

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

Институт: Энергетический
Направление подготовки 130401 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ С КОНДЕНСАЦИЕЙ ВЛАГИ ИЗ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

УДК 621.181.27

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Б	Киселёв Александр Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТЭС	Н.Н. Галашов	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	А.А. Фигурко	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и бжд	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций	М.А. Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

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
	Универсальные компетенции	
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<i>Активно владеть иностранным языком</i> 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	<i>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Профессиональные компетенции	
P6	Использовать <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания и применения <i>инновационных</i> технологий в теплоэнергетике	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач <i>инженерного анализа</i> , связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов, и процессов теплоэнергетики	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое теплотехнологическое</i> 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Использовать современные достижения науки и передовой	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24.), Критерий 5 АИОР (п.

	технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечивать его <i>высокую эффективность</i> , 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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт Энергетический
Направление подготовки **140100 Теплоэнергетика и теплотехника**
Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
А.С. Матвеев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской работы
(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ4Б	Киселев Александр Сергеевич

Тема работы:

Исследование работы котлов-утилизаторов ПГУ с конденсацией влаги из уходящих газов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.04.2016 3057/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2016 года
--	-------------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Использование конденсации влаги при глубоком охлаждении уходящих из котла утилизатора газов позволит повысить его КПД и КПД ПГУ. А также сохранить рабочее тело для ПГУ.
--	--

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>	1. Характеристика объекта исследования. 2. Анализ научно-технической литературы по вопросу конденсации влаги из дымовых газов. 3. Расчет продуктов горения газа. 4. Теоретические основы конденсации влаги из дымовых газов. 5. Выбор способа осушения дымовых газов котла-утилизатора ПГУ. 6. Тепловой и конструкторский расчет теплообменника утилизатора влаги. 7. Финансовый менеджмент. 8. Социальная ответственность. 9. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схемы установок, характеристики и показатели работы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Аннотация; Введение; Характеристика объекта исследования; Анализ научно технической литературы по вопросу конденсации влаги из дымовых газов; Выбор способа осушения дымовых газов котла-утилизатора ПГУ; Заключение.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1 сентября 2015 года
--	------------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Галашов Н.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Б	Киселев А.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ4Б	Киселёву Александру Сергеевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.01 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	1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Исикавы
2. График проведения исследования
3. Бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.16
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Б	Киселёв Александр Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ4Б	Киселёву Александру Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	В данной работе приводится исследование работы ПГУ с конденсацией влаги из уходящих газов в котле-утилизаторе. Использование конденсации влаги при глубоком охлаждении уходящих из котла утилизатора газов позволит повысить его КПД и КПД ПГУ. А также сохранить рабочее тело для ПГУ. Большая часть работы выполняется за компьютером, с подключенными функциями REFPROP, поэтому рабочим местом является аудитория с компьютерами - 101a - аудитория четвертого учебного корпуса ТПУ.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	- Анализ вредных и опасных факторов при разработке проектируемого решения; - разработка мероприятий по снижению выявленных воздействий
2. Экологическая безопасность	- Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	- Перечень возможных ЧС при эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС и разработка мер по ее предупреждению; - разработка действий в результате возникшей ЧС.
4. Организационные вопросы обеспечения безопасности	- Рассмотреть 3 уровня социальной ответственности предприятия.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.16
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4Б	Киселёв Александр Сергеевич		

Аннотация

Выпускная квалификационная работа 100 страницы, 9 рисунков, 10 таблиц, 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: глубокое охлаждение, продукты сгорания, коэффициент избытка воздуха, конденсация влаги, дымовые газы, котёл утилизатор, парогазовая установка, рабочее тело, теплоутилизатор, теплообменник, коэффициент полезного действия.

Цель работы: исследование возможности повышения КПД ПГУ и КПД КУ путём глубокого охлаждения продуктов сгорания топлива в котле-утилизаторе, исследование возможности сохранения рабочего тела для ПГУ путём конденсации влаги в теплоутилизаторе.

В процессе исследования выполнены расчёт продуктов горения газа, тепловой и конструкторский расчёт теплоутилизатора влаги.

В результате исследования было установлено, что использование конденсации влаги при глубоком охлаждении уходящих из котла-утилизатора газов, позволит повысить КПД самого котла-утилизатора и КПД ПГУ. А также поможет сохранить рабочее тело для ПГУ.

Содержание

Запланированные результаты обучения выпускника.....	2
Задание на выполнение выпускной квалификационной работы	5
Аннотация.....	9
Список обозначений и сокращений	12
Введение	13
1. Характеристика объекта исследования.....	14
2. Анализ научно-технической литературы по вопросу конденсации влаги из дымовых газов	17
3. Выбор способа осушения дымовых газов котла-утилизатора.....	23
4. Тепловой и конструкторский расчеты теплоутилизаторов влаги.....	26
4.1 Тепловой расчет контактного теплоутилизатора-экономайзера при $\alpha = 1$	26
4.1.1 Расчёты теплоутилизатора-экономайзера при коэффициентах избытка воздуха $\alpha = 1,5; 2; 2,5; 3$	33
4.2 Тепловой и конструкторский расчеты конденсационного поверхностного теплоутилизатора	36
4.2.1 Тепловой и конструкторский расчеты конденсационного поверхностного теплоутилизатора для различных коэффициентов избытка воздуха	40
5. Расчёт продуктов сгорания топлива	41
5.1 Справка по i-d диаграмме.....	41
5.2 Расчёт продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$	46
5.3 Расчёты продуктов горения топлива при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,5; 2; 2,5; 3$	50
5.4 Зависимость температуры точки росы в продуктах горения от коэффициента избытка воздуха	52
5.5 Зависимость влагосодержания от коэффициента избытка воздуха.	53
6. Финансовый менеджмент	54
6.1 Диаграмма Исикавы	55
6.2 Планирование этапов и работ по выполнению ВКР	56
6.3 Экономические затраты на выполнение ВКР	58
7. Социальная ответственность	63
7.1 Общие положения	63
7.2 Анализ опасных и вредных проявлений в компьютерной аудиторрии	73

