

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

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процессов тепло- и массопереноса при скважинной системе съема петротермальной тепловой энергии

УДК 622.322:620.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Барило А. С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ТПТ	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент/ ст. преподаватель	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i>

	знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

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

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ

Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТПТ

(Подпись) (Дата) Кузнецов Г.В.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группы	ФИО
5Б2Б	Барило А. С.

Тема работы:

**Исследование процессов тепло- и массопереноса при скважинной системе
съема петротермальной тепловой энергии**

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

№ 2540/с от 01.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Объект исследования: односкважинный
теплообменник открытого типа

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Обзор литературы, физическое и математическое описание объекта исследования, моделирование процесса теплообмена, построение графических зависимостей на основе данных программы, анализ полученных результатов
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	15 слайдов
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основной раздел	Борисов Б.В., проф. каф. ТПТ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н., доцент каф. менеджмента
Социальная ответственность	Дашковский А.Г., доцент каф. экологии и БЖД
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.02.2016 г.
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ТПТ	Борисов Б.В.	д.ф.-м.н., профессор		25.02.2016 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Барило Анастасия Сергеевна		25.02.2016 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 52 с., 9 рис., 7 табл., 24 источника.

Ключевые слова: математическое моделирование, петротермальная энергия, теплообмен, односкважинная система, твёрдые породы

Объектом исследования является односкважинный теплообменник открытого типа

Цель работы – исследование процесса теплообмена между теплоносителем и окружающими горячими породами в односкважинном теплообменнике открытого типа

В процессе исследования проводились моделирование процесса теплообмена, изучение зависимостей величин температур теплоносителя и окружающих пород от заданных начальных параметров

В результате исследования было получено распределение температур в массиве пород по глубине скважины и описаны зависимости температур теплоносителя на выходе из теплообменника от его начальных параметров

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: двумерная математическая модель выполненная в среде программирования Pascal ABC

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс

Область применения: конструирование односкважинных систем добычи петротермальной тепловой энергии

Экономическая эффективность/значимость работы созданная программа позволит выбрать наиболее оптимальные параметры теплоносителя для эффективной работы системы съёма глубинной тепловой энергии

В будущем планируется усовершенствование программы с целью более точного и полного описания процесса теплообмена .

Оглавление

Введение.....	8
ГЛАВА 1 ОСВОЕНИЕ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПЕТРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ	9
1.1 Освоение петротермальной энергии	9
1.2 Характеристики теплового состояния петротермальных источников	16
ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ОДНОСКВАЖИННОЙ СИСТЕМЕ СЪЁМА ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	22
2.1 Физическая постановка задачи	22
2.2 Математическая постановка.....	24
ГЛАВА 3 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Результаты проведённого исследования.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Анализ полученных результатов	Ошибка! Закладка не определена.
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	27
4.1 Хозяйственные цели проекта	27
4.2 Преимущества моделирования по сравнению с экспериментальным исследованием.....	27
4.3 Календарный план-график выполнения исследовательской работы	27
4.4 Бюджетный план	29
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Профессиональная социальная безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Шум и вибрация в помещении.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Состояние воздушной среды.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Пожароопасность	Ошибка! Закладка не определена.
5.6 Освещенность	Ошибка! Закладка не определена.
5.7 Экологическая безопасность проекта	Ошибка! Закладка не определена.
5.8 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.9 Законодательное регулирование проектных решений	Ошибка! Закладка не определена.
5.10 Расчёт искусственного освещения рабочего помещения	Ошибка! Закладка не определена.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

В связи с растущими потребностями в электро- и теплоснабжении стран процесс использования невозобновляемых источников энергии происходит быстрыми темпами.

Истощение природных топливных запасов и связанные с их эксплуатацией вредные выбросы представляют проблему. В этой ситуации альтернативные энергоисточники выступают выгодным аналогом.

Помимо сокращения затрат и повышенной экологической безопасности, связанных с использованием нетрадиционных ресурсов, в качестве преимущества можно отметить повышение степени автономности систем жизнеобеспечения.

В настоящее время имеет место совместное применение «страых» и «новых» источников энергии.

Распространёнными и наиболее освоенными видами возобновляемых источников являются энергия ветра, энергия солнца, биотопливная энергия, а также геотермальная энергия.

Последнюю можно условно разделить на гидротермальную энергию (энергия подземных вод) и петротермальную (тепло сухих твёрдых пород).

Тепло сухих пород составляет 99 % от всего тепла Земли, является повсеместно распространённым и потому представляет большой интерес для энергетики.

ГЛАВА 1 ОСВОЕНИЕ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПЕТРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1 Освоение петротермальной энергии

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме загрязнения окружающей среды. С целью уменьшения выбросов CO₂ и других парниковых газов на мировом уровне был создан "Киотский протокол", подписанный многими стран, в том числе и Россией.

