжения с токоведущих частей.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Термическое воздействие тока проявляется ожогами отдельных участков тела, нагревом до высокой температуры органов, что вызывает в них значительные функциональные расстройства. Электролитическое воздействие в разложении различных жидкостей организма (воды, крови, лимфы) на ионы, в результате чего происходит нарушение их физико-химического состава и свойств. Биологическое действие тока проявляется в виде раздражения и возбуждения тканей организма, судорожного сокращения мышц, а также нарушения внутренних биологических процессов.

Опасность поражения человека электрическим током оценивается величиной тока, проходящего через его тело, или напряжением прикосновения. Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, при аварийном режиме работы электроустановок постоянного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА; для тока частотой 400 Гц соответственно – 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока – 8 В и 1 мА. Указанные данные приведены для продолжительности воздействия тока не более 10 мин в сутки.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация, существуют следующие виды защиты от повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека: изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; предохранительные устройства; знаки безопасности.

Нервно-психические перегрузки

В результате длительного непрерывного интеллектуального труда и монотонности процесса у исследователя могут возникнуть нервно-психические перегрузки, такие как перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой, умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки. Нервно-эмоциональное напряжение может быть вызвано ответственностью за выполняемую работу, сложностью или необычностью работы, особенно в условиях дефицита времени.

Основным симптомом является чувство постоянной усталости и разбитости. При этом может отмечаться раздражительность, когда любая мелочь способна вывести из состояния душевного равновесия.

Перенапряжение зрительных анализаторов может привести к утомлению и как следствие к нарушению сократительной функции глазных мышц.

Нервно-эмоциональное напряжение может нарушить функциональное состояние сердечно-сосудистой и центральной нервной системы (повышение артериального давления, изменение латентного периода двигательной реакции).

Лимитирующим показателем для психофизиологических перегрузок является уровень нагрузки.

Организация режимов труда и отдыха при работе с ПК должна соответствовать СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». Согласно этому документу, для 8-часовой смены при третьей категории работ с ПК (до 6 часов в течение смены) и уровне нагрузки за рабочую смену при работе с ПК для группы В, предполагающей творческую работу в режиме диалога с ПК (включающую как считывание информации, так и ее ввод) устанавливается суммарное время регламентированных перерывов – 90 мин.

Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

Рассмотрим решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на исследователя, а также требования безопасности, предъявляемые к работам, выполняемым в кабинете и устройствам, формирующим опасные факторы.

Нормализация показателей микроклимата

Наиболее распространенными способами нормализации микроклимата являются рациональная вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха.

В данном кабинете действуют естественная неорганизованная общеобменная вентиляция и водяное отопление, которые позволяют поддерживать микроклиматические условия, соответствующую нормам. Количество приточного воздуха при естественном проветривании

должно быть не менее 30 м³/ч на одного человека, что соблюдается не всегда.

Поэтому проветривание производится в перерывах между опытами.

Уменьшение уровня шума

Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы: уменьшение уровня шума в источнике его возникновения; звукопоглощение и звукоизоляция; установка глушителей шума; рациональное размещение оборудования; применение средств индивидуальной защиты.

Для снижения данного вредного фактора на нагнетательном патрубке вытяжной вентиляции установлены глушители шума. Стеклопакет, смонтированный в оконном проеме, поглощает некоторое количество шума, поступающий в кабинет с улицы.

Организация освещенности рабочей зоны

К средствам нормализации освещенности рабочих мест относятся: источники света, осветительные приборы, световые проемы, светозащитные устройства. В качестве осветительных приборов в кабинете установлены люминесцентные лампы типа ЛБ.

При организации освещения в кабинете необходимо:

- обеспечить равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающих предметах;
- для улучшения видимости объектов в поле зрения работающего исключить прямую и отраженную блескостность. С этой целью, по возможности, блестящие поверхности следует заменять матовыми;
- при наличии зон с недостаточным искусственным освещением и достаточным уровнем естественного освещения изменять размещение рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- выполнять косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов

Снижение вероятности влияния повышенного напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» помещение кабинета по опасности поражения электрическим током относится к третьей группе – помещение без повышенной опасности, так как в нем отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность (повышенная влажность, запыленность, токопроводящие полы и т. п.).

При проведении исследования используется персональный компьютер.

Особые требования предъявляются к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на персональных компьютерах. К их числу относятся следующие: все узлы одного ПК и подключенное к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети; корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой; для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит; все соединения ПК и внешнего оборудования должны производиться при отключённом электропитании.

Помещение кабинета должно соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

По способу защиты человека от поражения током оборудование кабинета относится к I классу электрических изделий, т.е. все оборудование имеет защитную изоляцию, заземление – согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма в кабинете запрещается: работать на неисправных электрических приборах и установках; перегружать электросеть; работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним; загромождать подходы к электрическим устройствам.

Обо всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления следует немедленно сообщить руководителю. При перерыве в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены. Категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу.

Помещение кабинета должно быть оборудовано предупредительной сигнализацией и блокировкой, а также в наличии должны быть знаки безопасности и предупреждающие плакаты.