7.3 Мероприятия по устранению опасностей и вредностей	64
7.4 Освещение.....	65
7.5 Обеспечение микроклимата помещений	67
7.6 Обеспечение санитарных норм по уровню шумов	68
7.7 Обеспечение санитарных норм по уровню ионизирующего излучения и электромагнитного излучения	68
7.8 Расчет искусственного освещения	70
7.9 Экологическая безопасность.....	72
7.10 Очистка сточных вод.....	73
7.11 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
7.12 Организационные вопросы обеспечения безопасности	77
Заключение для раздела социальная ответственность	79
Заклучение	81
Список литературы	83
Приложение А	86

Список обозначений и сокращений

d – влагосодержание, кг/кг;

h – энтальпия, кДж/кг;

M – масса киломоля, кг/кмоль;

P – давление, Па;

q – удельное количество теплоты, Дж/кг;

R – газовая постоянная, Дж/кг · К;

r – объёмная доля, удельная теплота фазового перехода, Дж/кг;

s – энтропия, Дж/кг · К;

T – абсолютная температура, К;

t – температура, °С;

V – объём, м³;

Δ – разность или изменение значений;

α – коэффициент избытка воздуха;

μ – мольная или молекулярная масса, кмоль;

ρ – плотность, кг/м³;

φ – относительная влажность.

Введение

Многие годы при проектировании и эксплуатации котлов, сжигающих органическое топливо, одной из главных задач было не допустить конденсацию водяного пара в уходящих дымовых газах, так как содержащиеся в конденсате оксиды серы, азота и других вредных веществ приводят к коррозии металла поверхностей нагрева и газоходов, а также к разрушению внутренней стенки дымовой трубы.

Для того, чтобы не допустить конденсацию водяного пара, необходимо поддерживать температуру уходящих газов выше температуры точки росы, которая при сжигании природного газа составляет примерно 55°C. С учетом снижения температуры уходящих газов при снижении нагрузки котла для номинального режима ее обычно принимают выше 100°C. Высокая температура приводит к большой потере тепла с уходящими газами, в результате КПД котла брутто при работе на газе не превышает 95%, при условии проведения расчета по низшей теплоте сгорания топлива. При этом бесполезно теряется теплота, затраченная на парообразование влаги, и все оксиды вредных веществ выходят с дымовыми газами и загрязняют окружающую среду.

1 Характеристика объекта исследования

Использование конденсации влаги, при глубоком охлаждении уходящих из котла утилизатора газов, позволит повысить его КПД и КПД ПГУ. Это также даст возможность сохранить рабочее тело для ПГУ, повысит надёжность работы газоходов, дымососов, дымовой трубы.

Эта технология в настоящее время признана одной из наиболее ресурсоэффективных и широко применяется как за рубежом, так и в России, о чем говорит быстро растущее количество научных публикаций. Пока эта технология в большей мере используется в небольших отопительных котлах, работающих на газе, но имеется ряд работ по применению ее на водогрейных и паровых котлах большой мощности [1-6], а также в котлах-утилизаторах (КУ) парогазовых установок (ПГУ) [7].

Расчет КПД таких котлов по низшей теплоте сгорания, не учитывающей теплоту конденсации водяных паров, приводит к тому, что он становится выше 100%.

Для обеспечения надежной конденсации температура уходящих газов должна быть ниже точки росы на 10°C, т.е. при работе на природном газе должна быть ниже 40°C, при этом КПД котла при расчете по высшей теплоте сгорания будет на уровне 97%, в то время как у котлов без конденсации он составит 85%, что позволяет снизить расход топлива на 15%.

Количество вредных выбросов (CO_2 , NO_x) в уходящих дымовых газах котлов с конденсацией водяных паров в 5-7 раз ниже количества вредностей в уходящих газах традиционных газовых котлов. У пылеугольных котлов эффект от улавливания вредных веществ при конденсации водяных паров еще выше.

Главными проблемами применения этой технологии являются:

1. Коррозия оборудования из-за агрессивных свойств конденсата.
2. Необходимость нейтрализации и очистки конденсата для охраны окружающей среды и возможности полезного использования.

3. Зависимость температуры точки росы от вида топлива и коэффициента избытка воздуха.

4. Сложность теплообмена и отсутствие надежных методик его расчета для разных типов теплообменников–конденсаторов.

5. Необходимость обеспечения надежной работы дымовой трубы при всех режимах работы котла.

