

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – ЭНИН

Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра – Автоматизация технологических процессов

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Моделирование физических процессов внешнего контура теплонасосной установки</b>

УДК \_\_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Д	Горкунов Александр Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шидловский Станислав Викторович	профессор, д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	доцент, к.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	профессор, д.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы  
магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания	Требования ФГОС (ОК- 8, 9; ПК-4), критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3; ПК-8, 24), критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ПК-3, 16, 17, 25, 27, 28, 32), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
	<b>Профессиональные компетенции</b>	
P6	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и	Требования ФГОС (ПК-2, 7, 11, 18 – 20, 29, 31), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов теплоэнергетики	
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 12 – 15, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24, ), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-21, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – ЭНИН  
Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Кафедра – Автоматизация технологических процессов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(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
5БМ4Д	Горкунову Александру Олеговичу

Тема работы:

Моделирование физических процессов внешнего контура теплонасосной установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>В данной работе создается трехмерная имитационная модель внешнего контура теплообмена теплонасосной установки для установки с мощностью 10 кВт</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры</i></p>	<p>Задачи работы:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– обзор систем геотермального отопления;</li><li>– разработка геометрической модели объекта;</li><li>– исследование созданной модели при определенных начальных и граничных условиях;</li></ul>
--	---

<p><i>исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>– определение ресурсоэффективности и ресурсосбережения проекта; – анализ охраны труда.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1) Автоматическая система регулирования расхода во внешнем контуре теплообмена ТНУ. Схема структурная.  2) Автоматическая система регулирования расхода во внешнем контуре теплообмена ТНУ. Схема функциональная.  3) Общий вид объекта моделирования.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>к.б.н., доцент Антонец О.А.</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>к.э.н., доцент Попова С.Н.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>1 Обзор геотермальных теплонасосных систем (Overview of ground-source heat pump systems) 2 Цели и области применения (Thesis Objectives and Scope) 3 Имитационная модель (Simulation)</p>	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Щидловский С.В.	профессор, д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Д	Горкунов Александр Олегович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5БМ4Д	ФИО Горкунов Александр Олегович
-----------------	------------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	Автоматизации теплоэнергетических процессов
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Рабочим местом монтажника внешнего контура ТНУ является открытая местность. Объектом исследования является монтируемый путем выкапывания экскаватором ряда траншей, сваривания муфтами и погружаемый горизонтальный внешний контур теплообмена между теплоносителем (пропиленгликоль) и средой залегания (грунт). Трубопровод теплообменника представляет собой ПНД-трубу. Объект применяется в области теплоснабжения строений с площадью до 200м<sup>2</sup> и суммарными теплопотерями до 10 кВт.</p>
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники,</li> </ul>	<p>1.1 Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– недостаточное освещение в вечернее и ночное время суток;</li> <li>– неблагоприятный климат.</li> </ul> <p>Воздействие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– полная или частичная потеря слуха;</li> <li>– головные боли;</li> <li>– возникновение простудных заболеваний;</li> <li>– воспаление мышц и нервных окончаний;</li> <li>– нарушение водно-электролитного обмена;</li> <li>– тепловой удар.</li> </ul> <p>Допустимые нормы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– на шум 99-74 дБ (согласно ГОСТ 12.1.003.83);</li> <li>– на освещение не менее 50 лк (СНиП 23-05-95);</li> <li>– при неблагоприятном климате ограничение на физические работы при температуре наружного воздуха менее минус 40 или более 50 без средств индивидуальной защиты (СанПиН 2.2.3.1384-03).</li> </ul>
--	---

<p>средства защиты);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>Коллективные средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– строительная бытовка;</li> <li>– переносной навес.</li> </ul> <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– каски строительные;</li> <li>– перчатки прорезиненные;</li> <li>– утеплённая спецодежда в холодное время года и проветриваемая в теплое время года;</li> <li>– респираторы;</li> <li>– пылезащитные очки.</li> </ul> <p>1.2 Механические опасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– машины и машинные механизмы (проблесковые огни и спикеры на технике, светоотражающие ленты на спецодежде);</li> <li>– инструменты для подготовки труб к свариванию (монтажные перчатки).</li> </ul> <p>Термические опасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сварочный аппарат (перчатки, спецодежда).</li> </ul> <p>Электробезопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использование проводников тока с удлинителями и розетками не ниже стандарта IP54;</li> <li>– заземление корпуса строительной будки.</li> </ul> <p>Пожаровзрывобезопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– возгорание техники, будки (огнетушители, коробки с песком);</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>2. При работе исследуемого объекта не происходит ни каких выбросов в атмосферу, если такая система работает от центрального энергоснабжения, если система автономна и имеет газовый генератор энергии, то в атмосферу выделяются продукты сгорания природного газа (углекислый газ и вода).</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3. К возможным ЧС установки можно отнести: возгорание установки, разрушение установки.</p> <p>Наиболее типичной ЧС является возникновение пожара.</p> <p>Принимаемые меры по предупреждению аварии – своевременный контроль за состоянием оборудования и его техническое обслуживание.</p> <p>При возникновении ЧС срабатывает ряд автоматических защит и блокировок установки, при которых окружающая среда изолируется от факторов, опасных для</p>

	здоровья человека.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	4. К таковым можно отнести: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) выявление, прогнозирование и предупреждение угроз</li> <li>2) создание и поддержания сил и средств обеспечения безопасности</li> </ol> систему мер по восстановлению нормального функционирования объектов безопасности

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Д	Горкунов Александр Олегович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ4Д	Горкунов Александр Олегович

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТП</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. <i>Стоимость затрат технического проекта (ТП): на специальное оборудование, зарплата, страховые отчисления, прочие и накладные расходы</i>	<i>Затраты на специальное оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам или по договорной цене. Заработная плата рассчитывается исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ Прочие и накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.</i>
2. <i>Продолжительность выполнения ТП</i>	<i>Приблизительная оценка продолжительности выполнения ТП составляет 150 календарных дней</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка потенциала и перспективности реализации ТП можно оценить с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности.</i>
2. <i>Планирование и формирование графика работ по реализации ТП</i>	<i>Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ТП</i>
3. <i>Формирование сметы</i>	<i>В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>материальные затраты ТП;</i></li> <li>• <i>затраты на специальное оборудование;</i></li> <li>• <i>полная заработная плата исполнителей;</i></li> <li>• <i>отчисления во внебюджетные фонды;</i></li> <li>• <i>накладные расходы.</i></li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ4Д	Горкунов Александр Олегович		

## Реферат

Магистерская диссертация 145 с., 38 рисунков, 30 таблиц, 53 источника, 1 приложение, 3 л. графич. материала.

Ключевые слова: геотермальный, альтернативная энергетика, экономичность, моделирование, имитационная модель, экологичность, Solidworks, Workbench, CFX, heat pump.

Цель работы – разработка имитационной модели внешнего контура теплообмена теплонасосной установки.

В тексте диссертации приведены исследования теплофизических процессов при работе горизонтального грунтового теплообменника теплонасосной установки в климатических условиях г. Томска при помощи программного обеспечения Solidworks и Ansys Workbench 15. Полученные результаты являются основанием для внедрения такой системы на территории г. Томска и Томской области.

Имитационная модель может так же применяться для исследования поведения процессов теплообмена и в других регионах, при условии задания характерных для области входных параметров окружающей среды.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и представлена на CD- диске (в конверте на обороте обложки).

## Определения

Ansys Mesh – специальная утилита из программного пакета ANSYS, направленная на создание конечно-элементной сетки геометрических моделей объектов [40].

Ansys CFX – рабочая среда ANSYS, являющаяся мощным инструментом для оптимизации процесса разработки и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов [41].