Снижение уровня электромагнитных излучений

В качестве основных способов защиты от негативного воздействия электромагнитного поля могут служить:

- экранирование (активное и пассивное: источника электромагнитного излучения или же объекта защиты; комплексное экранирование);
- при организации системы электропитания в выбранном для установки компьютерной техники помещении, недостаточно выполнить общепринятые правила электробезопасности, если в этом помещении установлены другие электроустройства со значительным энергопотреблением. Разводка электропитания должна быть выполнена таким образом, чтобы обеспечивалась нейтрализация магнитных полей, создаваемых этими устройствами;
- рациональное размещение компьютерной техники на рабочих местах с соблюдением основного принципа – наибольшей удаленности от пользователей ПЭВМ и других окружающих основных источников электростатических и электромагнитных полей (дисплея, системного блока, элементов сетевого питания и т.п.);

Снижение нервно-психических перегрузок

Меры по снижению нервно-психических перегрузок на рабочем месте, приведенные в методических рекомендациях МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности», предусматривают внедрение рациональных режимов труда и отдыха, комплекса оздоровительно-профилактических мероприятий для предупреждения воздействия стресс-факторов на организм работающих.

При пятидневной рабочей неделе и 8-часовой смене продолжительность обеденного перерыва составляет 30 мин.

5.3 Экологическая безопасность

В процессе выполнения работ в кабинете образуются следующие виды отходов:

- лампы ртутные, утратившие потребительские свойства;
- отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности;
- компьютеры и периферийное оборудование, утратившие потребительские свойства;
- мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный).

При обращении с образующимися отходами необходимо осуществлять их отдельный сбор по их видам, классам опасности с тем, чтобы обеспечить их передачу на использование в качестве вторичного сырья, переработку, обезвреживание или последующее размещение.

Хранение отработанных ртутьсодержащих ламп, относящихся к I классу опасности (чрезвычайно опасные отходы) производится в специально выделенном для этой цели помещении, атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод, а также в местах, исключая повреждение тары для хранения. При накоплении (не более 11 месяцев)

партии, отходы передаются лицензированной организации для обезвреживания.

Компьютеры и периферийное оборудование, утратившие потребительские свойства, после признания оборудования непригодным к использованию, хранится в специально отведенное место для временного накопления на стеллажах, навалом, штабелем, в коробках. После формирования партии для сдачи передаются специализированной организации, имеющей соответствующую лицензию на обработку, утилизацию, или обезвреживание.

Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) после уборки транспортируются персоналом по уборке в специально отведенные контейнеры для последующего вывоза региональным оператором. ТКО должны храниться в стандартных металлических или пластиковых контейнерах, установленных на площадке с водонепроницаемым покрытием. Периодичность вывоза ТКО определяется потребностью предприятия, но реже 1 раза в неделю.

Сбор отходов бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства производится в каждом подразделении ИШЭ в картонные коробки и для дальнейшего накопления транспортируются сотрудниками в специально отведенное место (склад). После формирования партии, отходы передаются в специализированную организацию согласно договору в качестве вторсырья. Допускается накопление отхода не более 11 месяцев с обеспечением правил пожарной безопасности. Запрещается сжигание данного отхода.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновение пожара является основной и наиболее опасной ЧС на рабочем месте исследователя. Причинами возникновения пожара в кабинете могут быть: несоблюдение правил эксплуатации электроустановок и электросети; перегрев мест соединений токоведущих частей в результате

образования высокого переходного сопротивления; несоблюдение правил пожарной безопасности.

Мероприятия по предотвращению пожара в помещениях разрабатываются на основании требований ПП РФ № 390:

- организационные: проведение инструктажей, бесед, лекций по пожарной безопасности(ПБ);
- эксплуатационные: постоянный контроль правильности эксплуатации оборудования, аппаратуры, содержание зданий в состоянии ПБ;
- технические: соблюдение противопожарных правил при устройстве отопления, вентиляции, установке аппаратуры, применение в конструкциях приборов и устройств быстродействующих средств отключения возможных источников зажигания;
- режимного: запрещение курения в не установленных местах.

Оптимальные условия эвакуации заключаются в правильном расположении и обслуживании эвакуационных выходов. Эвакуационные выходы запрещается загромождать. Двери на путях эвакуации должны открываться по ходу движения потока людей к выходу из здания. Запоры на дверях эвакуационных выходов должны обеспечивать возможность их свободного открывания изнутри без ключа. Эвакуационное освещение должно включаться автоматически при прекращении электропитания рабочего освещения. План эвакуации должен находиться в каждой аудитории на каждом этаже лестничной клетки.



Рисунок 5.4 – План эвакуации 4 этажа 4 корпуса ТПУ.

Действия сотрудника при возникновении пожара:

1. немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону «01» сообщив при этом адрес учебного корпуса, место возникновения, фамилию, имя, отчество, телефон;
2. двигаться к ближайшему запасному выходу согласно плану эвакуации;
3. ориентироваться по лампам аварийного освещения при эвакуации (светильникам зеленого цвета) в коридорах и на лестничных клетках;
4. если помещение задымлено, дышать через влажный носовой платок;
5. сохранять спокойствие;
6. выйти из здания и удалиться от него на безопасное расстояние.

Для тушения пожара и воспламенения горючих веществ (ГВ) следует пользоваться: при воспламенении ГВ, смешивающихся с водой – любыми огнетушителями, струей воды, песком, асбестовым или брезентовым покрывалом; при воспламенении ГВ, не смешивающихся с водой – углекислотными или порошковыми огнетушителями, песком.

Выводы по разделу

Полученные результаты раздела «Социальная ответственность» содержат в себе основные рекомендации и указания, которые следует выполнять при реализации экспериментального исследования для снижения уровня воздействия вредных факторов, исключения несчастных случаев. Выяснен характер воздействия исследования на окружающую среду и предложены решения по его снижению.

Выявлен наиболее вероятный вид чрезвычайной ситуации, разработаны превентивные меры по предупреждению ее возникновения, а также порядок действия в результате возникновения ЧС и меры по ликвидации её последствий.