Для решения первой проблемы при проектировании теплообменников–конденсаторов нужно учитывать, что конденсат имеет высокую коррозионную активность, поэтому материалы для теплообменников, элементов сбора и отвода конденсата должны иметь хорошие антикоррозионные свойства. В последнее время наиболее широко применяется нержавеющая сталь. Хотя ее применение повышает стоимость котла, но существенное увеличение КПД быстро окупает дополнительные затраты. Также могут применяться биметаллические трубы (сталь-алюминий), полимерные материалы, керамика.

Вторая проблема решается применением химических и термических методов очистки конденсата. Может применяться нейтрализация конденсата с помощью щелочи, а также его деаэрация для удаления CO_2 .

Третья проблема заключается в том, что температура точки росы достаточно сильно зависит от вида сжигаемого топлива и коэффициента избытка воздуха в уходящих газах (α_{yx}). При сжигании природного газа относительно коэффициента избытка воздуха эта температура изменяется от 58 при $\alpha_{yx}=1$ до 50°C при $\alpha_{yx}=1.4$. Поэтому для любых режимов должна быть обеспечена надежная работа котла с конденсацией водяного пара из дымовых газов.

Четвертая проблема состоит в том, что расчет теплообмена в теплообменниках–конденсаторах представляет сложную задачу. Конвективный теплообмен с конденсацией водяного пара при наличии растворенных газов, а при сжигании твердого топлива и золовых частиц, слабо изучен, поэтому расчеты ведутся на основе полуэмпирических методик, имеющих большую погрешность.

Также проблемой при применении котлов с конденсацией водяного пара является обеспечение надежной работы дымовой трубы. Низкая температура уходящих газов не обеспечивает необходимую «самотягу», поэтому требуется либо подогрев газов перед трубой, либо увеличение напора дымососа. Интересное решение для подогрева уходящих газов представлено в работе [6], где подогрев производится за счет теплоты конденсации водяных паров.

Таким образом, применение технологии работы котлов с конденсацией водяных паров из уходящих газов весьма перспективно. Особенно эта технология перспективна для котлов-утилизаторов ПГУ, КПД которых значительно ниже, чем у энергетических котлов. При этом работа ПГУ на природном газе с большими коэффициентами избытка воздуха позволяет повысить КПД КУ с 85 до 95%.

2 Анализ научно-технической литературы по вопросу конденсации влаги из дымовых газов

В настоящее время в Российской Федерации актуальной проблемой теплоэнергетики является разработка и внедрение энергосберегающих теплотехнологий.

Давно доказано, что достаточно эффективным путем решения проблемы энергосбережения является глубокая утилизация теплоты продуктов сгорания топлива в котлах малой и средней мощностей, работающих на природном газе при охлаждении дымовых газов до температуры ниже точки росы [8-16]. То есть теплотехнология, с помощью которой можно сконденсировать водяные пары из продуктов горения топлива.

В настоящее время начали появляться публикации, в которых предполагается использование технологии глубокого охлаждения продуктов сгорания, которую возможно применить к мощным энергетическим котельным агрегатам [17-19].

Актуальность и перспективность проведения научных исследований в направлении наиболее полного использования энергетического потенциала органического топлива не вызывает сомнений и подтверждается многочисленными научно-техническими разработками стран Европы, США, Японии и др. [20-27]. Мировая практика свидетельствует, что на данном этапе развития технологий глубокой утилизации теплоты уходящих газов более перспективным является их использование в котлах, работающих на природном газе. Это обусловлено тем, что уголь и мазут имеют в своем составе сернистые соединения. При их сжигании в продуктах сгорания содержатся SO_2 и SO_3 , которые в условиях конденсации водяных паров приводят к сернокислотной коррозии поверхностей нагрева котла.

Коэффициент полезного действия котлов, работающих при сжигании природного газа, составляет 82÷92 % при учёте того, что расчёт ведётся по низшей теплоте сгорания топлива. Анализ эксплуатационных показателей котельных установок отечественных систем отопления показал, что достаточно

большое количество котлов имеют более низкие значения КПД [27]. Основной причиной этого являются значительные потери теплоты с уходящими газами. Проводя расчёты по низшей теплоте сгорания при температурах уходящих газов в пределах $110 \div 220$ °С, данные потери будут составлять порядка $6 \div 12$ %. Одним из наиболее эффективных и перспективных методов снижения потерь теплоты с уходящими газами является их охлаждение ниже температуры точки росы. При этом выделяется значительная часть низкопотенциального тепла как за счёт конденсации из продуктов сгорания газа водяных паров (латентная теплота), так и за счёт охлаждения уходящих газов (физическая теплота). Данная технология позволяет достаточно сильно повысить коэффициент использования топлива (к.и.т.) на $10 \div 15$ % и, тем самым, обеспечить весомую экономию топлива. Например, в работе [10] приведено, что количество теплоты, выделяющееся при полной конденсации водяных паров из дымовых газов (т.е. при температуре уходящих газов $\vartheta_{yx} = 0^\circ\text{C}$) составляет 11,9 % по отношению к низшей теплоте сгорания топлива (около 4190 кДж на 1 м^3 природного газа). Однако реальная возможность охлаждения уходящих газов (в связи с отсутствием теплоносителя с температурой близкой к нулю) составляет $20 \div 40$ °С, что несколько снижает полезный эффект использования данной теплоты.