Объект с распределенными параметрами – объект, характеризующийся некоторым параметром, различным по своему значению в разных точках объекта [28].

## Обозначения и сокращения

3D – (с англ. three dimensional ) трехмерный;

ТНУ – теплонасосная установка;

ПТ – петротермальная;

ГТ – гидротермальная;

ГВС – горячее водоснабжение;

ГТО – горизонтальный теплообменник;

АСР – автоматическая система регулирования;

CAD – (англ. Computer Aided Design) – Система автоматизированного проектирования;

CAE - Computer Aided Engineering;

МКЭ – метод конечных элементов;

ОСП – объектам с сосредоточенными параметрами;

ОРП – объект с распределенными параметрами;

ССП – система с сосредоточенными параметрами;

СРП – система с распределенными параметрами;

ОРП – объект с распределенными параметрами;

ЗОУ – задача оптимального управления;

АКОР – аналитическое конструирование регуляторов;

ВС – вычислительные системы;

АСУ – автоматизированные системы управления;

DXF – (англ. Drawing eXchange Format) – открытый формат файлов для обмена графической информацией между приложениями САПР;

IGES – (англ. Digital Representation for Communication of Product Definition Data) – цифровое представление для обмена данными определяющими продукт;

САПР – системы автоматизированного проектирования;

LES – (англ. Large Eddy Simulation) – метод крупных вихрей;

DNS – (англ. Direct Numerical Simulation) – прямое численное моделирование;

CEL – (англ. CFX Expression Language) – формульный язык CFX;

ЦН – циркуляционный насос;

ЛКМ – левая кнопка мыши;

ПКМ – правая кнопка мыши.

## Оглавление

Введение	17
1 Обзор литературы	19
2 Анализ технологического объекта	23
2.1 Объекты управления с распределенными параметрами	23
2.1.1 Описание объектов с распределенными параметрами в дифференциальных уравнениях	24
2.2 Системы управления с распределенными параметрами	25
2.2.1 Классификация методов синтеза	32
2.3 Способы анализа объектов с распределенными параметрами	35
2.3.1 Принципы и методы построения имитационных моделей	38
3 Синтез модели системы управления объектом с распределенными параметрами	41
3.1 ANSYS	41
3.2 Создание модели объекта	42
3.2.1 Разработка геометрической модели объекта	43
3.2.2 Разработка математической модели изучаемого процесса	47
3.2.3 Разработка имитационной модели объекта	59
4 Имитационное моделирование системы автоматического регулирования объектом с распределенными параметрами	80
4.1 Создание имитационной модели системы автоматического регулирования с двухпозиционным регулятором	80
4.2 Результаты имитационного моделирования	82
5 Социальная ответственность	88
5.1 Производственная безопасность	89
5.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при монтаже и введении в эксплуатацию объекта исследования	89
5.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при монтаже и введении в эксплуатацию объекта исследования	96

5.2 Экологическая безопасность	98
5.3 Безопасность в ЧС	98
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	99
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	101
6.1 SWOT-анализ	102
6.2 Разработка графика проведения ОКР	105
6.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ	105
6.2.2 Разработка графика выполнения технического проекта	106
6.3 Составление сметы	111
6.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование внешнего теплообменника ТНУ	112
6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	116
6.3.4 Накладные расходы	117
6.3.5 Формирование сметы технического проекта	117
6.4 Определение ресурсоэффективности проекта	118
Заключение	120
Список использованных источников	121
Приложение А А modeling physical process of external circuit of heat pump system	124
Диск CD	В конверте на обороте обложки
Графический материал:	На отдельных листах
ФЮРА.421000.002 С1	
АСР расхода теплоносителя. Схема структурная.	
ФЮРА.421000.002 С2	
АСР расхода теплоносителя. Схема функциональная	
ФЮРА.421000.002 ОВ	
Общий вид объекта	

## Введение

Актуальность работы: на сегодняшний день, вопросы, связанные с возобновляемыми источниками энергии не могут оставаться без внимания, в силу того, что минеральные ресурсы планеты ограничены, а расходы на добычу сырья и производство из него энергии ежегодно возрастают. Такой порядок событий приводит к росту тарифов на тепло- и электроэнергию и, соответственно, необходимость использования возобновляемых источников стремительно возрастает.

Альтернативная энергетика имеет ряд преимуществ, главные из них – автономность и высокая экологичность.

Одним из видов возобновляемых источников энергии является низкопотенциальное тепло грунта. Такой вид энергии извлекается из недр земли посредством использования теплонасосных установок.

Научная новизна работы заключается в том, что построенная модель распределения температурного поля во внешнем контуре геотермального источника энергии ТНУ отличается от существующих тем, что обеспечивает получение функциональных взаимосвязей, протекающих в системе теплового насоса с горизонтальным грунтовым теплообменником при климатических и геофизических условиях Томска и Томской области для помещений с суммарными потерями до 10 кВт энергии.

Целью данной работы является рассмотрение систем геотермального отопления и создание имитационной 3D-модели внешнего горизонтального контура.

Задачи, решаемые в процессе выполнения работы:

- создание геометрической модели объекта (ГТО ТНУ);
- разработка математической модели исследуемых процессов;
- создание имитационной модели объекта;
- разработка АСР расхода теплоносителя ГТО.

Средствами решения поставленных задач являются пакеты прикладных САД-программ и САЕ-программ - систем автоматизированного анализа, а именно комплексов МКЭ, основанных на разбиении всего объекта на мелкоразмерные элементы, в которых ведется аппроксимирующий расчет.

Комплексы МКЭ позволяющие проводить имитационное моделирование работы исследуемых физических явлений на основе подробного описания их геометрии, физики моделируемых процессов, свойств применяемых материалов, эксплуатационных характеристик и иных указываемых пользователем исходных данных.

В качестве результатов необходимо получить адекватную имитационную модель, с помощью которой можно оценить актуальность использования объекта по Томску и Томской области.

## 1 Обзор литературы

Моделированию физических процессов связанных с работой ТНУ, на сегодняшний день, посвящено большое количество работ, однако создание имитационной модели внешнего контура теплообмена ТНУ с использованием низкопотенциального источника энергии рассматривается не часто, хотя тема достаточно актуальна, как для регионов с холодными климатическими условиями, так и теплых. Опыт исследования и внедрения таких систем в России не очень велик, по сравнению с европейскими странами и США, поэтому большая часть научных трудов по теме моделирования процессов течения и теплопереноса во внешнем контуре ТНУ иностранного происхождения. Вопросы по данной теме, в своих работах затрагивают: Р.Ж. Низамутдинов, О.С. Пташкина-Гирина, А.Х. Доскенов [1], В.А. Тарасова, Д.Х. Харлампики, А.В. Шерстюк [2], Arun Shenoy [3], С.О. Филатов, В.И. Володин [4], Andrew Chiasson [5], Jin Luo [6], Soolyeon Cho [7],

Альтернативная энергетика, на сегодняшний день, является неотъемлемой составляющей любой цивилизованной страны. Геотермальная энергетика, как подвид альтернативной энергетике, применяется в основном для обеспечения теплоснабжения, как производственных объектов, так и жилых строений [9].

Однако, несмотря на достаточное количество различных публикаций по теме исследования, потенциал тепловых систем на базе горизонтального внешнего контура теплообмена остаётся до конца не раскрытым. В первую очередь это касается непосредственно параметров расположения такого контура в соответствии с регионом применения исследуемого объекта [8].