Практическая значимость данного раздела состоит в обеспечении эффективной, надежной и безопасной работы исследователя в условиях стабильной и изменяющейся окружающей среды, включая экстремальные ситуации.

Заключение

Проведено численное исследование влияния конденсации пара в конструкции геотермальной скважины на снижение теплопритоков в рассматриваемой системе.

Выявлено, что конденсация пара в конструкции геотермальной скважины приводит к снижению теплопритоков к ней на 4.55–31.19 %.

Показано, что применение даже сравнительно простых моделей теплопереноса (задача (1)–(8)) позволяет прогнозировать изменение теплопритоков к геотермальной скважине в условиях конденсации пара в ее конструкции.

Разработаны разделы «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность». В разделе «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения, составлена смета затрат на проект, составлена смета затрат на оборудование и оплату труда исследователей для реализации проекта. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрен компьютерный кабинет на предмет возникновения вредных и опасных факторов.

Список использованных источников

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. - М.: Физматлит, 2008. - 376 с.
2. Вазетдинова, Г. И. Перспективы использования геотермальной энергетики в России / Г. И. Вазетдинова, Т. А. Иванова // Новые технологии топливно-энергетического комплекса-2012, материалы региональной научно-практической конференции. – 2012. – С. 96-100.
3. Синюрин, А. А. Перспективы и актуальные проблемы развития альтернативной энергетики в России и мире / А. А. Синюрин, Д. Е. Сытник. – Текст : электронный // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2011. – №2 (7) – С. 85-108 (дата обращения: 02.05.2022).
4. Geothermal energy. – Текст : электронный // International Renewable Energy Agency (IRENA): official site. – URL: <https://www.irena.org/geothermal> (дата обращения: 02.05.2022).
5. Renewable capacity statistics 2020. – Текст : электронный // International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi, 2020. – ISBN 978-92-9260-239-0 – С.66. – URL: https://www.irena.org//media/files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf (дата обращения: 02.05.2022).
6. Котеленко, С. В. Геотермальные ресурсы и геотермальные электростанции / С. В. Котеленко, Ю. Р. Сабирова. – Текст : электронный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №11 – С. 220-225 (дата обращения: 03.05.2022).
7. Сапрыкина Н.Ю. Совершенствование методики прогнозирования температурных режимов природного массива вокруг низкопотенциальной геотермальной скважины / Н.Ю. Сапрыкина, П.В. Яковлев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – №3 (16). – С. 16-25.

8. Сапрыкина Н.Ю. Моделирование температурного поля грунта при многолетней эксплуатации низкопотенциальных геотермальных скважин / Н.Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Сборник трудов Шестого Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально-одаренной молодежи развитию науки и образования» (25-28 апреля 2017 г., Астрахань) // Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ». – 2017. – С. 29-33.
9. Al-Ajmi, F. The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate / F. Al-Ajmi, D.L. Loveday, V.I. Hanby // Building and Environment, 41, 2006. – p. 235-244.
10. Changsheng, G. Numerical methods for temperature field about random heat source model of ground source heat pump / G. Changsheng, Y. Shaopan // American Journal of Industrial Engineering. – 2013. – V 1, No. 2. p. 20-27.
11. Алхасов, А. Б. Процессы тепломассопереноса в геотермальном пласте и скважине при извлечении пароводяной смеси / А. Б. Алхасов, Н. С. Булгакова, М. М. Рамазанов // Фундаментальные и прикладные проблемы математики, информатики в современной науке: теория и практика актуальных исследований : сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию Магомедову М-К.М., Махачкала, 19–21 октября 2016 года / Дагестанский государственный технический университет. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2016. – С. 142-146.
12. Ричардсон К.Н., Цыпкин Г.Г. Нелинейные явления при извлечении смеси вода-пар из геотермального резервуара // ИФЖ. 2004. Т. 77. №2. С. 24-30.
13. Амерханов Р.А. Моделирование Тепломассообменных процессов в геотермальной скважине / Р.А. Амерханов, А.С. Кириченко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – №4 (84). – С. 41-43.

14. Щербуль, З. З. Влияние эксплуатации геотермальной скважины на теплообмен в деятельном слое почвы / З. З. Щербуль // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 66. – С. 337-342.
15. Щербуль З.З. Влияние эксплуатации геотермальной скважины на активизацию теплообмена в приповерхностном слое Земли // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов // – 2015. – №5. – С. 20-25.
16. Васянович Ю.А., Шулюпин А.Н., Варламова Н.Н. Оценка предельного пластового давления для парлифтной добычи флюида на Мутновском геотермальном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – S30. – С. 25–32.
17. Пашкевич Р.И. Научно-техническое обоснование рациональных параметров теплопереноса и фильтрации двухфазного теплоносителя при освоении геотермальных месторождений Камчатки: автореф. дис. д-ра техн.наук. –Хабаровск, 2009. – 39 с.
18. Кирюхин А.В., Сугробов В.М. Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 6. – С. 50–65.
19. Поляков А.Ю. Анализ условий водного и газового питания Мутновского геотермального резервуара (Камчатка): автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2018. – 24 с.
20. Mubarok M.H., Zarrouk S.J. Discharge stimulation of geothermal wells: overview and analysis // Geothermics. – 2017. – V. 70. – P. 17-37.
21. Мироненко В.В. Динамика подземных вод – М.: Горная Книга, 2009. – 519 с.
22. Fengyan Z., Lixin L. Study on Thermal Conductivity of Thermal Insulation Cement in Geothermal Well [Electronic resource]. – URL:

- <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2022.784245/full> (date of treatment: 07.05.2022)
23. Cui, Y.; Zhu, J.; Twaha, S.; Riffat, S. A comprehensive review on 2D and 3D models of vertical ground heat exchangers. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 94, 84–114.
 24. Hou, G.; Taherian, H.; Li, L. A predictive TRNSYS model for long-term operation of a hybrid ground source heat pump system with innovative horizontal buried pipe type. *Renew. Energy* 2019, 151, 1046–1054.
 25. Xia, L.; Zhang, Y. An overview of world geothermal power generation and a case study on China – There source and market perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 112, 411–423.
 26. Moya, D.; Aldás, C.; Kaparaju, P. Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 94, 889–901.
 27. Liu Z, Hou G, Song Y, Taherian H, Qi S. The Impact of Soil Hydrothermal Properties on Geothermal Power Generation (GPG): Modeling and Analysis. // *Energies*. – 2022. – No 15 (2).
 28. Ваганова, Н. А. Моделирование технологических параметров для оптимального проектирования и эксплуатации геотермальных станций / Н. А. Ваганова, М. Ю. Кузнецова, В. В. Кузнецов, В. В. Филимонов // *Актуальные проблемы математики, механики, информатики: Материалы конференции молодых ученых, Ижевск, 01-03 марта 2018 года.* - Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук", 2018. - С. 41-50.
 29. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр // *СПб.: Научно-технические технологии*, – 2020. – 435 с.
 30. Половников В.Ю., Губина Е.В. Тепломассоперенос в увлажненной тепловой изоляции теплопроводов, работающих в условиях затопления

// Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87. – № 5. – С. 1106–1112.

31. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
32. ОКОФ 330.28.23.23 «Машины офисные и проч.»
33. Положение по бухгалтерскому учету "Учет основных средств" ПБУ 6/01
34. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;
35. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020);
36. Конституция Российской Федерации (с изменениями на 14 марта 2020 года);
37. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»;
38. N52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
39. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*;
40. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
41. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
42. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих;
43. ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;

44. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;
45. МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»;
46. ПП РФ № 390.
47. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.

Приложение I
(справочное)

Numerical simulation of heat transfer in a geothermal well structure

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шелемехова Софья Дмитриевна		

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гончарова Л.А.	к.п.н.		

Introduction

Today, traditional non-renewable fuels such as coal, oil and natural gas estimate about 80% of all energy production. The uneven distribution of these fuels, as well as the rapid decline in their reserves is one of the reasons for the crisis phenomena in the world economy. The transition to renewable energy sources is an inevitable measure to support the world economy. One type of renewable energy is geothermal energy. Compared to such types of renewable sources as the sun and wind that we are accustomed to, geothermal energy is characterized by a constant energy potential in time, which is its incomparable advantage [1].

The need to develop renewable energy sources (RES) arises nowadays due to the depletion of fossil energy resources. One of the promising directions in solving this problem is the use of ground heat for heating and electricity supply. Geothermal energy is an almost inexhaustible resource. In the upper three-kilometers layer of the earth alone there is more than 1,020 J of heat available for electricity generation, which far exceeds the amount of energy consumed on the planet [2].

Geothermal energy can be generated almost anywhere on earth, but it is not equally feasible to use this energy resource everywhere. It is most advantageous to locate geothermal plants in areas where geothermal water and steam are almost at the surface. Such areas are located in different parts of the world, mainly in areas with seismic and volcanic activity, and can be used as a primary or supplementary energy resource [3].

Geothermal energy is currently most widespread in Iceland, El Salvador, New Zealand, Kenya and the Philippines [4], due to the availability of this type of energy in these countries due to their location in seismically active zones. The leading countries in geothermal energy generation are the United States, Indonesia, the Philippines, Turkey, New Zealand, Mexico, Kenya, Italy, Iceland and Japan. As of 2019, the total energy capacity of geothermal plants is 13.9 GW, with an average annual increase of 440 MW since 2010.

The interest in this energy resource is due to its undeniable advantages compared to other energy sources:

- 1) the operation of geothermal plants is stable and does not depend on weather conditions, the change of day and night or time of year;
- 2) the stations can be operated autonomously (an external energy source is only required for the first pump start);
- 3) geothermal plants located on the shores of seas or oceans can be used for desalination.

In addition to its many advantages, this type of energy also has disadvantages:

- 1) high initial costs for the design and construction of the plant;
- 2) dependence on vapor and water outlets closer to the ground;
- 3) combustible and toxic gases contained in the earth's crust can be released through the well;
- 4) station stoppages due to changes in the Earth's crust [6].

In October 2020, Rystad Energy, an independent energy research and business intelligence company, published a forecast for global geothermal energy, according to which capacity growth will only continue to increase over the next five years. One of the reasons for this will be the accelerating energy transition to alternative energy sources.

The physical and hydraulic processes occurring in the groundwater mass, during the operation of a geothermal well, significantly influence the formation of the temperature field around it, and the low-potential collection system as a whole.

The groundmass is a complex "research material". Its behavior is determined by the course of many parallel processes of different nature. In order to shape the investigations during the multi-year well operation, the knowledge, concepts and methods of various engineering disciplines (theory of elasticity, plasticity, creep, fracture mechanics and filtration) are used.

Typically, a groundmass is a three-component system and includes solid mineral particles, water in various forms and states and gaseous inclusions. All

these components of the soil are in complex interaction, which leads to the complexity of investigations. The most widespread research method is mathematical modeling [6].

The development of computational models for heat and mass transfer in the soil during the operation of a geothermal heat exchanger is gaining increasing scientific and applied importance in engineering practice. This method makes it possible to investigate the dynamic characteristics of the system and to obtain them much faster and at a lower cost than experimentally.