В связи с этим использование возобновляемых источников энергии можно рассматривать как решение проблемы загрязнения, а также сокращения затрат в виду повышения стоимости органического топлива и тарифов на электрическую и тепловую энергию. Сравнение эколого-экономических показателей энергопроизводства представлено в таблице 2 [1].

Среди возобновляемых источников энергии применяемых в нашей стране можно выделить энергию рек, ветра, парогидротермальную энергию и энергию биомассы. Классификация энергетических источников отображена в таблице 1.3 [2].

Сравнение различных энергоисточников по некоторым показателям их эффективности, а также предъявляемые к ним требования приведены в таблице 1.4 [2].

Глубины Земли обладают залежами тепловой энергии, что обусловлено протекающими в них на протяжении миллиардов лет ядерными, гравитационными и другими процессами.

По оценке Д. Уайта из США, общее теплосодержание Земли составляет $1.1 \cdot 10^9$ трлн. т. у. т. Учитывая связь теплоёмкости с давлением и температурой, это значение уменьшится приблизительно вдвое – $4.5 \cdot 10^8$ трлн. т. у. т. [3].

Петротермальная энергия составляет 99 % всего внутриземного тепла и потому является перспективной для освоения.

Однако с технической точки зрения интерес представляет только часть внутриземной энергии, залегающая в верхних 10-12 км земной коры в пределах суши. Доступ к петротермальным ресурсам обеспечивается технологиями глубокого бурения и перспективными технологиями сверхглубокого бурения геотермальных скважин.

Средняя теплоёмкость пород вышеуказанной глубины составляет приблизительно $1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, а средний геотермальный градиент – $20 \text{ мК}/\text{м}$. Тепловой резерв вышеуказанной глубины равносителен энергии, выделяемой при сжигании $34,1 \cdot 10^9$ млрд. т. у. т. [4].

Обобщая всё вышеперечисленное, можно отметить следующие преимущества петротермальной энергетики: повсеместную распространённость, доступность для потребителя, сравнительно низкие финансовые и трудовые вложения при разработке, безопасность в эксплуатации, экологическая чистота.

Как недостатки стоит выделить сравнительно низкий потенциал на глубине до 3 км, отсутствие возможности транспортировки и аккумулирования, а также отсутствие опыта промышленного освоения в России.

Первые упоминания о возможности использования геотермальных ресурсов относятся к 18-му веку, а в 1914 г. К. Э. Циолковский опубликовал

статью о возможности длительного извлечения тепловой энергии из подземных горячих пород за счёт их теплообмена с холодной водой [4].

Первое описание петротермальной циркуляционной системы (ПЦС) получения тепла горячих пород было дано в 1920 г. академиком В. А. Обручевым.

Эффективность работы ПЦС зависит от теплообменной поверхности, создаваемой в зоне отвода тепла. В природе такая поверхность обнаруживается в виде пористых пластов и зон естественной трещиноватости, за счёт своей проницаемости позволяющих осуществить вынужденную фильтрацию теплоносителя, нагреваемого в области этой поверхности и извлечение тепловой энергии горных пород (рисунок 1) [4].