Достаточное внимание уделяется конструкции контура теплообменника. Так например, в работе [5] рассмотрена вариация шага витков теплообмена, и представлена зависимость эффективности работы такой системы при изменении количества трубок. Такой принцип изменения конструкции контура повышает эффективность теплоотбора, однако применение такого метода

является весьма эффективным, только при погружении контура на значительную глубину (более 3 м) или расположение системы в теплых климатических условиях, где глубина промерзания грунта не превышает 1 м.

Климатические и геологические условия играют немаловажную роль в эффективности работы системы, учитывая этот факт в работе [1] для оценки выбора элементов ТНУ и определения возможности использования низкопотенциальной тепловой энергии грунтовых слоев осуществлен прямой натуральный эксперимент на базе лаборатории. На основе результатов создана имитационная модель ТНУ, которая позволяет воспроизводить логику функционирования системы при различных входных параметрах системы и внешней среды.

При помощи создания имитационной модели удалось добиться сокращения времени на расчеты системы, а так же произошло повышение точности инженерно-технических изысканий при проектировании систем отопления с ТНУ для Челябинской области.

В силу того, что климатические условия Челябинской и Томской области значительно отличаются, а в геологическом аспекте на Урале преобладают скалистые образования, нежели торфянистый и болотистый грунт Томской области, то исследования, проведенные в Челябинской области актуальны и для условий г. Томска, но только частично.

В трудах [2] автор описывает необходимость соблюдения уравнивания теплового баланса температур во время теплого периода года, т.к. в период отопительного сезона температура среды вокруг трубы контура может значительно промерзнуть, за счет интенсивного отбора энергии. В качестве повышения эффективности работы системы ТНУ, автор рассматривает возможность работы системы в режиме хладоснабжения во время отсутствия необходимости отопления объекта, тем самым отдавая тепловую энергию обратно в геотермальную среду, что позволяет сократить период восстановления температурного поля грунта к началу отопительного сезона.

Помимо работы ТНУ с бивалентной схемой в зимний период и соответственно для кондиционирования в летний период, автор приводит методики изменения проектируемой длины контура теплообмена при помощи учета тепловой интерференции. Так же в работе определена зависимость залегания контура от температуры наружного воздуха от минус  $4^{\circ}\text{C}$  до  $16^{\circ}\text{C}$ .

Большую роль в эффективности работы системы играет выбор теплоносителя. В работе [3] описывается принцип выбора рабочего тела в зависимости от климатических условий месторасположения моделируемого объекта и величины отбора энергии тепловым насосом от теплоносителя. Принципиально применяются два вида рабочих тел: пропилен-гликолевые рассолы и вода. Перепад температур подаваемого рассола от минус  $5^{\circ}\text{C}$  до  $15^{\circ}\text{C}$ . Для воды тот же показатель равен  $(8-15)^{\circ}\text{C}$ . Температура отводимого рассола может колебаться в диапазоне от минус  $8^{\circ}\text{C}$  до  $12^{\circ}\text{C}$ , вода – от  $4^{\circ}\text{C}$  до  $12^{\circ}\text{C}$ . Такие показатели говорят о невозможности работы грунтового обменника с водяным рабочим телом в холодных климатических условиях, однако можно использовать такую систему в качестве хладоснабжающей в теплое время года. Так же в работе описывается процесс симуляции работы системы при выборе различных входных параметров системы и необходимости отбора разных величин при разного рода окружающей среде теплообменника.

В источнике [4] рассматриваются вопросы исследования режимов работы грунтового теплообменника теплового насоса системы теплоснабжения здания. Проведенный численный анализ показал уменьшение теплового потока от теплообменника до трех раз при снижении температуры грунта с  $7$  до  $1^{\circ}\text{C}$ .

Данное явление обусловлено режимом течения теплоносителя водного раствора этиленгликоля. Поддержание требуемого теплового потока в системе может быть достигнуто регулированием расхода теплоносителя.

Для оценки работы ГТО была использована следующая модель. В качестве ГТО использовался плоский одноточный змеевик. На внешней стенке трубы принимались граничные условия 1-го рода, а именно температура наружной стенки ГТО соответствовала температуре прилегающего грунта. С

внутренней стороны задаются расход теплоносителя и его температура на входе для заданного теплового потока, соответствующая мощности испарителя теплового насоса. Численное исследование проводится в следующем порядке. Вначале путем решения системы уравнений теплопереноса методом последовательных приближений с использованием замыкающих уравнений подобия и физических свойств теплоносителя проводится конструкторский расчет и находится требуемая поверхность теплообмена аппарата для заданного типоразмера канала. Затем выполняется исследовательский расчет, в результате которого выясняется влияние режимных условий эксплуатации на эффективность аппарата. Исследуется грунтовый теплообменник с тепловым потоком 10 кВт, выполненный в виде плоского змеевика из стальной трубы 38×2 мм, уложенный в грунт. Расчетная температура грунта 5°C, температуры теплоносителя на входе и выходе ГТО составляют соответственно – 1 и 3°C. В качестве теплоносителя используется 38,8%-ный водный раствор этиленгликоля.

В работе [5] говорится о необходимости в современной практике оценки эффективности работы системы, потери энергии, циркулирующей по горизонтальной трубе жидкости, что довольно часто игнорируется. Тем не менее, такие потери энергии могут серьезно снизить тепловую эффективность систем ТНУ в холодный период климата. Поэтому потери тепла в горизонтальных соединительных трубах должны быть оценены. В этой работе рассматривается влияние глубины укладки и изоляции труб на потери энергии. Проводится численное моделирование контура.

## 2 Анализ технологического объекта

### 2.1 Объекты управления с распределенными параметрами

Практически все технологические объекты управления различного назначения описываются в форме тех или иных уравнений с соответствующими дополнительными условиями. В настоящее время, все объекты управления можно разделить на две группы. К первой группе относятся объекты, свойства которых не изменяются во времени, являются стационарными и описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Дифференциальные уравнения дополняются начальными условиями. Эти объекты относятся к ОСП.

Ко второй группе относятся объекты, входные величины которых в данный момент времени имеют разные числовые значения в различных точках объекта. Основные переменные процесса в объекте изменяются и во времени, и в пространстве. Такие объекты относят к ОРП. Процессы, протекающие в ОРП, описываются уравнениями в частных производных, которые составляют соответствующую математическую модель с распределенными параметрами.

На современном этапе развития систем автоматического управления возникает проблема рассмотрения объектов управления имеющих пространственные координаты, методов их исследования и анализа. Для более детального понимания окружающего мира, многие объекты необходимо рассматривать с точки зрения распределенных объектов. Поля различной природы, теплопроводность и диффузия, синергетические технологии, магнетизм, физика твердого тела и многое другое – всё это объекты и системы с распределёнными параметрами.

Процессы тепло– и массопереноса являются доминирующими при получении той или иной продукции в химико–технологической отрасли.

Теплопередача и диффузия занимают значительное место в различных средах металлургического производства и играют особую роль в ядерной энергетике. Процессы гидродинамики и теплообмена являются

определяющими при обогреве и кондиционировании зданий. Теплообмен выступает лимитирующим фактором при конструировании электрооборудования и электронных схем. Перечисленные объекты обладают достаточно высокой стоимостью, и любые экспериментальные исследования требуют существенных затрат, а зачастую и невозможны.

Альтернативой является проведение вычислительных экспериментов на различного рода моделях. При проектировании и эксплуатации встает вопрос о качестве и эффективности рассматриваемых систем, что требует широкого применения средств автоматического регулирования, моделирования и оптимального управления. Традиционные математические модели теории систем управления предназначены для расчета локальных систем стабилизации или регулирования соответствующих объектов и описывают технологический процесс достаточно узкой области изменения параметров, сложные же технологические процессы требуют адекватных математических моделей, которые позволяют на их основе решать задачи управления и оптимизации в широком диапазоне.