При внедрении технологий глубокой утилизации теплоты уходящих газов появляется реальная возможность улучшения экологических показателей котельных за счёт уменьшения выбросов теплоты, углекислоты и оксидов азота в окружающую среду. К достоинствам таких теплотехнологий следует также отнести возможность использования конденсата в качестве рабочего тела для ПГУ, либо в качестве подпиточной воды для котлоагрегатов и систем теплоснабжения [8, 10, 15, 28, 29].

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что проблема повышения экономичности котлов-утилизаторов и ПГУ, работающих при сжигании природного газа, является одной из наиболее актуальных.

Наиболее эффективным и перспективным путем решения этой проблемы является максимально возможная утилизация теплоты уходящих газов, которую

можно осуществить путем их глубокого охлаждения в специально созданных теплоутилизаторах. Перспективными с точки зрения обеспечения высокой эффективности теплообмена и компактности являются поверхностные рекуперативные теплообменники с оребренными трубными пучками или термосифонами, с пластинчатыми элементами или регенеративные теплообменные аппараты с промежуточными подвижными теплоносителями.

Разработка технологий глубокого охлаждения газов сопряжена с необходимостью решения ряда задач как в области совершенствования их математических моделей и методов тепловых расчетов теплообменников, так и при выборе типа и создании высокоэффективных конструкций теплоутилизаторов. Это обусловлено целым рядом факторов.

Во-первых, главной особенностью использования технологии глубокой утилизации теплоты уходящих газов при создании, модернизации и реконструкции котлов утилизаторов, является оценка зависимости эффективности выполненных теплоутилизаторов от конкретных схематических решений по более рациональному использованию теплоты после утилизации.

Полученная теплота уходящих газов и теплота конденсации водяных паров может быть полезно использована в системах ГВС, отопления, вентиляции, кондиционирования и т.п. Обширное распространение специально созданных схемных решений для утилизации теплоты требует применять соответствующее тепло-утилизационное оборудование: теплообменные аппараты поверхностного, контактно-поверхностного и контактного типов. Коэффициент использования топлива, т.е. его экономия, выступает одним из главных критериев при оценке эффективности утилизации теплоты в данных схемах. При этом, как правило, не принимается во внимание вопрос пагубного обратного влияния уменьшения расхода топлива на теплотехнические показатели котельного оборудования (из-за уменьшения скорости движения газов ухудшаются условия теплообмена на поверхностях нагрева, что аналогично эксплуатации котла при частичных нагрузках). Кроме этого, при большом обилии схемных решений достаточно сложно оценить степень

совершенства методов расчета и конструкций теплоутилизаторов. В соответствии с этим наиболее правильным путём является объединение котла и теплоутилизатора в замкнутую единую систему, при условии того, что расход топлива останется на прежнем уровне. При этом эффективность утилизации нужно оценивать по возрастанию КПД системы и дополнительной выработке горячего воздуха, горячей воды, конденсата.

Во-вторых, при создании системы «котел–теплоутилизатор» важным этапом является выбор наиболее эффективного типа теплоутилизационного устройства. Анализ литературы по вопросам глубокого охлаждения уходящих из котла газов говорит о том, что требования к теплоутилизаторам значительно отличаются от требований, которые предъявляются к традиционному котельному оборудованию, для обеспечения низкой материалоёмкости, компактности оборудования, антикоррозийной стойкости, высокой надёжности, низких эксплуатационных и капитальных затрат и пр. В последнее время в России и за рубежом находят широкое применение поверхностные теплоутилизаторы, в которых поверхностью нагрева выступают оребренные трубы, пластинчатые элементы, термосифоны и т.п. Достаточно высокой эффективностью, с точки зрения соответствия приведенным требованиям и интенсивности теплообмена, обладают также регенеративные ТА с промежуточным шарообразным теплоносителем. Поэтому нужно отдавать предпочтение таким теплообменным аппаратам при создании теплоутилизационных систем.

В третьих, низкопотенциальное тепло, получаемое после утилизации, может быть применено для подогрева сырой воды химводоочистки, при подготовке подпиточной и питательной воды для котлоагрегатов, воды, используемой различными предприятиями для технологических целей, сетевой воды, ГВС и т.п. Однако, для того, чтобы нагревать холодную подпиточную воду систем теплоснабжения, а так же для паровых котлоагрегатов, требуется значительно меньшее количество тепла, чем это же количество тепла можно будет получить в процессе утилизации. Поэтому более правильным способом

является использование в качестве подпиточной воды конденсата, полученного при глубоком охлаждении продуктов сгорания природного газа.

Достаточно серьезная проблема возникает при нагреве холодного воздуха. Она обусловлена большим несоответствием между количеством воздуха, нагретого за счет выделившейся в процессе конденсации водяных паров из продуктов сгорания топлива теплоты, и необходимым количеством воздуха для организации процесса сжигания топлива в котле. В соответствии с вышеизложенным, достаточно важным этапом создания теплоутилизационной системы является решение вопросов эффективного теплоиспользования.