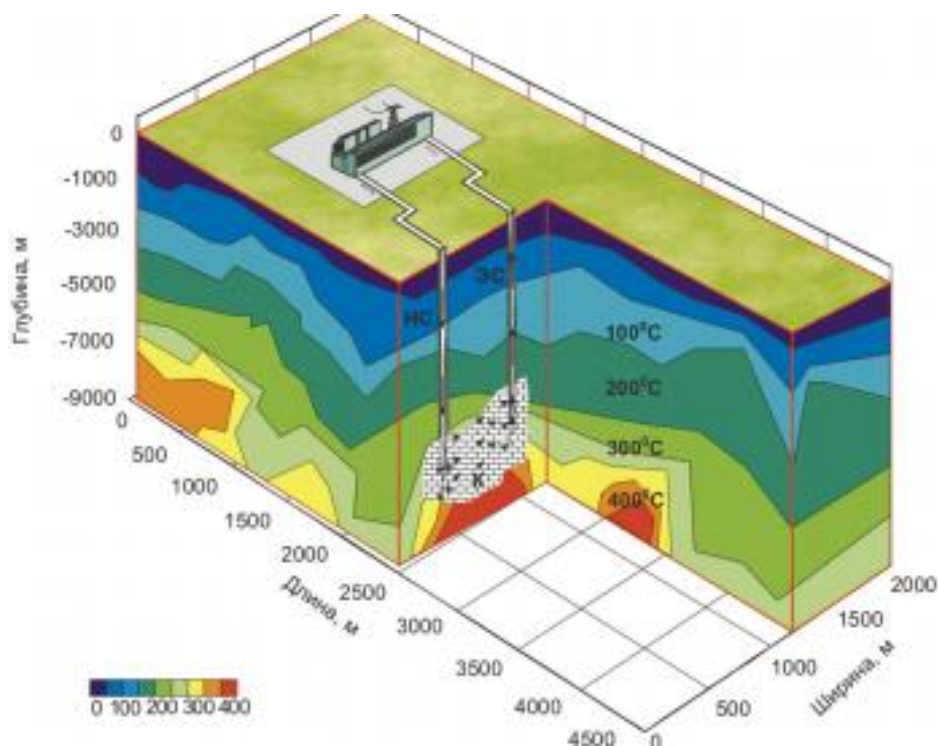


Рисунок 1 – Схема трехмерной модели распределения температур и расположение циркуляционной системы извлечения петротермальной энергии твердых горных пород с естественным проницаемым коллектором. НС – нагнетательная скважина, ЭС – эксплуатационная скважина, К – коллектор

В области с меньшей проницаемостью возможно создание такой поверхности методом гидравлического разрыва (гидроразрыва) (рисунок 2). Известны примеры гидроразрыва с трещинами протяжённостью до 2-3 км [4].

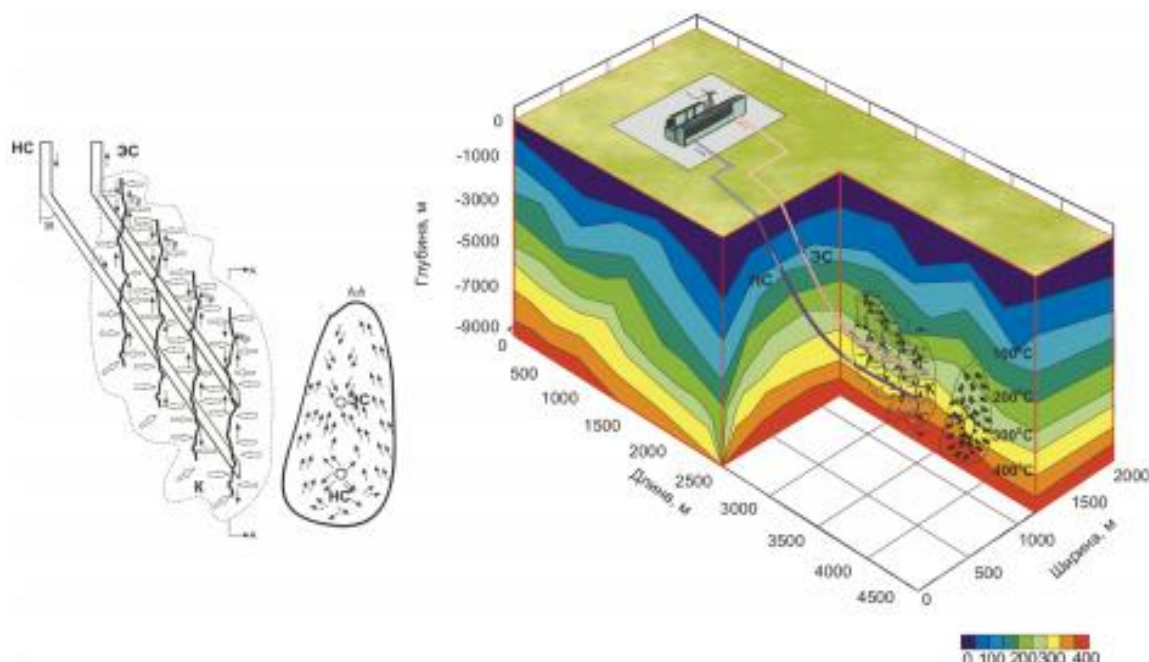


Рисунок 2 – Схема трехмерной модели распределения температур и расположение циркуляционной системы извлечения петротермальной энергии твердых горных пород с искусственным коллектором. НС – нагнетательная скважина, ЭС – эксплуатационная скважина, К – коллектор

Гидроразрыв – это нарушение массива пород с расширением природной трещины, сопровождающееся образованием новых трещин за счёт растягивающих или сдвигающих деформаций, вызванных давлением рабочей жидкости (воды), приложенного к обнажению массива [5].

Существует также способ создания трещины путём ядерного взрыва. Однако такой метод имеет негативные последствия, поскольку в толще пород образуются радиоактивные вещества [6].

Впервые ПЦС добычи тепла для отопления была сконструирована в 1963 г. в Париже. На сегодняшний день во Франции более 60-ти таких систем вырабатывают тепло- и электроэнергию для десятков городов [7].

В США первая ПЦС с применением гидроразрыва была разработана Лос-Аламосской национальной лабораторией и построена в 1977 г. Теперь в этой стране функционирует более 224-х систем петротермального теплоснабжения, а до 2050 г. запланировано создание петротермальных энергоустановок на основе петротермальной энергии общей мощностью до 100 ГВт [7].