Relevance of the work: experience in well operation shows that during the first five years their economic performance decreases as the ground temperature field changes. Design of geothermal boreholes is most often reduced to solution of non-steady thermal conductivity problem. The developed mathematical model allows the influence of condensation on the energy efficiency of the borehole to be taken into account.

The aim of the work is to assess the effect of condensation in a typical geothermal borehole structure on changes in the heat fluxes to the borehole.

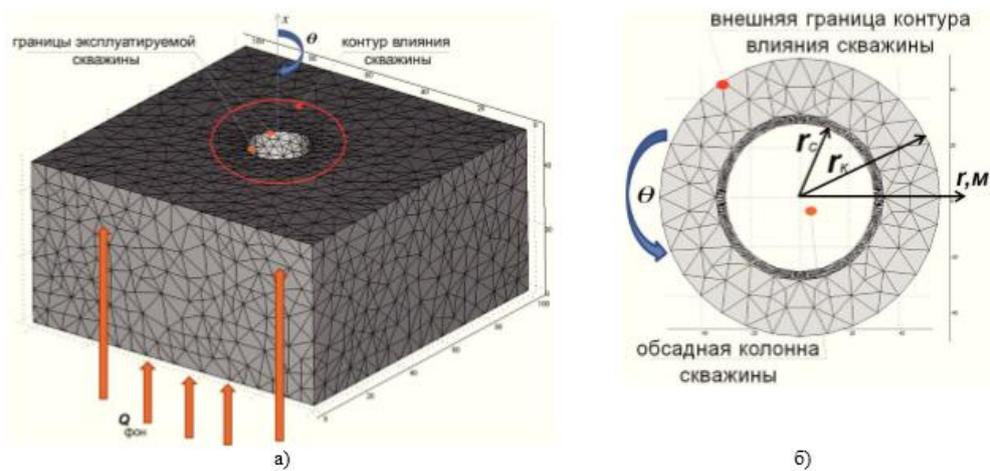
Objectives:

1. Determine the geometric dimensions for the study area and create its geometric model;
2. Search for the thermophysical characteristics required to build the model;
3. Collection of experimental data without and including condensation in the geothermal borehole structure.

1. Research of the geothermal well exploitation

Yakovlev P.V. and Saprykina N.Yu. with the help of their study [7] obtained criterial equations, which can be used to refine the calculation of technical and economic indicators, considering the duration and mode of operation of a geothermal well.

A numerical simulation of the heat transfer was used in the study. The model of the borehole in the ground is taken as a cylindrical body consisting of several contours. The calculation of the formation temperature field was reduced to solving the problem of unsteady heat conduction.



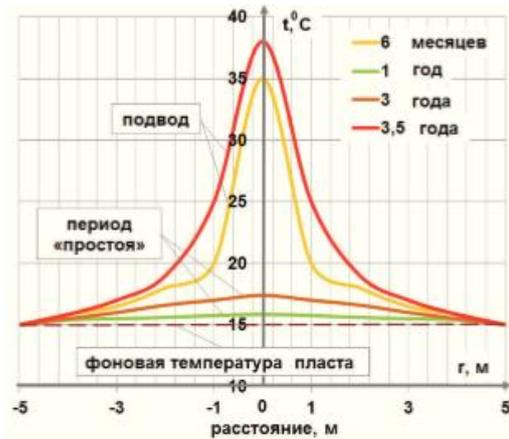
Pic. 1 – Calculation model of a geothermal well: a) general view; b) top view.

The initial conditions for calculating the temperature of each of the equipment cycles were determined by the generated temperature field after the previous cycles.

The switching periods of the heat pump are determined by the calculation conditions, based on the time of the year. Quasi-stationary mode is reached within 5 years, which is confirmed by the operating parameters in the operating systems [8-10].

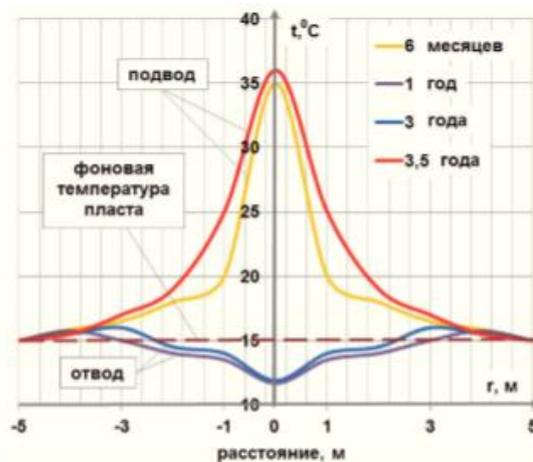
For clarity, graphs were plotted of the reservoir temperature change near the geothermal well at the end of the heat supply and heat pump shutdown phases. After 6 months of heat pump operation, an elevated temperature zone has formed around the well. In the next 6 months, after the pump has stopped operating, the

temperature approaches the background values. Subsequent cycles of heat input, characterized by a gradual rise in temperature to a quasi-stationary state, after which it ends.



Pic. 2 – Graphs of reservoir temperature change over time during cyclic operation of the heat pump without changing the direction of heat flow.

The following graph shows the change in temperature fields under conditions of changing heat flow direction.



Pic. 3 – Graphs of reservoir temperature change over time during cyclic operation of the heat pump with a change in the direction of heat flow.

After processing the obtained results, the temperature change patterns correlating with the features of nonstationary heat exchange were revealed, and the increase in the heat flux density, leads to an increase in the formation temperature. The regularities of temperature changes in conditions of nonstationary heat exchange are revealed. Due to the change in the direction of heat flow, switching

the operation mode from heating to conditioning changes the temperature regime of the reservoir. In this case, there is a regeneration of heat by alternate heating and cooling of the reservoir.