Четвертым фактором является проблема, вызванная необходимостью обеспечить надёжность газоотводящего тракта и дымовой трубы. Данная необходимость вызвана невысокой температурой и относительно большой влажностью (порядка $95 \div 100\%$) у отводимых в окружающую среду дымовых газов. При изготовлении газоходов и дымовых труб должны применяться коррозионностойкие материалы (например, пластик), или покрытия, но данные меры являются дорогостоящими. Существуют менее дорогие и простые в устройстве решения. Для того, чтобы исключить конденсацию остаточных (несконденсировавшихся) водяных паров в газовом тракте, следует, чтобы температура на его поверхности была выше температуры точки росы. Данная проблема решается за счет подмешивания к охлаждённым уходящим газам части байпасируемых мимо утилизатора дымовых газов, либо нагрева их в теплообменнике. Достаточно эффективным методом является смешивание уходящих дымовых газов и горячего воздуха.

Ещё одной достаточно значимой проблемой выступает необходимость нейтрализации кислого конденсата ($pH = 4,5 \div 6$). Литературный обзор показал, что наиболее просто нейтрализовать кислый конденсат можно при помощи деаэрационных установок котельной, если такие отсутствуют, то в специализированных дегазаторах.

Наряду с вышеперечисленными факторами, при разработке теплоутилизационных устройств конденсационного типа возникают серьезные

трудности в расчетах тепломассообменных процессов при конденсации влаги из парогазовых смесей со значительным количеством несконденсировавшихся газов как на гладких и оребренных, так и на шарообразных поверхностях. Как следует из анализа литературных источников, достоверные методы тепловых расчетов конденсационных теплообменных аппаратов отсутствуют.

Анализ методов позонного теплового расчета поверхностного ТА конденсационного типа позволил сделать такой вывод: все предлагаемые авторами литературных источников методы расчета связаны с рассмотрением процессов конденсации влаги из парогазовых смесей с небольшим содержанием инертных примесей.

В соответствии с вышеизложенным анализом литературных источников, можно утверждать, что тема глубокой утилизации теплоты уходящих газов является чрезвычайно актуальной и своевременной.

3 Выбор способа осушения дымовых газов котла-утилизатора

Для снижения температуры дымовых газов хорошо себя зарекомендовали контактные экономайзеры и конденсационные теплообменники поверхностного типа [1-5].

Контактные экономайзеры являются эффективным оборудованием при использовании теплоты дымовых газов. Тем не менее, их сфера использования не нашла широкого распространения из-за завышенных требований к качеству нагреваемой воды. Это более важно, когда котёл работает на резервном топливе - мазуте. Для того, чтобы снять данные ограничения по воде, были разработаны тепло-утилизаторы с промежуточными теплообменниками. Установка такого теплообменника к экономайзеру ликвидирует прямой контакт газов и нагреваемой воды. Промежуточный теплообменник имеет возможность быть встроен как в корпус контактного экономайзера, так и быть смонтированным отдельно в зависимости от мощности котла и теплопроизводительности теплоутилизатора.

Из числа многих типов контактных аппаратов обширное использование находят контактные теплообменники с активной насадкой (КТАН). КТАН-утилизатор - это устройство, предназначенное для утилизации теплоты из парогазовых потоков теплоэнергетического оборудования. Используется как устройство для очистки газов, и как подогреватель.

Многие годы для глубокого охлаждения дымовых газов использовались только контактные теплообменники. При применении контактных теплообменников интенсивность теплообмена достаточно высока и в разы превышает коэффициент теплоотдачи при конвективном теплопереносе.

Несмотря на это, нагреваемая контактным способом вода начинает поглощать из дымовых газов кислород и углекислоту и приобретает коррозионно-агрессивные свойства.

Использование при охлаждении дымовых газов конденсационных теплообменников поверхностного типа позволяет производить подогрев

полезных потоков воды или воздуха в схеме станции. Конденсационные теплообменники поверхностного типа достаточно конкурентоспособны и не уступают контактными теплоутилизаторам и, тем более, контактно-поверхностным аппаратам.