В 1983 г. английскими учёными была разработана экспериментальная циркуляционная система с гидроразрывом в Корнуэлле.

Сейчас в Германии, Италии, Франции, Швейцарии, Японии, Китае и других странах реализуются проекты на базе петротермальной технологии под названием HDR (Hot Dry Rock – горячая сухая порода).

В Австралии предполагается использование петротермальных ресурсов для создания электростанции мощностью 1 ГВт [4].

Не так давно в Лабинском районе Краснодарского края была приведена в работу экспериментальная станция мощностью 5 МВт, использующая для отопления и ГВС посёлка Розового геотермальные скважины. На первом этапе к сети были подключены десять жилых домов и два административных здания [8].

Рассмотрим известные методы добычи глубинного тепла Земли.

В настоящее время извлечение петротермальных осуществляется двумя методами: открытым и закрытым.

Односкважинный способ извлечения тепловой энергии (рисунок 3) состоит в следующем: боковая поверхность скважины и внутренней соосной трубы образуют кольцевой зазор, по которому, постепенно нагреваясь движется теплоноситель. Затем горячий теплоноситель поднимается по внутреннему трубопроводу на поверхность.

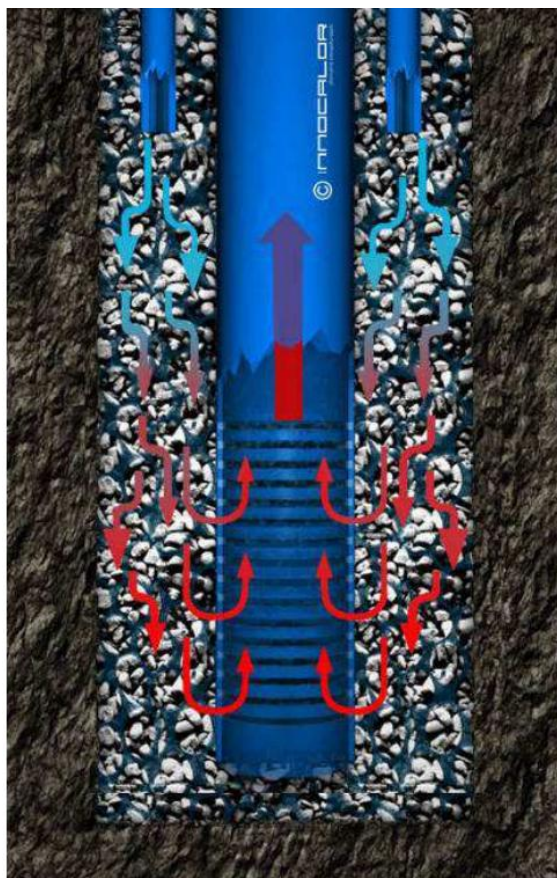


Рисунок 3 – Открытая односкважинная система извлечения глубинной тепловой энергии Земли

Закрытая односкважинная система представляет собой теплообменник типа «труба в трубе», размещенный в скважине (рисунок 4).

Циркуляционные насосы в этом случае служат для подачи тепла наверх. Теплоноситель перемещается по замкнутому контуру, образованному трубным и межтрубным пространством теплообменника [2].

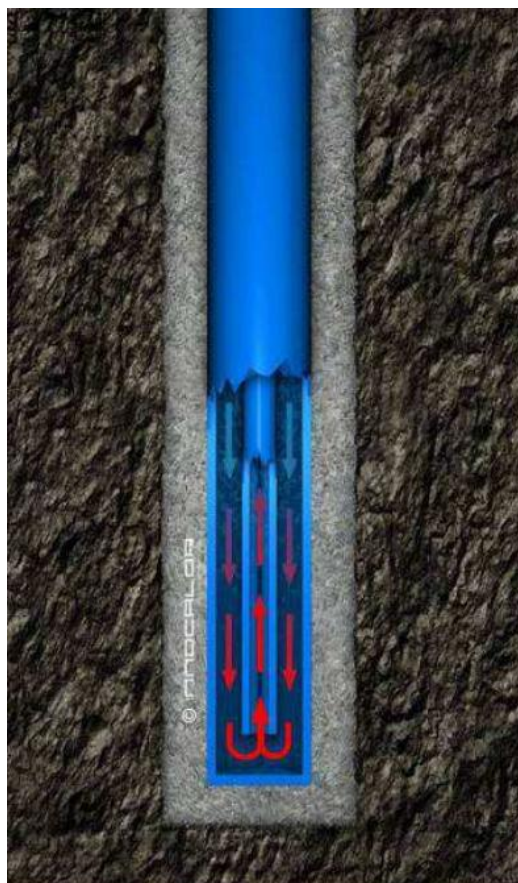


Рисунок 4 – Закрытая однокважинная система съёма и транспортировки петротермальной энергии недр на поверхность

1.2 Характеристики теплового состояния петротермальных источников

Тепловое состояние верхних слоёв земли определяется двумя главными факторами – нисходящим солнечным излучением и радиационным потоком тепла Земли.