### 2.1.1 Описание объектов с распределенными параметрами в дифференциальных уравнениях

Математическая модель, описывающая рабочий процесс с выраженным пространственно–распределенным характером, должна связывать поля параметров процесса с внешними полями, воздействующими на рассматриваемый ОРП. Объекты с распределенными параметрами, содержащие в себе процессы гидродинамики, теплообмена или диффузии, могут быть с достаточной точностью описаны системами дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Такие объекты можно выделить в единый класс, для которого характерны определенные динамические свойства и общие методы их исследования. Все линейные уравнения в частных производных второго порядка можно представить в виде формулы (1).

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D \frac{\partial u}{\partial x} + E \frac{\partial u}{\partial y} + Fu = G, \quad (1.1)$$

где  $A, B, C, D, E, F, G$  – константы или заданные функции независимых переменных  $x$  и  $y$ .

Уравнение (1.1) относится к одному из трех типов дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных (рис. 2.1).

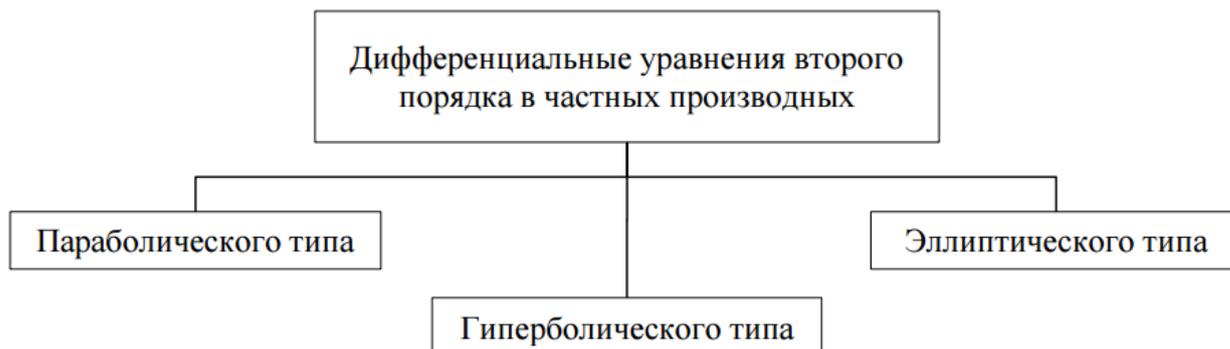


Рисунок 2.1 – Классификация дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка

Уравнения параболического типа описывают процессы диффузии и теплопроводности. Определяются условием  $B^2 - 4AC = 0$ .

Уравнения гиперболического типа описывают колебательные системы и волновые движения. Определяются условием  $B^2 - 4AC > 0$ . Уравнения эллиптического типа описывают установившиеся процессы. Определяются условием  $B^2 - 4AC < 0$ .

## 2.2 Системы управления с распределенными параметрами

Классические результаты теории автоматического управления в большинстве своих случаев получены применительно к системам, состояние которых характеризуется поведением во времени  $t$  некоторого набора конечного числа функций  $n$ , зависящих от одной переменной  $t$  (1.2).

$$Q(t) = (Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_n(t)). \quad (1.2)$$

Поведение таких систем однозначно характеризуется изменением во времени управляемых величин и описывается соответствующими системами обыкновенных дифференциальных уравнений относительно  $Q(t)$ . Такие системы называются ССП.

Большинство объектов управления самой различной природы могут быть описаны с достаточной точностью для практического применения с помощью ССП. Общей особенностью ССП является описание процессов управления в терминах величин, не отражающих в явной форме влияние пространственной протяженности объекта на его характеристики [29].

В то же время все реальные объекты управления характеризуются некими геометрическими размерами в пространстве и не только зависимостью управляемых величин от времени, но и их распределенностью по пространственной области, занимаемой объектом. Функция, характеризующая его состояние, изменяется в пределах этой области и зависит не только от времени, но и от пространственной координаты  $x$ , следовательно, является функцией  $Q(x,t)$ .

В итоге в этом случае приходится иметь дело с бесконечным числом управляемых величин (по числу точек в рассматриваемом объеме пространства)  $Q_1(t), Q_2(t), Q_3(t), \dots$ , каждая из которых характеризует поведение объекта в соответствующей фиксированной точке  $x$ . Эти функции, характеризующие внешние возмущения, заранее не заданы, играют роль управления и могут выбираться целенаправленно в процессе функционирования системы. Если зависимость функции от координаты  $x$  пренебрежительно мала, то такую систему можно отнести к ССП, если же нет, то речь должна идти о СРП, для которых изменение управляемых величин как во времени, так и в пространстве описывается уже дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными, интегродифференциальными уравнениями или системами уравнений самой различной природы. К числу СРП относится широкий круг типичных управляемых объектов, охватывающих, в частности, как традиционные, так и

новейшие технологии в самых различных областях техники, зачастую практически нереализуемые с требуемыми качественными показателями без построения соответствующих систем автоматического управления, что и явилось главным стимулом к созданию теории и методов управления СРП.

Задачи управления СРП оказываются качественно более сложными по сравнению с ССП ввиду целого ряда принципиальных особенностей. Приведем некоторые из них.

1) Состояние СРП, определяемое функцией нескольких переменных, описывается дифференциальными уравнениями в частных производных (содержащими производные функции состояния как во времени, так и по пространственным координатам), интегральными уравнениями, а также «гибридными» системами уравнений различной природы, включая в качестве дополнительных соотношений и обыкновенные дифференциальные уравнения. Это обстоятельство приводит к математическим моделям СРП, качественно отличающимся от типичных представлений, используемых в ССП.

2) В СРП принципиально расширяется класс управляющих воздействий, прежде всего за счет возможности включения в их число пространственно–временных управлений, описываемых функциями нескольких аргументов – времени и пространственных координат.

3) Анализ и синтез СРП требуют создания нового аппарата на базе нетрадиционных для теории управления математических средств [30].

4) Задача реализации систем управления объектами с распределенными параметрами резко усложняется за счет необходимости осуществления пространственно–распределенного контроля состояния объекта и построения регуляторов с пространственно–распределенными управляющими воздействиями. Достаточно общая содержательная формулировка задачи управления любыми динамическими объектами, в т.ч. ОРП, сводится к поиску таких допустимых управляющих воздействий (управлений), которые надлежащим образом обеспечивают допустимый перевод объекта из некоторого начального состояния в желаемое конечное. Так как в рассмотрении

находятся управляемые системы, то разумно привести классификацию видов управляющих воздействий, встречающихся в СРП [31]. Классификация приведена на рисунке 2.2.

