

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

Институт Энергетический
Направление подготовки Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроение и парогенераторные установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект котельной установки с котлом типа Е паропроизводительностью 230 т/ч для расширения Новочеркасской ГРЭС

УДК 621.311.22:697.34:621.182(470.61)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Чечёткин Михаил Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Казаков А.В	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Романцов И.И	К.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Заворин А.С.	Д.Т.Н		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
P1	Готовность к самостоятельной индивидуальной работе и принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции, способность к переоценке накопленного опыта и приобретению новых знаний в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики, применению методов и средств обучения и самоконтроля, критическому оцениванию своих достоинств и недостатков, осознанию перспективности интеллектуального, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Готовность к кооперации с коллегами, работе в коллективе для выбора путей достижения общей цели при выполнении комплексных инженерных задач, к обобщению и анализу различных мнений, участию в дискуссиях для принятия решений в нестандартных условиях и готовность нести за них ответственность	Требования ФГОС (ОК-1,3,4,12), Критерий 5 АИОР (п. 2.2., п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Понимание сущности и значения информации в развитии современного общества и профессиональной среды, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации и использования их для решения коммуникативных задач, в том числе с применением государственного и одного из иностранных языков	Требования ФГОС (ОК-2,11,15), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность и готовность понимать движущие силы, закономерности и место человека в историческом процессе, ответственно участвовать в политической жизни с соблюдением прав и обязанностей гражданина, моральных и правовых норм общества, анализировать социально и экономически значимые проблемы, и процессы с использованием методов гуманитарных, социальных и экономических наук, быть активным субъектом экономической деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 9, 10, 14), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способность к эстетическому развитию и самосовершенствованию, бережному отношению к историческому и культурному наследию, уважению многообразия культур и цивилизаций, к физическому самовоспитанию, сохранению и укреплению здоровья для обеспечения полноценной деятельности; осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике	Требования ФГОС (ОК-13,16, ПК-5, 16), Критерий 5 АИОР (п. 2.5, п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профессиональные компетенции		
P6	Готовность применять базовые и специальные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для моделирования, проектирования и совершенствования объектов профессиональной деятельности и процессов в энергетическом машиностроении	Требования ФГОС (ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Готовность решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и эксплуатацией энергетических машин, аппаратов и установок с использованием системного анализа и формировать законченное представление о принятых решениях средствами нормативно-технической и графической информации	Требования ФГОС (ПК-4,6,7,8), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с применением современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию и требованиям ЕСКД с учетом экономических и экологических ограничений, подтверждать знания теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС (ПК-9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способность и готовность планировать и выполнять численные и экспериментальные исследования инженерных задач, проводить обработку и анализ результатов, участвовать в испытаниях объектов энергетического машиностроения по заданной программе	Требования ФГОС (ПК-14,15), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность и готовность осваивать новые технологические процессы и виды оборудования; использовать технические средства для измерения основных параметров котлов, парогенераторов, камер сгорания, теплообменников разного назначения, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, осуществлять монтажно-наладочные и сервисно-эксплуатационные работы на энергетических объектах после непродолжительной профессиональной адаптации	Требования ФГОС (ПК-17,18,19,20,21), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Способность и готовность проводить технико-экономическое обоснование решений с применением элементов экономического анализа, соблюдать и обеспечивать производственную и трудовую дисциплину и осуществлять организационно-управленческую работу с малыми коллективами	Требования ФГОС (ПК-22,23,24), 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 Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроение и парогенераторные установки

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Заворин А.С.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5В21	Чечёткин Михаил Геннадьевич

Тема работы:

Проект котельной установки с котлом типа Е паропроизводительностью 230 т/ч для расширения Новочеркасской ГРЭС

Утверждена приказом директора (дата, номер)

01.02.2016, 601/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Объект проектирования – котельная установка.

ПАО «ОГК-2» Новочеркасская ГРЭС.

Топливо – уголь Донецкий Т.

Параметры пара: $P_{пп} = 13,8 \text{ МПа}$, $t_{пп} = 540 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 Конструкторский тепловой расчет котла. 2 Расчет на прочность элементов котла.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Общие виды котла - 3 листа. Развертка барабана, змеевик – 1 лист.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова С.Н.
«Социальная ответственность»	Романцов И.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы, Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Казаков А.В.	к.т.н.		08.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5В21	Чечёткин М.Г.		08.02.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 161 страниц, 5 рисунков, 16 таблиц, 7 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: котельная установка, паровой котел, тепловой расчет, топочная камера, теплообмен, энтальпия, поверхность нагрева, барабан, пароперегреватель.