Сезонные и суточные колебания интенсивности солнечного излучения и температуры наружного воздуха сказываются на термическом режиме грунта, а также на его физических свойствах. Зона, в которой наблюдается это влияние называется гелиотермозоной [9].

Глубина слоя прохождения суточных отклонений температуры окружающего воздуха и солнечной радиации начинается от нескольких десятков сантиметров и не превышает полутора метров.

Уровень воздействия сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности солнечного потока лежит в пределах от 15 до 20 м [2].

Нейтральным слоем называют слой постоянной температуры. Глубина этого слоя принимается 20-40 м на основе геотермических исследований [6] 9.

Теплопроводность, тепловое сопротивление, теплоёмкость и температуропроводность являются тепловыми характеристиками пород, обуславливающими их тепловую мощность.

Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м · К является коэффициентом пропорциональности в законе Фурье (формула 1)

$$q = -gradT \cdot \lambda, \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, Вт;

$gradT$ — градиент температуры, К/м.

Горные породы состоят из породообразующих минералов с различными физическими свойствами, распределением зёрен, влаги, газов и цемента. Поэтому теплопроводность горных пород одинакового земного слоя может изменяться в некоторых пределах.

Гидрохимические осадки (каменная соль, сильвин, ангидрит) обладают повышенной теплопроводностью.

Графит, железные, полиметаллические и другие руды, содержащие магнетит, гематит, пирит и другие минералы отличаются электронной электропроводностью, таким образом, электронная составляющая теплопроводности достигает значительных величин. Это объясняется тем, что передача тепла электронами происходит быстрее, чем колебаниями атомов в кристаллических решётках.

У асбеста, каменного угля, и пород с ионной электропроводностью отмечается низкая теплопроводность.

Теплопроводность карбонатных, кристаллических и прочих веществ зависит от трещиноватости [10].

Пористость и влажность воздействуют на величину теплопроводности горной породы. Так теплопроводность монолитных и влажных пород выше по сравнению с сухими и пористыми.

Это вызвано наличием в порах пород движущейся жидкости, создающей конвективный теплоперенос в добавлении к кондуктивному.

Величина обратная теплопроводности – тепловое сопротивление, ε , м · К/Вт (формула 2)

$$\varepsilon = 1/\lambda \quad (2)$$

Удельная теплоемкость вещества c , кДж/кг · К выражается формулой (1.3)

$$c = 1/T \cdot (dQ/dT), \quad (3)$$

где dQ – количество тепла, кДж, поведённого к массе вещества m , кг;

dT – нагрев массы вещества °С;

Теплоемкость пород является относительно постоянной величиной и увеличивается по мере нарастания водонасыщенности.

Теплоёмкость магматических и метаморфических пород при нормальных температурах лежит в пределах (0,6 ÷ 0,9) кДж/кг · К, у осадочных – (0,7 ÷ 1) кДж/кг · К, у металлических руд – (0,9 ÷ 1,) кДж/кг · К.

Коэффициент температуропроводности a , м²/с характеризует скорость выравнивания температуры среды при нестационарном процессе и описывается формулой 4 [11].

$$a = \lambda/(c \cdot \rho) \quad (4)$$

На температуропроводность среды влияют параметры:

- плотность – температуропроводность обратнопропорциональна плотности;
 - влажность – температуропроводность возрастает при повышении влажности.
- Этот процесс ограничен некоторой величиной, переступив которую,

температуропроводность снижается, поскольку теплоёмкость пород возрастает при большом значении влажности;

– род жидкости, заключённой в пластах – нефтеносные породы отличаются меньшие значения температуропроводности, чем водоносные. Это связано с тем, что тепловое сопротивление нефти больше чем у воды;

– температура пород – температуропроводность уменьшается с увеличением температуры пород в связи с увеличением их теплового сопротивления и теплоемкости;

– слоистость пород – по направлению пластов (горизонтальному или вертикальному) температуропроводность выше;

– минерализация слоёвых вод – фактически не оказывает влияния на температуропроводность.

Геотермический градиент является главной характеристикой, отображающей тепловое состояние недр. Эта величина выражает увеличение температуры пород с увеличением глубины (формула 5)

$$\Gamma = dT/dH, \quad (5)$$

где dT – изменение температуры слоя земли, К;

dH – изменение глубины слоя, м.

Отрезок земной коры, в пределах которого происходит увеличение температуры на 1 К называется геотермической ступенью. Последняя является обратной величиной геотермического градиента (формула 6)

$$G = 1/\Gamma \quad (6)$$

Геотермические градиенты и геотермические ступени некоторых участков России представлены в таблицах [12].

На рисунке 5 приведена геотермограмма для нескольких глубоких скважин [2].