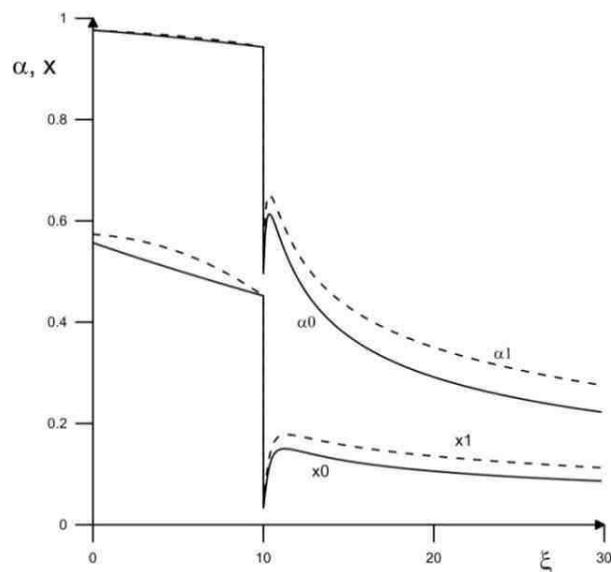
The conclusion made based on the results of the study, allowed us to believe that under conditions of regeneration, the annual drop in ground temperature will gradually fall. This shows that it is possible to compensate for the heat load.

Based on this, an equation has been proposed to account for the effects of heat regeneration.

The resulting equations allow the calculation of technical and economic indicators to be refined, taking into account the length of time the geothermal well has been in operation and its operating mode.

In [11] *Alkhasov A.B., Bulgakova N.S. and Ramazanov M.M.* consider heat and mass transfer processes when extracting coolant from geothermal reservoir, saturated with steam-water mixture, taking into account heat exchange with surrounding rocks. Numerical method is used to solve a coupled problem in the reservoir around the producing well and in the wellbore itself.

The problem was solved by the numerical difference method. The reservoir calculations were carried out for a relative phase permeability function of the simplest form.



Pic. 4 – Distribution of volumetric vapor content and flowing mass vapor content in the well and reservoir, taking into account without considering the heat exchange with the surrounding rocks.

Based on the data obtained, it was found that the true volumetric vapor saturation has a sharp maximum near the well. As the permeability increases, the indicated maximum increases. A similar result was shown earlier in [12], but for planar and radially symmetric problems. In areas of increased vapor saturation, one should expect the possibility of salts precipitating, which worsens permeability of formation in this zone.

It is noted that the pressure drop at the bottom of the well as a result of its operation has led to a temperature drop, and this in turn leads to the formation of a thermal boundary layer during intensive extraction of coolant, so a significant part of heat passes from the formation to the well by heat conduction, which leads to additional steam formation in the borehole bottom and, accordingly, to a jump increase in mass flow rate of the steam content.

Based on the results obtained, the qualitative nature of the effect of reservoir and borehole heat exchange with impermeable rocks on the structure of the thermomechanical fields was revealed.

Mathematical model of hydrodynamics and processes of heat exchange in geothermal water well and in ground mass is given in *Amerkhanov R.A. and Kirichenko A.S.* [13]. The thermophysical model of the dynamics of coolant movement in the borehole and the processes of heat conduction in the strata are considered.

In this paper we propose numerical simulation of this problem with the help of software package "Phoenix". Thermophysical model of dynamics of coolant (thermal water) movement in a borehole and heat conduction processes in strata (rock mass, aquifer) is described by the system of equations. An underground reservoir is a porous layer, surrounded from below and above by two endless parallel, horizontally arranged impermeable rock masses. Porous medium is a system of solid particles with voids and pores between them. Two wells are

embedded in the ground stratum: one well is for water intake and lifting, the second well is for returning and pressurizing the waste water back into the stratum.

The following heat transfer mechanisms operate in the underground collector: convection (forced and natural) in the filtered liquid flow; convective heat transfer at the particle-liquid and rock-liquid interfaces; heat conduction in the particle volume; heat conduction in the infinite rock mass; contact heat transfer between particles; heat conduction in the liquid flow and heat transfer due to self-diffusion effects of cold liquid into heated liquid.

The methods of mathematical modeling outlined in the article help researchers to determine the laws of hydrodynamic processes in heat and mass exchange and filtration when using water from geothermal sources, which in turn simplifies the solution of engineering problems when using geothermal sources for heat supply systems.

Shcherbul Z.Z. in his article [14] considered the problem of occurrence of local temperature anomalies associated with the operation of geothermal wells, and their impact on heat exchange in the surface layer of the Earth.

In order to assess what effect local temperature anomalies have, a transect model was considered for the surface part of the strata containing groundwater.

Having data on the annual average daily air, surface and soil temperatures at different depths, the temperature field recorded at the start of the calculation is taken as the initial temperature field. Observations of annual temperature fluctuations make it possible to calculate thermal diffusivity coefficients for dry soil. An explicit scheme was used to solve the problem numerically.

The results of the calculations show that, after one year of operation, in winter time an area of about 200 m² around the well will already be unfrozen and the groundwater temperature will exceed 40 degrees Celsius. The presence of a water-saturated layer, in the absence of a convective component, does not significantly affect the changed temperature field as a result of operation.

When analyzing the ratios of maximum monthly amplitudes to mean monthly temperatures at depths, we can see that the maximums on the dependence

plots for initial values and calculated values are reached in similar months, with ratio values decreasing by times.