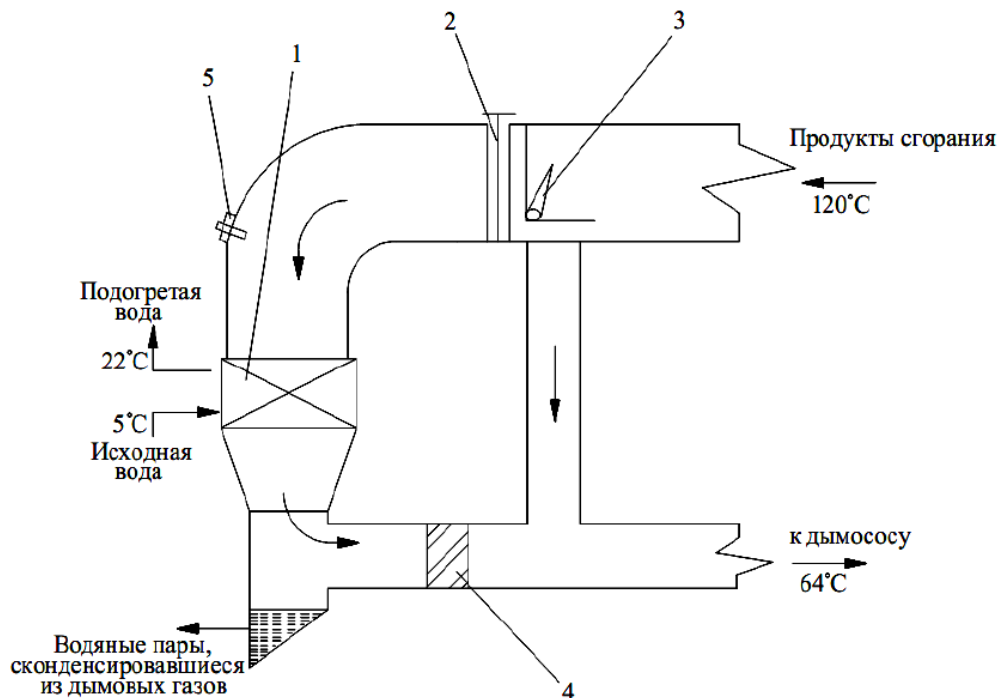


Рисунок 1 - Схема утилизации теплоты продуктов сгорания с использованием конденсационного поверхностного теплообменника [30]

1-теплоутилизатор; 2-сетчатый фильтр; 3-распределительный клапан; 4-каплеуловитель; 5-гидропневматическое обдувочное устройство.

Для того, чтобы не возникало коррозии, необходимо проводить деаэрацию. В случае использования атмосферных деаэраторов, необходимо производить нагрев воды до 100 °C паром, а это требует установки паровых котлов в котельной. Системы с использованием вакуумной деаэрации не получили распространения из-за сложности конструкции и эксплуатации. В ряде случаев необходимость деаэрации воды, нагретой контактным методом, может затруднить её дальнейшее использование.

Одним из способов устранения трудностей при глубоком охлаждении продуктов сгорания является использование конденсационных

теплообменников поверхностного типа. В конденсационных теплообменниках, так же, как и в контактных, поверхность теплообмена составляет сотни метров квадратных на метр кубический объёма аппарата.

Ранее проектирование металлических экономайзеров за котельными агрегатами проводилось из условия охлаждения газов до температур 140-150°C. Вызвано это тем, что:

- 1) из-за цен на топливо и металл нецелесообразно использовать глубокое охлаждение газов;

- 2) возможность возникновения коррозии на теплообменных поверхностях при охлаждении продуктов сгорания топлива ниже температуры точки росы.

В данный момент глубокое охлаждение дымовых газов является актуальным из-за того, что цены на топливо растут и, в связи с этим, растут цены на тепловую энергию. Так же стали появляться более совершенные конструкции теплообменников, например биметаллические.

6 Финансовый менеджмент

Для повышения КПД котла, надежности работы газоходов, дымососов и дымовой трубы, а также уменьшения выброса вредных веществ было предложено охлаждение дымовых газов ниже точки росы с помощью теплообменников–конденсаторов. Эта технология в настоящее время признана одной из наиболее ресурсоэффективных и широко применяется как за рубежом, так и в России, о чем говорит быстро растущее количество научных публикаций.

Пока эта технология в большей мере используется в небольших отопительных котлах, работающих на газе, но имеется ряд работ по применению ее на водогрейных и паровых котлах большой мощности [1-6], а также в котлах-утилизаторах (КУ) парогазовых установок (ПГУ) [7].

Результаты данной дипломной работы предполагается использовать при проектировании и разработке конструкции теплообменных аппаратов, предназначенных для утилизации тепла дымовых газов с конденсацией водяных паров в котле-утилизаторе.

Объектом исследования является оценка работы ПГУ с конденсацией влаги из уходящих газов в котле-утилизаторе.

6.1 Диаграмма Исикавы

Диаграмма Исикавы/Ишикавы (причинно-следственная диаграмма) – инструмент качества, служащий для наглядного представления причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами, обеспечивающий системный подход к определению фактических причин возникновения проблем. Иначе диаграмму называют – «рыбий скелет» - так как в законченном виде по форме она напоминает «скелет рыбы».