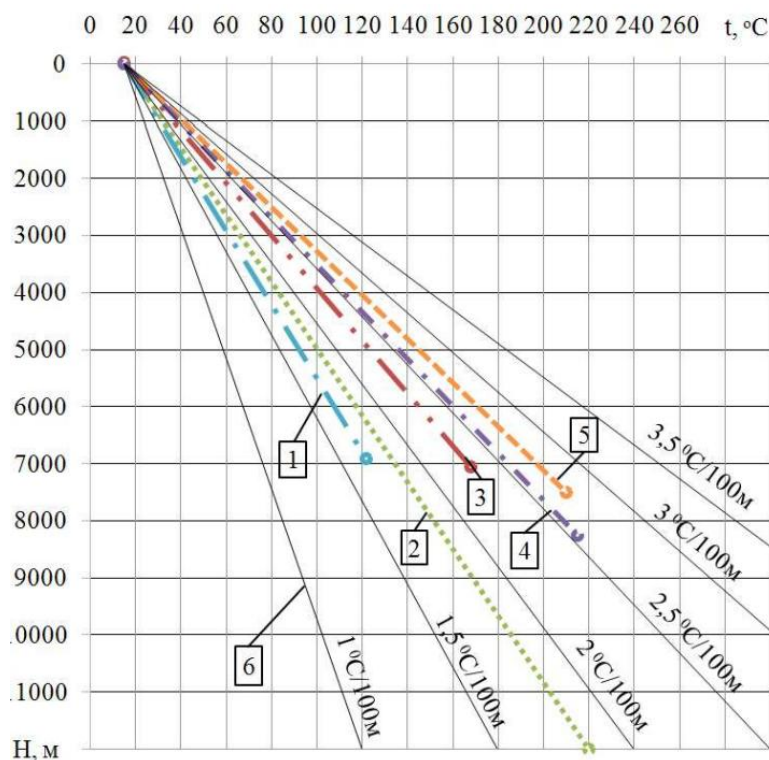


Рисунок 5 – Изменение температуры пород с увеличением глубины в существующих глубоких и сверхглубоких скважинах России: 1 – Тимано-Печорская; 2 – Кольская; 3 – Колвинская; 4 – Ен-Яхтинская; 5 – Тюменская; 6 – расчётные теоретические градиенты температур

На сегодняшний день в России применение глубинной тепловой энергии Земли не достаточно развито. Известные экспериментальные системы съёма глубинной тепловой энергии, расположены на глубине от 80 до 200 м.

Однако бурение сверхглубоких скважин имело место в области нефтегазового дела. Также есть уже готовые к использованию скважины.

Примерно 1500 скважин мощностью 1200 МВт находятся в хранении и готовы к эксплуатации [13].

Помимо этого Россия располагает девятнадцатью глубокими и сверхглубокими научными и параметрическими скважинами [14].

Некоторые характеристики расположенных на территории Российской Федерации отображены в таблице 1.11 [2].

Наличие уже готовых скважин представляет хорошую базу для развития петротермальной энергетики, поскольку именно бурение является самой сложной составляющей создания системы извлечения тепла земли.

ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ОДНОСКВАЖИННОЙ СИСТЕМЕ СЪЁМА ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

2.1 Физическая постановка задачи

В данной работе рассматривается открытая односкважинная система съёма петротермальной тепловой энергии, представляющая собой скважинный теплообменник открытого типа (рисунок 6).

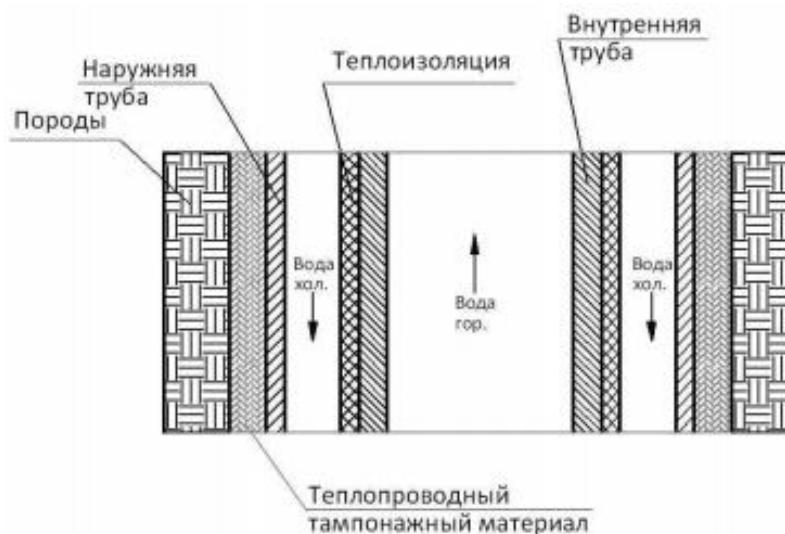


Рисунок 6 – Схема устройства односкважинной системы съёма петротермальной тепловой энергии Земли

Система включает в себя два коаксиальных цилиндра. Холодная вода, опускаясь по межтрубному кольцевому пространству теплообменника получает тепло от окружающих твёрдых пород. Далее в нагретом состоянии поднимается по внутренней колонне.