Объект проектирования: котельная установка с паровым котлом Е-230-13,8-540 КЖ.

Цель работы: разработка проекта котельной установки на базе барабанного котла с паропроизводительностью 230 т/час для работы в составе энерготехнологического комплекса Новочеркасской ГРЭС.

В процессе проектирования проводились:

- оценка способа сжигания;
- тепловой расчет и конструирование поверхностей нагрева котла;
- расчет на прочность элементов котла;

В результате проектирования:

- выбрана тепловая схема котла;
- определены геометрические размеры поверхностей нагрева и топочной камеры парового котла;
- определена толщина стенки барабана и КПП2.

Экономическая эффективность проекта представлена в виде анализа конкурентоспособности технических решений, определения капитальных вложений в паровой котел и годовых эксплуатационных издержек.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью прикладных программ: Microsoft Word 2014, Microsoft Excel 2014, MathCAD V14, КОМПАС 3D V15.2, Adobe Acrobat Reader V9.0.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 2.102 – 68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.
- ГОСТ 2.104 – 2000 ЕСКД. Основные надписи
- ГОСТ 2.109 – 73 ЕСКД. Основные требования к чертежам
- ГОСТ 2.302 – 68 ЕСКД. Масштабы
- ГОСТ 2.303 – 68 ЕСКД. Линии
- ГОСТ 2.304 – 81 ЕСКД. Шрифты чертежные
- ГОСТ 2.305 – 2008 ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения
- ГОСТ 2.307 – 2011 ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.
- ГОСТ 12.0.003 – 74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- ГН 2.2.5.1313 – 03 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- ППБ 01 – 03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
- СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.

В работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

– дымовая труба: Один или более вертикальных каналов, предназначенных для удаления во внешнюю среду и рассеивания продуктов сгорания топлива.

– дымосос: Тягодутьевая машина (как правило, центробежного типа), которая служит для удаления дымовых газов – продуктов сгорания топлива.

– паровой котел: Устройство, в котором для получения пара требуемых параметров используется тепло, выделяющееся при сжигании топлива.

– поверхность нагрева: Поверхность стенок, отделяющих продукты сгорания от нагреваемых сред, через которые происходит передача тепла.

– теплообмен: Самопроизвольный необратимый перенос теплоты между телами или участками внутри тела с различной температурой.

– топочная камера: устройство котла, для сжигания органического топлива с целью получения высоконагретых дымовых газов.

– энтальпия: Свойство вещества, указывающее количество энергии, которую можно преобразовать в теплоту.

В выпускной работе приняты следующие сокращения:

– ГРЭС – государственная районная электрическая станция;

– ТЭС – тепловая электрическая станция;

– ПО труба – пароотводящая труба;

– ОП труба – опускная труба;

– ШПП – ширмовый пароперегреватель;

– РПП – радиационный пароперегреватель;

– КПП_{1,2} – конвективный пароперегреватель первой и второй ступени;

– ВЭК_{1,2} – водяной экономайзер первой и второй ступени;

– ВП_{1,2} – воздухоподогреватель первой и второй ступени.

Оглавление

Введение.....	10
1 Обзор литературы	11
2 Объект и методы исследования	13
3 Выбор основных характеристик барабанного котла, тепловой расчет, расчет на прочность элементов котла	14
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	32
5 Социальная ответственность	50
Заключение	64
Список используемых источников.....	66
Приложение А. Тепловой расчет топочной камеры котла	67
Приложение Б. Энтальпия воздуха и продуктов сгорания	85
Приложение В. Тепловой расчет поверхностей нагрева парового котла	86
Графический материал	
ФЮРА 311233.002 ВО Котел паровой Е-230-13,8-540 КЖ (поперечный разрез)	
ФЮРА 311233.003 ВО Котел паровой Е-230-13,8-540 КЖ (продольный разрез)	
ФЮРА 311233.004 ВО Котел паровой Е-230-13,8-540 КЖ (горизонтальный разрез, вид сверху)	
ФЮРА 311300.005 ВО Барабан и пароперегреватель (расчетная схема)	

Введение

В настоящее время энергетика переживает время сильного и стремительного развития и реорганизации. Прогнозируется увеличение использования угля в энергетике. Россия обладает запасами углей всех известных видов и марок. Что дает потенциал к строительству и развитию станций, работающих именно на угле. Основной причиной отсутствия успехов в данной области является наличие более лёгкого в использовании топлива – природного газа.