The authors concluded that:

- 1) operation of geothermal well has already led to a decrease in fluctuation amplitudes of annual temperatures in the active soil layer;
- 2) comparison of solutions of similar problems of heat transfer for homogeneous dry rock [15] and for a water-saturated layer, demonstrates that the altered temperature field as a result of operation, the presence of groundwater of insignificant thickness has almost no effect.

There are known studies indicating earlier (than design) decommissioning of geothermal wells associated with coolant re-injection. For example, works by *Shulyupin A.N., Lyubin A.A., Chernev I.I.* [16], where the efficiency of parliphatic production of coolant is evaluated during transition to development of deep horizons.

As a characteristic of lifting capacity of the Parlift, it is proposed to use the maximum reservoir pressure corresponding to the value below which the Parlift will not be able to lift the deep fluid to the surface, i.e. the well in principle cannot operate on self- extraction at the expense of the Parlift. Based on this, the maximum underbalance in the reservoir that can be provided by a parlift is proposed to characterize the effectiveness of parlift production. This value is defined as the difference between the reservoir pressure the feed level in the undisturbed state (before operation) and the ultimate reservoir pressure. Consequently, this value defines the principal limit for reservoir pressure reduction during operation. Besides, since underbalanced reservoir created at well bottom hole is directly connected to produced fluid flow rate, the proposed value can be used to estimate maximal flow rate, which can be achieved by parliithic production under given conditions. In this case, the maximum flow rate should not be understood as the flow rate of a single well, which has a limited capacity, but rather as the flow rate that can be achieved by a group of underbalanced wells in the reservoir.

The field is currently being developed with wells up to 2 km deep, penetrating productive zones in a range of depths from 1 to 2 km.

A significant problem in field development is the drop in reservoir pressure below the limits for sustained parlift operation, which leads to production wells being squeezed and taken out of service.

There are different opinions concerning temperature and, consequently, enthalpy of fluid at the considered depths, based on the results of mathematical modeling of geothermal reservoir - temperature increase [17, 18], temperature decrease [19]. Also, there is a misconception that small borehole diameter is one of the reasons of its impossibility in parlift mode [20].

Note that the results of mathematical modeling are related to the quality and quantity of raw data. The authors of this paper have a complete set of field survey data, unlike the authors of the above papers who had limited access to such data. In the absence of direct measurements of temperatures at the depths in question, the current state of research indicates that no decrease in temperature with depth should be expected.

According to the classical concepts of groundwater dynamics [21], doubling the underbalance under steady-state filtration conditions doubles the extraction rate. Nevertheless, it can be unequivocally stated that the transition to the development of horizons up to 3 km can significantly increase the efficiency of par-lift production, which will increase both the volume of production and the life of the field.

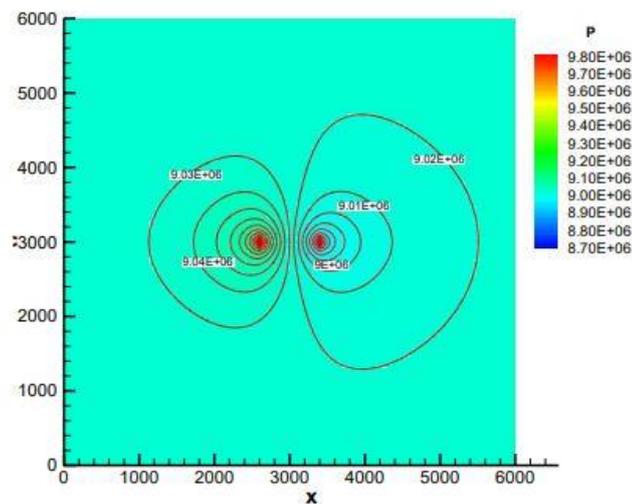
When considering the development of deep geothermal reservoirs, an important aspect to bear in mind is that geothermal resources are determined not only by the energy of the underlying fluids but also by the energy of the host rocks. Increasing the depth of extraction wells helps to bring more of the rock mass into the resource being exploited.

When building a mathematical model, the authors [22] assumed that the considered geothermal system consists of two wells: injection well with water temperature and production well. Heat transfer in such system was carried out in

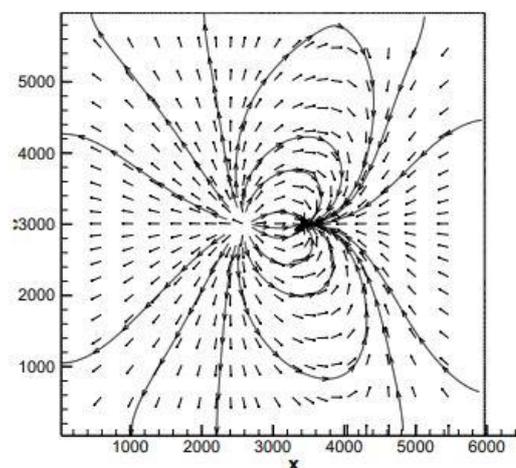
two ways: convective and diffusive. To describe the convective method and choose a mathematical model, the equation of motion of fluid in porous soil was considered.

Since pores have different directions, it means that in each allocated volume there should also be different in direction velocities. In filtration theory, it is customary to consider not velocity, but flow rate through a certain area.

At first, the pressure was found by establishing method, and then the velocity field in the productive layer. The results of such calculations for one of typical variants are shown in pic. 5 and pic. 6.



Pic. 5 – Pressure field in the productive layer after 5 years of well operation.



Pic. 6 – Velocity field in the pay zone after 5 years of well operation.