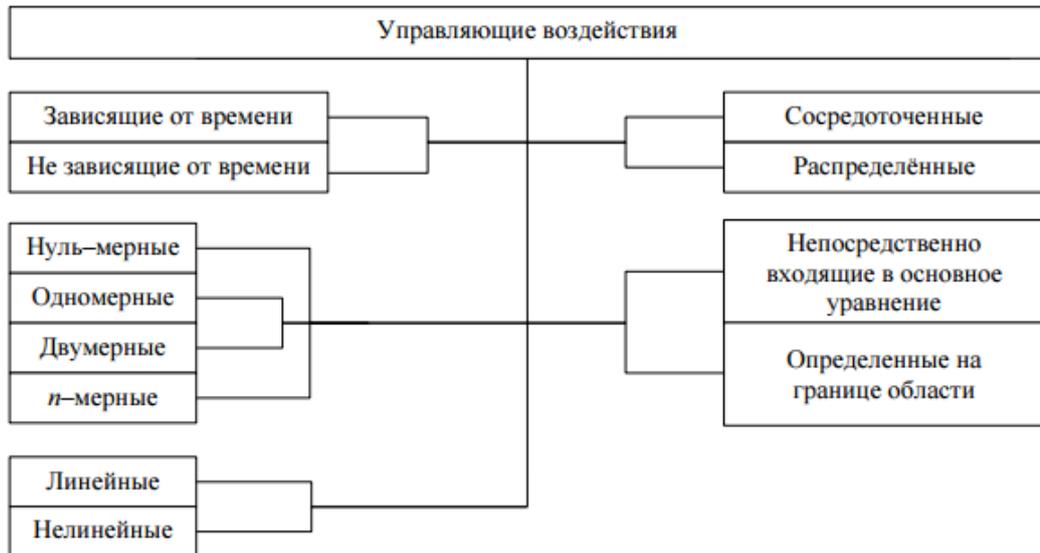


Рисунок 2.2 – Классификация управляющих воздействий

Прежде всего, в СРП имеет смысл поделить управляющие воздействия на «Зависящие от времени» и «Не зависящие от времени» (статические). Последний тип управляющих воздействий соответствует задаче «проектирования» или «конструирования» объекта управления или управляющего устройства. Более детальное деление видов управляющих воздействий можно провести по размерности того многообразия, на котором они определены: это «Нуль-мерные» управления, «Одномерные», «Двумерные» и в целом «n-мерные» управления. В зависимости от этого управляющие воздействия могут быть: «Сосредоточенные» или «Распределенные». Практически удобнее бывает подразделять управляющие воздействия на «Непосредственно входящие в основное уравнение» объекта управления и на управляющие воздействия, «Определенные на границе области определения объекта» (граничные (краевые) и начальные условия). Формально, граничные управления можно преобразовать в управления, входящие в основное уравнение (или уравнения), описывающее состояния объекта. Кроме

этого, управляющие воздействия могут входить в основные уравнения и краевые условия как «Линейным», так и «Нелинейным» образом. Следует рассмотреть классификационные характеристики проблемы управления СРП, которые в достаточной мере покажут сложность и общность всей проблемы в целом [31]. Классификация имеет древесную структуру и приведена на рисунке 2.3. Все проблемы управления СРП делятся на две ветви: «Теория» и «Практика». «Теория» делится на «Проблемы» и «Методы». «Проблемы» ветвятся «Теоретические» и «Технические».

Теоретические проблемы включают в себя проблемы оптимизации, устойчивости, инвариантности, идентификации, управляемости, наблюдаемости, чувствительности, финитного управления (ставится задача о переводе управляемой системы из одного состояния в другое заданное состояние за конечное (финитное) время), оценки состояния, корректности, надежности, фильтрации, экстраполяции, аппроксимации, приближенных вычислений, синтеза, адаптации.

Основная техническая проблема в управлении СРП это создание технических средств управления такими системами. Обычные технические средства управления и автоматики должны быть существенно дополнены целым рядом специфических средств управления, характерных только для СРП. Датчики систем управления распределенными объектами должны давать информацию о полях распределения соответствующих физических величин. Здесь специфической является проблема создания сканирующих датчиков. Что касается регуляторов обратных связей в распределенных системах, реализующих алгоритм управления, то здесь специфической является проблема создания распределенных регуляторов с непрерывной структурой в пространстве [31].



Рисунок 2.3 – Классификация проблем управления СРП

Методы описания разделяются на два ветви: «Физическое описание» и «Математическое описание». При физическом описании деление распределенных систем происходит по размерности занимаемого ими пространства: «Одномерные», «Двумерные», «Трехмерные», « $n$ -мерные». Если выделить время, то СРП подразделяются на «Статические» (неизменные во времени) и «Динамические» (меняющиеся во времени). Другое деление в зависимости от типа величины: «Скалярные» величины, «Векторные» величины, «Тензорные» величины. Следующее деление по виду сплошной среды: «Твердое тело», «Жидкость», «Газ», «Плазма», «Сыпучие среды». Физическое описание так же подразделяется по виду процесса на: «Физический», «Химический», «Биологический», «Экономический», «Социальный», «Технологический». Наконец, физическое описание содержательно подразделяется на виды полей, относящихся к физико-химическим процессам. Виды полей подразделяются на два типа:

«Интенсивные» и «Экстенсивные». Интенсивными полями являются следующие поля: температур  $T$ , концентрации  $c$ , перемещений  $\delta$ , скоростей  $V$ , давлений  $p$ , механических напряжений  $\sigma$ , электрических потенциалов  $U$ , электрических токов  $I$ , электрических напряженностей  $E$ , магнитных индукций  $B$ , расходов  $Q$  и т.д. Экстенсивными полями являются следующие поля: теплопроводности  $\lambda$ , плотности  $\rho$ , электропроводности  $\chi$ , теплоемкости  $c$  и электроемкости  $C$ , электрической проницаемости  $\varepsilon$ , магнитной проницаемости  $\mu$ , вязкости  $\nu$ , индуктивности  $L$ , упругости  $E$ , геометрии формы (момент инерции  $J$ ) и т. д. Здесь перечислены виды простых полей. Однако на практике приходится рассматривать составные (сложные) поля, когда в одной и той же области пространства присутствуют (наложены друг на друга) одновременно несколько видов полей, взаимодействующих друг с другом. Типичным примером таких сложных полей является электромагнитное поле, где взаимодействуют поля электрической и магнитной напряженностей; поле термонапряжений и термоперемещений, где взаимодействуют поля температуры и механических напряжений и перемещений [31]. По математическому описанию СРП делятся на: «Линейные» и «Нелинейные», «Детерминированные» и «Стохастические», «Стационарные» и «Нестационарные», «Статические» и «Динамические», «Автономные» и «Неавтономные». Исходные требования, предъявляемые при проектировании САР, сводятся, обычно, к обеспечению устойчивости замкнутой системы и определенных качественных показателей переходных процессов, которые, в свою очередь, трактуются в форме ограничения времени процесса, величины перерегулирования, степени колебательности, обеспечения необходимого запаса устойчивости, выполнения определенных требований к частотным характеристикам [32]. В целом ряде ситуаций качественные показатели процесса управления ОРП можно охарактеризовать некоторым одним критерием оптимальности в виде функционала, определенного на функциях состояния  $Q(x,t)$  и управляющих воздействиях  $u(x,t)$  объекта, который часто

принимает форму интеграла от указанных функций на пространственно–временной области их определения [33]. Возникает проблема отыскания допустимого управляющего воздействия (оптимального управления) осуществляющего допустимый перевод объекта из заданного начального в желаемое конечное состояние при экстремальном значении критерия оптимальности (ЗОУ).

Приведенная формулировка, обычно рассматриваемая в математической теории оптимальных процессов, отвечает поиску оптимального управления  $u^*(x,t)$  в виде программы его изменения во времени  $t$  для каждой из пространственных координат  $x \in \bar{D}$  в пределах области  $D$ , занимаемой объектом [33]. Такая ЗОУ может быть названа задачей оптимального программного управления, решение которой определяет искомый алгоритм управления лишь в идеализированных условиях наличия полной информации об объекте. Качественно более сложная ситуация создается в «собственно» распределенных системах с пространственно–распределенными входными воздействиями  $w(x,t)$  и управляемыми величинами  $Q(x,t)$ . Обычно здесь имеются в виду воздействия с независимыми друг от друга пространственным ( $x$ ) и временным ( $t$ ) аргументами. Существует целый ряд ОРП с перемещающимися в пространстве источниками того или иного вида субстанции, рассматриваемыми в качестве входов распределенных блоков (например, мощный локализованный источник тепла, образуемый сканирующим в пространстве электронным или лазерным лучом) [34]. В таком случае  $w$  описывается функциями трех аргументов вида  $w(x,t,x-s(t))$  – , где  $s(t)$  – закон движения источника, расширяющими класс входных воздействий по сравнению с  $w(x,t)$  [32].