Во избежание теплопотерь, наружная поверхность внутренней подъемной трубы теплоизолирована. Внешняя труба крепится к стволу скважины теплопроводным тампонажным материалом (специальным бетоном) [15].

Для описания процесса теплообмена представим приведённую выше схему в координатной плоскости XY . Таким образом, будем рассматривать ограниченный участок конечных размеров Lx и Ly с распределением температур представленным на рисунке 7.

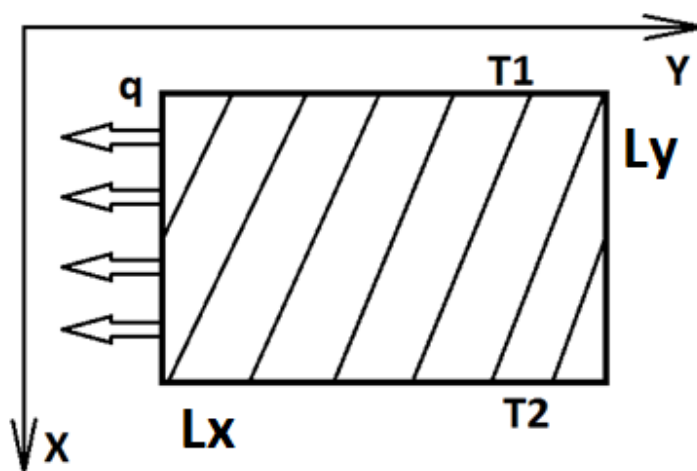


Рисунок 7 – Схема исследуемого участка пород

Здесь T_1 — температура сухих пород на поверхности рассматриваемого участка;

T_2 — температура сухих пород на глубине Lx ;

q — тепло отдаваемое окружающими породами нагнетаемой воде.

Считая теплообмен на небольшом отрезке времени стационарным для рассматриваемой модели отметим следующие допущения:

- 1) температурное поле симметрично относительно оси скважины;

- 2) теплофизические свойства жидкости и твёрдых пород постоянны и взяты исходя из средних условий системы;
- 3) тепло вязкостного трения пренебрежимо мало;

2.2 Математическая постановка

Процесс теплообмена данной модели будет описываться уравнением теплопроводности [16]

$$c\rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right], \quad (7)$$

где c — теплоёмкость окружающих пород;

ρ — плотность окружающих пород;

λ — теплопроводность окружающих пород;

или

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right], \quad (8)$$

где a — коэффициент температуропроводности.

Начальные и граничные условия

Задаёмся значениями температур в начальный момент времени, а также на верхней и нижней границах исследуемой зоны

$$\begin{cases} T = T_1, & \text{при } t = 0; \\ T = T_1, & \text{при } x = 0; \\ T = T_2, & \text{при } x = Lx. \end{cases} \quad (9)$$

Тепловой поток от твёрдых пород идёт на нагревание воды. Данный процесс описывается уравнением 10.

$$\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \cdot (T - T_{\text{ж}}), \quad (10)$$

где α — коэффициент теплоотдачи жидкости;

$T_{\text{ж}}$ — температура жидкости.

Численная реализация математической постановки будет производиться методом конечных разностей по явной схеме [17].

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2Б	Барило Анастасия Сергеевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	Теоретической и промышленной теплотехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Барило Анастасия Сергеевна		

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Хозяйственные цели проекта

1) Оценка эффективности работы системы в зависимости от входных параметров;

2) Оценка эффективности работы системы в зависимости от теплофизических характеристик скважины (места установки);

4.2 Преимущества моделирования по сравнению с экспериментальным исследованием

1) Отсутствие затрат на экспериментальную установку;

2) Возможность быстрого изменения входных параметров;

3) Отсутствие опасности выхода из строя установки;

3) При моделировании описывается не конкретная система добычи энергии, что увеличивает возможность применения программного продукта.

4.3 Календарный план-график выполнения исследовательской работы

Календарный план НИР устанавливает очередность выполнения работ в увязке со временем их исполнения. Сроки исполнения зависят от сложности операций на каждом из этапов, что отображено в таблице 1.