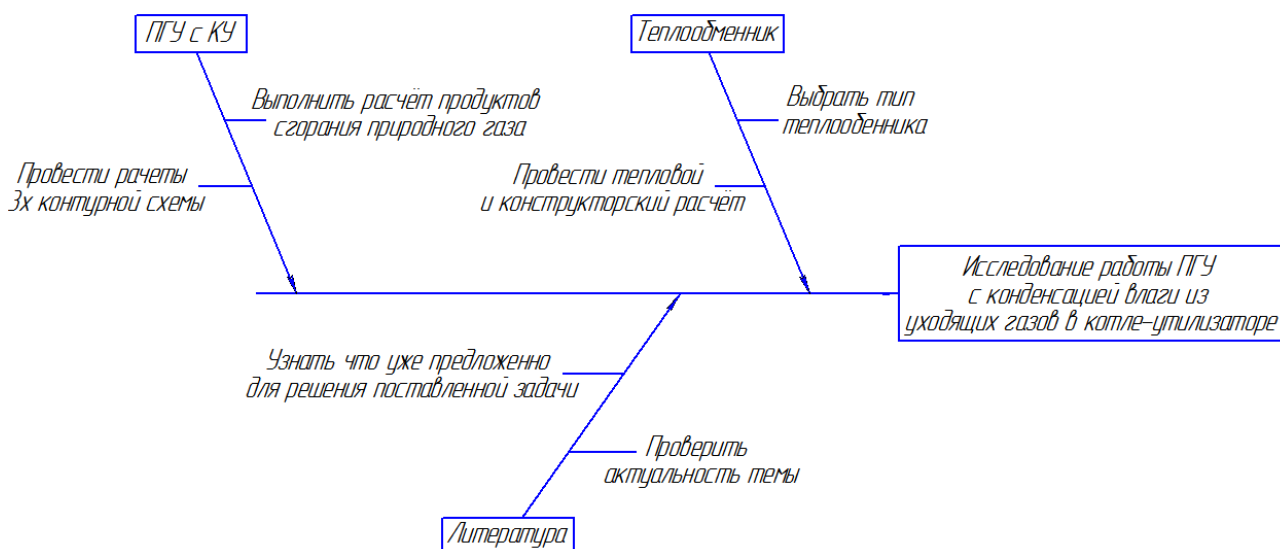


Рисунок 10 - Причинно-следственная диаграмма

На основании построенной диаграммы Исикавы для решения поставленной задачи необходимо выполнить следующие пункты:

1. Выбрать тип теплообменника-утилизатора. (Контактного или поверхностного типа); Произвести конструкторский и тепловой расчёт теплообменного аппарата.
2. Проверить насколько в России и мире актуальна тема глубокого охлаждения продуктов сгорания для увеличения КПД ПГУ и котла-утилизатора.
3. Выполнить расчёт продуктов сгорания природного газа, для различных значений коэффициента избытка воздуха; Произвести расчёт 3-х контурной схемы парогазовой установки с котлом-утилизатором.

6.2 Планирование этапов и работ по выполнению ВКР

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ по выполнению ВКР, провести распределение исполнителей по видам работ. Планирование ВКР представляет собой составленный в определенном порядке перечень работ с развернутый содержанием каждого пункта.

Таблица 7 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Наименование работ	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, (дней).
Разработка ТЗ на выполнение ВКР	1. Составление, утверждение задания	НР ВКР	7
Подбор и изучение материала по теме ВКР	2. Подбор материала по теме	Студент - дипломник	17
	3. Анализ актуальности темы ВКР	Студент - дипломник	21
	4. Выбор направления исследования	НР ВКР	7
	5. Календарное планирование работ по теме	НР ВКР Студент - дипломник	14
Экспериментальное Исследование	6.Выбор метода экспериментального исследования	НР ВКР Студент - дипломник	7
Проведение и анализ расчётов	7. Проведение расчётов	Студент - дипломник	60
	8.Анализ полученных результатов		
Обобщение и оценка результатов	9.Оценка эффективности полученных результатов	Студент - дипломник	60
	10. Сравнение результатов с ранее полученными и известными в научной литературе исследованиями	Студент - дипломник	
	11. Оценка целесообразности ВКР		
Составление отчета по ВКР	12.Составление пояснительной записки	Студент - дипломник	45
Проверка пояснительной записки	13.Ознакомление с пояснительной запиской, выявление замечаний по ВКР	НР ВКР	14
	14.Допуск студента-дипломника в защите ВКР		

Таблица 8 - Календарный план-график

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																													
				Сен.			Окт.			Ноя.			Дек.			Янв.			Фев.			Мар.			Апр.			Май.			Июн.		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление задания	НР ВКР	7	▨																													
2	Подбор материала по теме	Студент - дипломник	17		■	■	■																										
3	Анализ актуальности темы	Студент - дипломник	21					■	■	■																							
4	Выбор направления исследования	НР ВКР	7							▨																							
5	Календарное планирование работ по теме	НР ВКР Дипломник	14								▨	■																					
6	Выбор метода экспериментального исследования	НР ВКР Студент - дипломник	7									▨	■																				
7	Проведение расчётов	Студент - дипломник	30										■	■	■																		
8	Анализ полученных результатов	Студент - дипломник	30												■	■	■																
9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент - дипломник	20														■	■	■														
10	Сравнение результатов с ранее полученными	Студент - дипломник	20																■	■	■												
11	Оценка целесообразности ВКР	НР ВКР Дипломник	20																	■	■	■											
12	Составление пояснительной записки	Студент - дипломник	45																		■	■	■	■	■	■	■	■					
13	Проверка записки	НР ВКР	7																										■				
14	Допуск к защите	НР ВКР	7																											■			

■ – Руководитель

■ – Студент дипломник

6.3 Экономические затраты на выполнение ВКР

Экономические затраты — это те выплаты, которые предприятие (фирма) обязано сделать, или те доходы, которые предприятие обязано обеспечить поставщику ресурсов для того, чтобы отвлечь эти ресурсы от использования в альтернативных производствах.

Экономические затраты на выполнение ВКР рассчитывались по формуле:

$$K_{ВКР} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{зн}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}, \quad (6.1)$$

где $I_{\text{мат}}$ - материальные затраты; $I_{\text{ам}}$ - амортизация; $I_{\text{зн}}$ - заработная плата; $I_{\text{со}}$ - социальные отчисления; $I_{\text{пр}}$ - прочие затраты; $I_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

7.3.1 Материальные затраты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В эту статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таблица 9 - Материалы, необходимые для выполнение ВКР

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Шариковая ручка	2	5	10
Тетрадь в клеточку (12листов)	1	5	5
Бумага для печати 1000 листов	1	150	150
Папка «Дипломный проект» 100 листов	1	130	130
Всего за материалы			295
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			15
Электроэнергия $C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}}$			690
Итого $I_{\text{мат}}$			1000

Примечание: в формуле для определения затрат на электроэнергию $C_{\text{эл}} = 2,25$ руб. за 1 кВт-ч; $P = 0,2$ кВт – мощность ноутбука ASUS; $F_{\text{об}} = 1500$ часов.