### 2.2.1 Классификация методов синтеза

Как было сказано выше, анализ и синтез ОРП требуют создания нового аппарата на базе нетрадиционных для теории управления математических

средств. В настоящее время известно несколько методов синтеза САУ для объектов с распределенными параметрами [29,33], классификация которых приведена на рисунке 2.4.

1) Метод АКОР базируется на принципе оптимальности Беллмана и принципе максимума Понтрягина. С помощью этого метода получают интегро–дифференциальные уравнения типа Риккати. Аналитическое решение задачи АКОР для СРП имеет место, когда существует полная биортогональная система собственных вектор–функций.

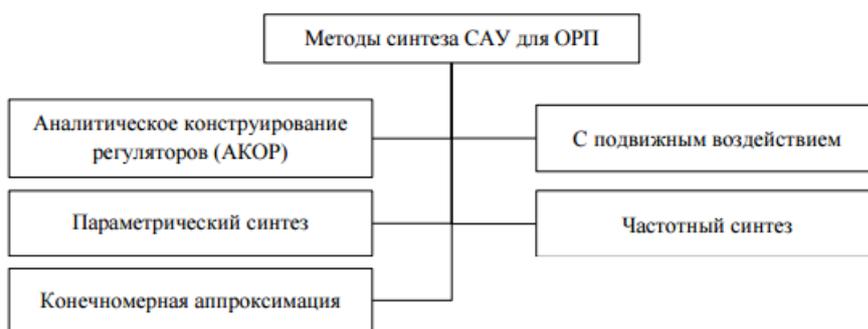


Рисунок 2.4 – Классификация методов синтеза

Для выработки управляющего воздействия синтезированным по этому методу регулятором, необходимо знать состояние объекта управления, а измерению, как правило, доступно состояние ограниченного числа точек распределенных объектов, поэтому возникает задача восстановления функций состояния объекта, или задача наблюдения по результатам измерений. Основной трудностью при использовании этого метода является решение интегро–дифференциального уравнения типа Риккати.

2) Метод параметрического синтеза регуляторов можно разделить на два направления.

Первое направление заключается в синтезе модели регулятора с выбранной структурой. Здесь необходимые качество и точность выбранных критериев системы достигаются с помощью перебора параметров управляющего устройства с использованием численного экспериментирования [29].

Второе направление основывается на использовании структурной теории, в которой введено понятие распределенных блоков. Описание распределенных блоков получается с помощью импульсной переходной функции (функции Грина). Под распределенным блоком понимается устройство любой природы, в котором выделены вход и выход [33].

Для синтеза сложных многосвязных систем в методе определены операции соединения отдельных блоков, а также выведена передаточная функция замкнутой системы.

3) Суть метода конечномерной аппроксимации заключается в конечномерном представлении частных производных на основе метода «сеток» и «прямых», а также с использованием рядов Тейлора [29]. По сути, численное решение уравнений в частных производных с применением вычислительной техники основывается на использовании конечномерной аппроксимации, но в широком круге задач процесс аппроксимации является неустойчивым относительно погрешностей промежуточных вычислений, и иногда весьма сложно доказать сходимость конечно мерной аппроксимации.

4) Синтез систем управления с подвижным воздействием. Такие системы оказались новым классом для систем с распределенными параметрами, что потребовало разработки новых методов их синтеза и анализа. Главной трудностью при создании подобных систем является построение высокоскоростных источников воздействия произвольной физической природы.

5) Частотный метод широко используется для анализа и синтеза систем с сосредоточенными параметрами, что связано с возможностью непосредственно измерить величины, которые задействованы при расчетах [29].

Как известно, разработано большое количество способов анализа одномерных систем управления с сосредоточенными параметрами по частотным характеристикам. Исходными данными для такого рода исследования являются характеристический полином или передаточная функция части или всей системы управления с сосредоточенными

параметрами. В системах с распределенными параметрами не всегда удается выделить аналогичный характеристический полином. В тех случаях, когда можно выделить передаточные функции, они представляются отношением иррациональных или трансцендентных функций, зависящих от физических свойств объекта, граничных и начальных условий.

### 2.3 Способы анализа объектов с распределенными параметрами

Моделирование (в широком смысле) – это основной метод исследования во всех областях знаний. Методы моделирования используются для оценок характеристик сложных систем и принятия научно обоснованных решений в разных сферах человеческой деятельности. В настоящее время моделирование широко используется в сфере систем управления, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации. Методы моделирования находят применение при исследовании, проектировании, внедрении ВС и АСУ.

Выбор метода моделирования и необходимая детализация проекта зависят от этапа разработки системы. На этапах обследования объекта управления и разработки технического задания на проектирование ВС, АСУ модели носят описательный характер и преследуют цель наиболее полно представить в компактной форме информацию об объекте, необходимую разработчику системы.

На этапе разработки технического проекта ВС, АСУ моделирование служит для решения задачи проектирования, т.е. выбора оптимального варианта по определенному критерию при заданных ограничениях из множества допустимых (построение оптимизационных моделей). На этапе внедрения и эксплуатации ВС, АСУ строятся модели для проигрывания возможных ситуации для принятия обоснованных и перспективных решений по управлению объектом.

Существующую или проектируемую систему можно с достаточной точностью исследовать с помощью математических моделей (аналитических и имитационных) с целью оптимизации процесса функционирования системы.

Аналитическое моделирование заключается в построении модели, основанной на описании поведения объекта или системы объектов в виде аналитических выражений – формул. При таком моделировании объект описывается системой линейных или нелинейных алгебраических или дифференциальных уравнений, решение которых может дать представление о свойствах объекта. К полученной аналитической модели, с учетом вида и сложности формул применяются аналитические или приближенные численные методы. Реализация численных методов обычно возлагается на вычислительные машины, обладающие большими вычислительными мощностями. Тем не менее, применение аналитического моделирования ограничено сложностью получения и анализа выражений для больших систем.

Имитационное моделирование предполагает построение модели с характеристиками, адекватными оригиналу, на основе какого-либо его физического или информационного принципа. Это означает, что внешние воздействия на модель и объект вызывают идентичные изменения свойств оригинала и модели. При таком моделировании отсутствует общая аналитическая модель большой размерности, а объект представлен системой, состоящей из элементов, взаимодействующих между собой и с внешним миром. Задавая внешние воздействия, можно получить характеристики системы и провести их анализ. В последнее время имитационное моделирование все больше ассоциируется с моделированием объектов на компьютере, что позволяет в интерактивном режиме исследовать модели самых разных по природе объектов.

При имитационном моделировании воспроизводится алгоритм функционирования системы во времени – поведение системы; причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания, что позволяет по

исходным данным получить дающие возможность оценить характеристики системы сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени. Основным преимуществом имитационного моделирования является возможность решения сложных задач.

Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные и другие воздействия, которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. В настоящее время имитационное моделирование – наиболее эффективный метод исследования систем, а часто единственный, практически доступный метод получения информации о поведении системы, и именно такой тип моделирования интересен при рассмотрении ОРП, содержащих процессы теплообмена, диффузии и гидродинамики. Основными методами имитационного моделирования являются: аналитический метод, метод статического моделирования и комбинированный метод (аналитико–статистический) метод.