Таблица 1 – Календарный план выполнения исследовательской работы

№ этапа	Основные этапы выполнения НИР	Содержание каждого этапа	Срок выполнения
1	Выбор темы и технического задания для ВКР	Составление и утверждение технического задания	1 неделя
		Оформление технического задания	
2	Разработка теоретической части НИР	Обзор литературы по данной тематике	3 недели
		Описание физической модели исследования	
		Описание математической модели исследования	
3	Разработка практической части НИР	Выбор среды программирования	6 недель
		Разработка методики описания математической модели в среде программирования	
		Составление программы	
		Сбор результатов вычислений программы	
		Анализ результатов	
4	Разработка части «Финансовый менеджмент»	Описание целей, и преимуществ проекта	1 неделя
		Календарный план-график проекта	
		Бюджетный план проекта	
5	Разработка части «Социальная ответственность»	Описание рабочего места	1 неделя
		Анализ вредных и опасных факторов рабочей среды	
		Расчет искусственного освещения для рабочего помещения	

Представим графически календарный план выполнения НИР. Для этого построим диаграмму Ганта.

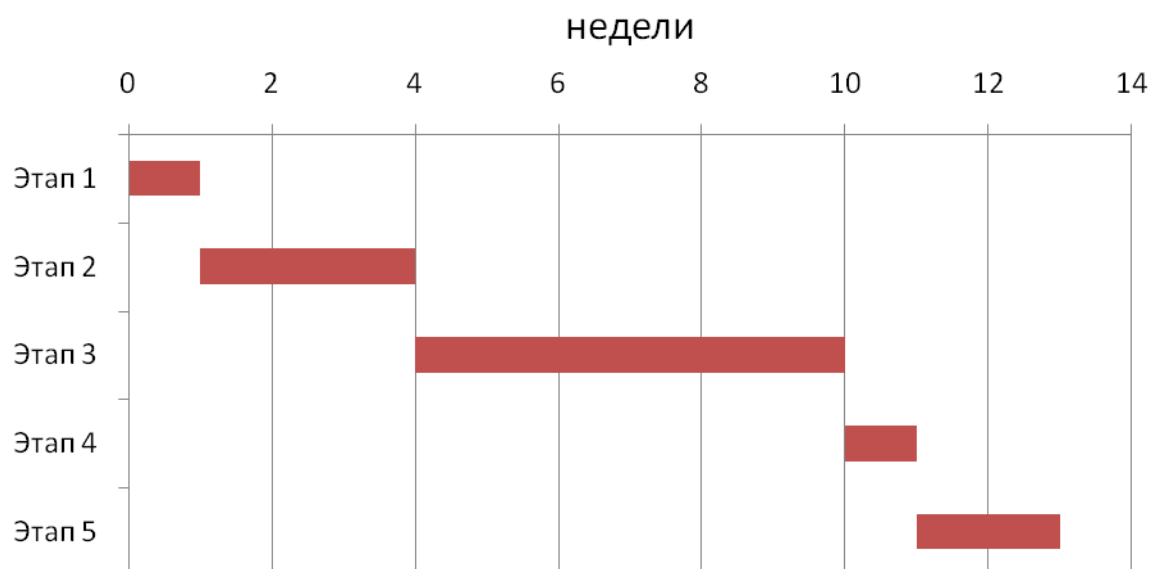


Рисунок 8 – Диаграмма Ганта по выполнению НИР

4.4 Бюджетный план

Исходя из стоимости на используемые в работе материалы, а также затрат на электроэнергию составляется бюджетный план проекта. Затраты на электроэнергию рассчитываются по нормам электропотребления приборов и длительности использования за период выполнения НИР.

Таблица 2 – Расходы на материалы для выполнения исследовательской работы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	1245
Заправка картриджа	шт	500	1	500
Электроэнергия	кВт·ч	4,25	44	187
Итого				1 932

Таблица 3 – Потребление электроэнергии при выполнении исследовательской работы

Источник потребления	Мощность, кВт/ч	Кол-во часов	Итого
Персональный компьютер	0,2	200	40
Ноутбук	0,06	20	1,2
Освещение	0,05	54	2,7
Принтер и МФУ	0,05	2	0,1
Итого			44

В связи с изнашиванием оборудования в процессе выполнения работы стоит учитывать затраты на его амортизацию. Расчёт производится по следующим соотношениям:

$$\text{Норма амортизации} = (1/\text{срок службы}) * 100;$$

$$\text{Величина амортизации в год} = (\text{стоимость оборудования} * \text{норма амортизации}) / 100;$$

$$\text{Сумма амортизации в час} = \text{величина амортизации в год} / \text{количество часов работы в год};$$

$$\text{Стоимость амортизации} = \text{время работы} * \text{сумма амортизации в час}.$$

Данные об амортизационных отчислениях сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Затраты на амортизацию оборудования

Объект	Норма в год	Стоимость	Величина в год	Кол- во часов	Сумма в час	Время работы, ч.	Стоимость амортизации
Персональный компьютер	20	50000	10000	1720	5,81	200	1162
Принтер и МФУ	20	8000	1600	382	4,18	2	8,36
Ноутбук	20	30000	6000	2290	2,62	20	52,4
Итого							1222,76