6.3.2 Амортизация основных фондов и нематериальных активов

Амортизационные отчисления — отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа. Амортизационные отчисления включаются в издержки производства или обращения. Производятся коммерческими организациями на основе установленных норм и балансовой стоимости основных фондов, на которые начисляется амортизация.

Амортизационное отчисление будет равно:

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт.}}}{T_{\text{кол.вр.}}} \cdot I_{\text{кт.}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл.}}} = \frac{1500}{365} \cdot 15000 \cdot \frac{1}{1825} = 34 \text{ руб./день}, \quad (6.2)$$

где $T_{\text{исп.к.д}}$ - количество дней использования компьютерной техники;

$T_{\text{кол.вр.}}$ - количество дней;

$I_{\text{кт}}$ - стоимость компьютерной техники;

$T_{\text{сл.}}$ - срок службы компьютерной техники.

6.3.3 Затраты на оплату труда

- заработная плата научного руководителя ВКР:

$$I_{\text{зн}} = (3\Pi_o \cdot k_1 + D) \cdot k_2 = (14500 \cdot 1,1 + 1900) \cdot 1,3 = 23205 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

- заработная плата инженера:

$$I_{\text{зн}} = 3\Pi_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ рублей}, \quad (6.4)$$

где $3\Pi_o$ - месячный оклад;

k_1 - коэффициент, учитывающий отпуск $k_1=1,1$;

k_2 - районный коэффициент $k_2=1,3$ (для г. Томска);

D - доплата к заработной плате.

Месячный оклад для научного руководителя ВКР, имеющего должность доцента составляет 14500 рублей, доплата к заработной плате 1900 рублей.

Месячный оклад инженера составляет 14500 рублей.

Тогда фактическая заработная плата:

- Научного руководителя ВКР:

$$I_{\text{зн}}^{\phi} = \frac{I_{\text{зн}}}{21} \cdot n = \frac{23205}{21} \cdot 14 = 15470 \text{ руб.} \quad (6.5)$$

- Инженера:

$$I_{3П}^{\phi} = \frac{I_{3П}}{21} \cdot n = \frac{20735}{21} \cdot 51 = 50356 \text{ руб.} \quad (6.6)$$

Фонд заработной платы составляет:

$$\Phi ЗП = ЗП_{пр} + ЗП_{инж} = 23205 + 20735 = 43940 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

6.3.4 Затраты на социальные отчисления

Отчисления на социальные нужды - обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального страхования, в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Отчисления на социальные нужды составляют 30% от ФЗП:

$$I_{co} = 0,3 \cdot \Phi ЗП = 0,3 \cdot 43940 = 13182 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

6.3.5 Затраты на прочие расходы

Прочие расходы — к прочим расходам, связанным с осуществлением предпринимательской деятельности, относятся следующие расходы:

- суммы налогов и сборов, предусмотренных законодательством о налогах и сборах, за исключением налога на доходы физических лиц, налога на имущество физических лиц, уплаченного за имущество;
- расходы на сертификацию продукции и услуг;
- суммы комиссионных сборов и иных подобных расходов за выполненные сторонними организациями работы (предоставленные услуги);
- расходы по обеспечению пожарной безопасности, производимые в соответствии с законодательством Российской Федерации, расходы на услуги по

охране имущества, расходы по обслуживанию охранно-пожарной сигнализации, и т.д;

— расходы по обеспечению нормальных условий труда и техники безопасности, предусмотренных законодательством Российской Федерации и т.д.

Прочие затраты на выполнение ВКР составляют:

$$\begin{aligned} I_{np} &= 0,1 \cdot (I_{mat} + I_{am} + I_{zn} + I_{co}) = \\ &= 0,1 \cdot (1000 + 34 + 43940 + 13182) = 5816 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (6.9)$$

6.3.6 Накладные затраты

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$I_{накл} = 200\% \cdot \PhiЗП = 0,2 \cdot 43940 = 8788 \text{ руб.} \quad (6.10)$$

6.3.7 Составление сметы затрат на выполнение ВКР

Смета затрат - это плановый и отчетный документ, который составляется по экономическим элементам затрат на производство и реализацию продукции (в нашем случае на выполнение ВКР). В состав сметы включается четыре вида расходов:

- Материальные расходы (оборотные средства);
- Затраты труда (заработная плата и отчисления на социальные нужды);
- Затраты основных средств (амортизационные отчисления);
- Накладные расходы (расходы на реализацию продукции, косвенные налоги и др.).

Определение затрат на выполнение ВКР производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов. Калькуляция является основным документом, на основании которого осуществляется планирование и учет затрат на научные исследования.

Таблица 10 - Смета затрат на выполнение ВКР

Элемент затрат	Стоимость, руб
Материальные затраты	1000
Амортизационные отчисления	34
Заработная плата	43940
Социальные отчисления	13182
Прочие расходы	5816
Накладные затраты	8788
Итого:	72760