Аналитический метод применяется для имитации процессов в основном для малых и простых систем, где отсутствует фактор случайности. Например, когда процесс их функционирования описан дифференциальными или интегро–дифференциальными уравнениями. Метод назван условно, так как он объединяет возможности имитации процесса, модель которого получена в виде аналитически замкнутого решения, или решения полученного методами вычислительной математики.

Метод статического моделирования первоначально развивался как метод статистических испытаний (Монте–Карло). Это – численный метод, состоящий в получении оценок вероятностных характеристик, совпадающих с решением аналитических задач (например, с решением уравнений и вычислением определенного интеграла). В последствии, этот метод стал применяться для имитации процессов, происходящих в системах, внутри

которых есть источник случайности или которые подвержены случайным воздействиям.

Комбинированный метод (аналитико–статистический) позволяет объединить достоинства аналитического и статистического методов моделирования. Он применяется в случае разработки модели, состоящей из различных модулей, представляющих набор как статистических так и аналитических моделей, которые взаимодействуют как единое целое. Причем в набор модулей могут входить не только модули соответствующие динамическим моделям, но и модули соответствующие статическим математическим моделям [33].

### 2.3.1 Принципы и методы построения имитационных моделей

Процесс функционирования сложной системы можно рассматривать как смену ее состояний, описываемых ее фазовыми переменными  $Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_n(t)$  в  $n$  – мерном пространстве. Задачей имитационного моделирования является получение траектории движения рассматриваемой системы в  $n$  – мерном пространстве  $(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ , а также вычисление некоторых показателей, зависящих от выходных сигналов системы и характеризующих ее свойства.

Термин «движение» подразумевает под собой любое изменение, происходящее в системе.

Известны два принципа построения модели процесса функционирования систем [34].

#### 1) Принцип $\Delta t$

Рассмотрим этот принцип для детерминированных систем. Предположим, что начальное состояние системы соответствует значениям  $Z$  в момент времени  $t_0$   $Z_1(t_0), Z_2(t_0), \dots, Z_n(t_0)$ . Принцип  $\Delta t$  предполагает преобразование модели системы к такому виду, чтобы значения  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  в момент времени  $t_1=t_0+\Delta t$  можно было вычислить через начальные значения, а в момент  $t_2=t_1+\Delta t$  через

значения на предшествующем шаге и так для каждого  $i$ -ого шага ( $\Delta t = const, i = 1 \div M$ ). Для систем, где случайность является определяющим фактором, принцип  $\Delta t$  заключается в следующем:

1. Определяется условное распределение вероятности на первом шаге  $t_1=t_0+\Delta t$  для случайного вектора  $(Z_1^1, Z_2^1, \dots, Z_n^1)$ . Условие состоит в том, что начальное состояние системы соответствует точке траектории  $(Z_1^0, Z_2^0, \dots, Z_n^0)$ .

2. Вычисляются значения координат точки траектории движения системы  $t_1=t_0+\Delta t$ , как значения координат случайного вектора, заданного распределением, найденным на предыдущем шаге.

3. Отыскиваются условное распределение вектора  $(Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_n^2)$  на втором шаге  $t_2=t_1+\Delta t$ , пока  $t_i=t_0+i \cdot \Delta t$  не примет значения  $t_m = t_0 + M \cdot \Delta t$ .

Принцип  $\Delta t$  является универсальным, применим для широкого класса систем. Его недостатком является неэкономичность с точки зрения затрат машинного времени.

## 2) Принцип особых состояний (принцип $\delta z$ ).

При рассмотрении некоторых видов систем можно выделить два вида состояний:

– обычное, в котором система находится большую часть времени, при этом  $Z_i(t), (i = 1 \div n)$  изменяются плавно.

– особое, характерное для системы в некоторые моменты времени, причем состояние системы изменяется в эти моменты скачком.

Принцип особых состояний отличается от принципа  $\Delta t$  тем, что шаг по времени в этом случае не постоянен, является величиной случайной и вычисляется в соответствии с информацией о предыдущем особом состоянии [34].

Примерами систем, имеющих особые состояния, являются системы массового обслуживания. Особые состояния появляются в моменты поступления заявок, в моменты освобождения каналов и т.д.

Для таких систем применение принципа  $\Delta t$  является нерациональным, так как при этом возможны пропуски особых состояний и необходимы методы их обнаружения.

В практике использования имитационного моделирования описанные выше принципы, при необходимости, комбинируют.

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность исследовательских и технико-конструкторских работ определяется не столько масштабом разработки, оценить которую на первых этапах жизненного цикла ресурсоэффективного и высокотехнологического продукта бывает довольно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является неотъемлемым условием при поиске источников финансирования для проведения объектно-конструкторских работ (ОКР) и коммерциализации её результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых работ.

Необходимо осознавать, что коммерческая привлекательность ОКР определяется не только повышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какой будет его цена, какой срок потребуется для выхода на рынок, каков бюджет технического проекта и т.д.

Объектом исследования в данной работе является участок грунта с располагаемым в нём горизонтальным контуром теплообмена ТНУ.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является исследование, проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения в области геотермального теплоснабжения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследовательско-конструкторских работ;
- планирование исследовательско-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## 6.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технологического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [25].

Применительно к исследуемому объекту, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также предполагаемые возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT. При организации матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта, Сл – слабые стороны проекта, В – возможности, У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 6.1.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: С – сильные стороны проекта, Сл – слабые стороны проекта, В – возможности, У – угрозы, «+» – сильное соответствие, «-» – слабое соответствие.

Интерактивные матрицы сведены в таблицы 6.2 и 6.3.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 6.2 и 6.3, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют достаточно низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 6.1 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Повышение безопасности производства</p> <p>С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей, квалифицированных кадров по работе с оборудованием</p> <p>Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл4. Тяжелые условия труда</p> <p>Сл5. Дороговизна оборудования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных деталей</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных систем</p> <p>В5. Увеличение производительности системы отопления</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1;</p> <p>В3С5;</p> <p>В4С1С2С5;</p> <p>В5С1С2С3С4.</p>	<p>В2Сл1Сл2Сл3;</p> <p>В3Сл5;</p> <p>В4Сл3;</p> <p>В5Сл4Сл5.</p>

Продолжение таблицы 5.1

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологии производства</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</p>	<p>У1С3;</p> <p>У3С5;</p> <p>У4С1С2С5.</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5;</p> <p>У2Сл5;</p> <p>У3Сл2Сл3Сл5;</p> <p>У4Сл3Сл5.</p>
--	--	--

Таблица 6.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	0
	В2	+	-	-	-	0
	В3	-	-	-	-	+
	В4	+	+	0	0	+
	В5	+	+	+	+	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	0	-	-	-	0
	В2	+	+	+	-	-
	В3	-	-	-	-	+
	В4	0	0	+	-	-
	В5	0	0	-	+	+

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	0	0
	У2	-	-	-	-	0
	У3	-	-	-	-	+
	У4	+	+	0	0	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	+	+
	У2	0	0	0	-	+
У3	0	+	+	-	+	
У4	0	0	+	-	+	

## 6.2 Разработка графика проведения ОКР

Обязательной частью данного проекта является составление графика проведения ОКР, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

В ходе построения графика учитывается ряд факторов, один из основных – трудоемкость работы [25].

### 6.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты, по большей части, образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения ОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$  используется следующая формула:

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

где  $t_{ож i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты расчетов ожидаемой трудоемкости представлены в таблице 6.4.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные показатели продолжительности работ в таблице 6.4.

### 6.2.2 Разработка графика выполнения технического проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов в таблице 6.4.