The developed models and algorithms allow modeling distribution of the cold-water front in the productive stratum under different parameters of the MCS and selecting optimal parameters, which allow prolonging the operating time of the MCS.

References

1. Alkhasov A.B. Geothermal Energy: Problems, Resources, Technologies. - Moscow: Fizmatlit, 2008. - 376 c.
2. Vazetdinova G.I. Prospects for geothermal energy in Russia / G.I. Vazetdinova, T.A. Ivanova // New technologies of fuel and energy complex-2012, materials of the regional scientific-practical conference. - 2012. - C. 96-100.
3. Sinyurin, A. A. Prospects and current problems of alternative energy in Russia and in the world / A. A. Sinyurin, D. E. Sytnik. - Text : electronic // Innovatics and Expertise: scientific works. - 2011. - No. 2 (7) - P. 85-108 (date of reference: 02.05.2022).
4. Geothermal energy. - Text : electronic // International Renewable Energy Agency (IRENA): official site. - URL: <https://www.irena.org/geothermal> (date of reference: 02.05.2022).
5. Renewable capacity statistics 2020. - Text : electronic // International Renewable Energy Agency (IRENA). - Abu Dhabi, 2020. - ISBN 978-92-9260-239-0 - P.66. - URL: https://www.irena.org/media/files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf (accessed 02.05.2022).
6. Kotelenko, S. V. Geothermal resources and geothermal power plants / S. V. Kotelenko, Y. R. Sabirova. - Text : electronic // Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. - 2019. - No. 11 - P. 220-225 (date of reference: 03.05.2022).
7. Saprykina N.Y. Improvement of the method of predicting temperature regimes of natural massif around low-potential geothermal well / N.Y. Saprykina, P.V. Yakovlev // Urban Planning. Infrastructure. Communications. - 2019. - №3 (16). - C. 16-25.
8. Saprykina N.Y. Modeling of the temperature field of the ground during long-term operation of low-potential geothermal wells / N.Y. Saprykina, P.V. Yakovlev // Proceedings of the Sixth International Scientific Forum of

- young scientists, students and schoolchildren "Potential of intellectually gifted youth to develop science and education" (April 25-28, 2017, Astrakhan) // Astrakhan: AGASU. - 2017. - C. 29-33.
9. Al-Ajmi, F. The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate / F. Al-Ajmi, D.L. Loveday, V.I. Hanby // *Building and Environment*, 41, 2006. - p. 235-244.
 10. Changsheng, G. Numerical methods for temperature field about random heat source model of ground source heat pump / G. Changsheng, Y. Shaopan // *American Journal of Industrial Engineering*. - 2013. - V 1, No. 2. p. 20-27.
 11. Alkhasov A. B. Processes of heat and mass transfer in geothermal reservoir and well during steam-water mixture extraction / A. B. Alkhasov, N. S. Bulgakova, M. M. Ramazanov // *Fundamental and applied problems of mathematics, computer science in modern science: theory and practice of current research : collection of materials of All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 80th anniversary of Magomedov M.K, Makhachkala, October 19-21, 2016 / Dagestan State Technical University*. - Makhachkala: Dagestan State Technical University, 2016. - C. 142-146.
 12. Richardson K.N., Tsypkin G.G. Nonlinear phenomena in the extraction of water-vapor mixture from a geothermal reservoir // *IPJ*. 2004. T. 77. №2. C. 24-30.
 13. Amerkhanov R.A. Modeling of Heat and Mass Exchange Processes in Geothermal Well / R.A. Amerkhanov, A.S. Kirichenko // *Energy Saving and Water Treatment*. - 2013. - №4 (84). - C. 41-43.
 14. Shcherbul, Z. Z. Effect of operation of a geothermal well on heat exchange in the active soil layer / Z. Z. Shcherbul // *Proceedings of the Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, RAS*. - 2016. - № 66. - C. 337-342.
 15. Shcherbul Z.Z. Influence of operation of a geothermal well on activation of heat exchange in the near-surface layer of the Earth // *Renewable Energy: Problems and Prospects. Actual problems of renewable energy resources development* // - 2015. - №5. - C. 20-25.

16. Vasyanovich Y.A., Shulyupin A.N., Varlamova N.N. Estimation of the limiting reservoir pressure for parliptic production of fluid in the Mutnovsky geothermal field // Mountain Information and Analytical Bulletin. - 2019. - S30. - C. 25-32.
17. Pashkevich R.I. Scientific and technical substantiation of rational parameters of heat transfer and filtration of two-phase Heat-carrier during the development of the geothermal deposits Kamchatka: Abstract of Dr. Sci. -D. in Technical Sciences. - 39 c.
18. Kiryukhin A.V., Sugrobov V.M. Geothermal resources of Kamchatka and immediate prospects of their development and seismology. - 2019. - № 6. - C. 50-65.
19. Polyakov A.Yu. Analysis of water and gas supply conditions Mutnovsky geothermal reservoir (Kamchatka): Ph. - St. Petersburg, 2018. - 24 c.
20. Mubarok M.H., Zarrouk S.J. Discharge stimulation of geothermal wells: overview and analysis // Geothermics. - 2017. - V. 70. - P. 17-37.
21. Mironenko V.V. Dynamics of Groundwater - Moscow: Gornaya Kniga, 2009. - 519 c.
22. Vaganova, N. A. Modeling of technological parameters for optimal design and operation of geothermal stations / N. A. Vaganova, M. Yu. Filimonov // Actual problems of mathematics, mechanics, informatics: Proceedings of the Conference of Young Scientists, Izhevsk, 01-03 March 2018. - Izhevsk: Federal state budgetary institution of science "Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", 2018. - C. 41-50.