В приведенной ниже таблице номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – составление ТЗ – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – составление функциональной и структурной схем исследуемой системы – разработка наглядного представления технического проекта;

№ 4 – выбор оборудования – подбор необходимых технических средств, согласно ТЗ;

Таблица 6.4 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	$t_{\min}$ , чел.-дн	$t_{\max}$ , чел.-дн	$t_{\text{ож}}$ , чел.-дн	Ч, чел	$T_p$ , дн	$T_k$ , дн
1	Составление ТЗ	6	9	7,2	1	7,2	11
2	Изучение литературы	12	16	13,6	1	13,6	20
3	Создание модели объекта	6	8	6,8	1	6,8	10
4	Выбор оборудования	5	9	6,6	1	6,6	10
5	Составление заказной спецификации	7	10	8,2	1	8,2	12
6	Составление пояснительной записки	18	24	20,4	1	20,4	30
7	Проверка проекта	24	30	26,4	2	13,2	20
8	Монтаж системы	6	9	7,2	1	7,2	11
9	Пусконаладочные работы	26	32	28,4	2	14,2	21
10	Сдача проекта	13	16	14,2	2	7,1	10
Итого:							156

№ 5 – составление заказной спецификации;

№ 6 – составление пояснительной записки;

№ 7 – проверка проекта – включает в себя ознакомление руководителя с выполненными работами, возможные корректировки и исправления, заказ оборудования;

№ 8 – монтаж системы;

№ 9 – пусконаладочные работы – включают предэксплуатационные проверки системы, поиск причин и устранение возможных неисправностей, анализ функционирования системы;

№10 – сдача проекта в эксплуатацию – в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта.

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках ОКР проекта на основе табл. 6.4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителя работы.

Ленточный график для данной ВКР представлен в таблице 6.5.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 15 декад, начиная со второй декады января, заканчивая первой декадой июня.

Беря в расчет вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Таблица 6.5 – Календарный план-график проведения ОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																
				Янв.		Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	11																	
2	Изучение литературы	Дипломник	20																	
3	Создание модели объекта	Дипломник	10																	
4	Выбор оборудования	Дипломник	10																	
5	Составление заказной спецификации	Дипломник	12																	
6	Составление пояснительной записки	Дипломник	30																	
7	Проверка проекта	Руководитель	20																	
		Дипломник	20																	
8	Монтаж системы	Техник	11																	
9	Пусконаладочные работы	Дипломник	21																	
		Техник	21																	
10	Сдача проекта в эксплуатацию	Руководитель	10																	
		Дипломник	10																	

Обозначения:

 - руководитель
  - дипломник
  - техник

Занятость исполнителей сводится в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Показатели рабочего времени исполнителей проекта

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник	Техник
Календарное число дней работы	41	124	23
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	6	40	5
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	35	84	18

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 156 дней. Из них:

124 дня – рабочая занятость дипломника;

41 день – рабочая занятость руководителя;

23 дня – рабочая занятость техника;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 106 дней. Из них:

84 дня – продолжительность выполнения работ дипломником;

35 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

23 дня – продолжительность выполнения работ техником.

### 6.3 Составление сметы

При планировании бюджета ТП должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [25]. В процессе формирования бюджета ТП используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты ТП;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 6.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование внешнего теплообменника ТНУ

В данную статью включаются все затраты, связанные с приобретением спецоборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для создания внешнего контура теплообмена. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим ставкам, либо по договорной цене. Расчет затрат по данной статье указан в таблице 6.7.

В пункте 4 производится обоснование выбора приборов с метрологической точки зрения. В данной части работы стоит цель провести анализ стоимости приборов и оборудования, включаемых в систему регулирования.

В таблице 6.7 приводятся компоненты системы внешнего теплообмена ТНУ, а именно циркуляционный насос, ПНД – труба, соединительные муфты, U-образный наконечник, рабочее тело, коллектор.

В таблице 6.7 представлены несколько видов исполнения.

Исполнение 1 (Исп.1) подразумевает «горизонтальную систему» и включает в себя:

- ПНД - трубу;
- соединительные муфты;
- циркуляционный насос;
- коллектор.

Данное исполнение позволяет достичь наименьших затрат и отвечает достаточным требованиям для выполнений требуемых операций.

Исполнение 2 (Исп.2) отображает «вертикальную систему» и включает в себя:

- ПНД-труба;

- циркуляционный насос;
- соединительные муфты;
- коллектор.

Данное исполнение обладает сравнительно одинаковой эффективностью с первым исполнением, однако занимает меньшую площадь участка.

Исполнение 3 (Исп.3) отображает «вертикальную систему с зондами» и включает в себя:

- ПНД-труба;
- циркуляционный насос;
- соединительные муфты;
- U-образный наконечник;
- коллектор.

Данный тип исполнения имеет преимущества перед двумя другими по эффективности отбора тепла, однако в значительной степени уступает по стоимости.

Выбор исполнения зависит от различных факторов (имеющиеся финансовые ресурсы, требования надежности, условия монтажа и т.д.). В данном техническом проекте выбирается исполнение 1, так как оно является наиболее дешевым и отвечает заданным требованиям к управлению и контролю технологического процесса.

Первоначальная стоимость оборудования второго исполнения, с учетом 15% затрат на доставку и монтаж, составляет 159 тыс.рублей:

Таблица 6.7 – Стоимость оборудования

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Циркуляционный насос	Шт.	1	1	1	30000	30000	30000
ПНД-труба	п.м.	300	300	250	6500	6500	5500
Соединительные муфты	Шт.	2	2	10	300	300	1500
U-образный наконечник	Шт.	-	-	-	-	-	5000
Коллектор	Шт.	2	2	2	1000	1000	3000
Суммарная стоимость, руб					37800	37800	45000

Коэффициент учитывающий затраты на транспортировку:

Первоначальная стоимость оборудования = 37800 × 1,15 = 43,5 тыс. рублей.

### 6.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 6.5);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_d},$$

где  $F_d$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

$Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{допл}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$  – районная доплата, руб.;

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>тс</sub> , руб.	З <sub>допл</sub> , руб	З <sub>р.к.</sub> , руб	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	14584	2200	5036	21820	839	35	29373
Дипломник	8022	4000	3607	15629	601	84	50494
Техник	8371	3500	3565	15436	594	18	10686
Итого З <sub>осн</sub> , руб.							90553

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	З <sub>осн</sub> , руб.	З <sub>доп</sub> , руб.	З <sub>зп</sub> , руб.
Руководитель	0,15	29373	4427	33800
Дипломник	0,12	50494	6006	56500
Техник	0,12	10686	1314	12000
Итого З <sub>осн</sub> , руб.		90553	11747	102300

### 6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

$$Z_{\text{внеб}} = 0.3 \cdot (90553 + 11747) = 30700 \text{ рублей}$$

### 6.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 6.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	43,5	19,17
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	102,3	43,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30,7	13
5. Затраты на научные и производственные командировки	-	-
6. Контрагентские расходы	-	-
7. Накладные расходы	58,0	24,53
8. Бюджет затрат ТП	236,3	100

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 236,3 тысяч рублей, из которых 45,3% составят затраты на оборудование.

#### 6.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [25] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	5
5. Надежность	0,25	4
6. Материалоемкость	0,15	4
Итого:	1,00	4,6

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- SWOT-анализ показывает сильные и слабые стороны проекта, проведена оценка надежности и возможностей проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологических процессов. Стоит отметить, что низкие вероятности угроз обеспечивают высокую надежность для реализации проекта.

- при планировании технико-конструкторских работ разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оценить и спланировать рабочее время исполнителей.

- составление сметы технического проекта позволяет оценить первоначальный бюджет, затраты на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному критерию, дает высокий результат (4,6 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В итоге можно сделать вывод, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства, как социальную, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающую, путем внедрения более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.