В условиях современного котлостроения данный факт означает, что большинство территориальных генерирующих компаний отдают предпочтение именно газу, как основному топливу, ввиду его относительной дешевизны в настоящее время, высокой тепловой эффективности и меньшими требованиями к инфраструктуре.

Задачей данной работы являлась разработка проекта парового котла с естественной циркуляцией для работы на угле Донецкого бассейна марки Тоший, применительно к Новочеркасской ГРЭС.

Особенностью данного топлива является низкая реакционная способность, обусловленная низким выходом летучих веществ.

Названные особенности топлива требуют применения ряда специфических конструкторских решений. Особое внимание следует уделить системе пылеприготовления и системе шлакоудаления.

При выполнении работы основная цель состоит в определении наиболее рациональной компоновки и размеров основных элементов рассматриваемого котла для обеспечения максимальной эффективности, надёжности и экономичности его работы при номинальных условиях.

1 Обзор литературы

Энергетическая отрасль, а, следовательно, и котлостроение являются основой промышленности и экономики государства. Исходя из этого котлостроению посвящено много научных работ и публикаций. Разрабатываются новые технологии сжигания топлива, проводятся исследования, посвященные совершенствованию конструкции котельных установок. Более эффективными являются исследования, проводимые непосредственно на энергетических предприятиях с применением опытных образцов оборудования. За время существования энергетической отрасли накоплено большое количество практических данных, представленных в учебной, справочной и нормативной литературе.

Но большинство отечественной современной литературы на данную тему представляет собой переизданные советские источники. Можно сказать, что в настоящее время практически отсутствует литература на русском языке, которая посвящена современным разработкам в котельной технике. В то же время и старые наработки всё еще не потеряли своей актуальности и содержат весь необходимый материал для конструкторской деятельности.

Literature review

The energy industry, and, consequently, Boiler construction are the foundation of the industry and economy of the state. Accordingly Boiler subject of many scientific papers and publications. Development of new combustion technologies, conducted research on improving the design of boiler installations. More effective are the studies carried out directly on the energy companies with prototypes of equipment. During the existence of the energy industry has accumulated a large number of practical data presented in the study, reference and regulatory literature.

But the majority of the national contemporary literature on the subject is republished Soviet sources. We can say that now there is practically no literature in Russian, which is dedicated to the development of modern technology in the boiler room. At the same time, and the old operating time is still not lost their relevance and contain all the necessary material for the design activity.

2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является паровой котёл и его поверхности нагрева.

Цель работы – проектирование парового котла путём теплового расчёта его поверхностей нагрева, выбора оптимальной компоновки и обеспечения номинальных режимов работы в соответствии с заданными параметрами.

В процессе исследования проводились тепловые расчёты топочной камеры и поверхностей нагрева парового котла, оценка надёжности естественной циркуляции спроектированного котла и определение его ресурсоэффективности.

В результате исследования был спроектирован котёл заданной паропроизводительности для работы на проектном топливе.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: паропроизводительность 230 т/ч, давление перегретого пара 13,8 Мпа, температура перегретого пара 540 °С, П-образная компоновка.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5B21	Чечёткин Михаил Геннадьевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Средняя стоимость 1 м ³ производственного здания – 1200 руб/м ³ ; цена натурального топлива – 10000 руб/т.; стоимость 1 кВт потребляемой энергии – 1,62 руб.; стоимость 1 кВт заявленной мощности – 230 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Паропроизводительность котла – 230 т/ч.; установочная мощность токоприемников парогенератора – 70 кВт; число часов использования установленной мощности – 6500 ч; часовой расход воды в котле – 10 % от паропроизводительности.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды – 30%; амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию – 3,3%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентоспособности технических решений
2. Определение капитальных вложений в проектируемый паровой котел
3. Определение годовых эксплуатационных издержек

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5B21	Чечёткин Михаил Геннадьевич		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В условиях рыночной экономики устойчивое развитие предприятия может быть обеспечено только при поддержании его финансовой системы на соответствующем уровне. Заметно возрастает значение технико-экономического обоснования инженерных решений. Такое обоснование позволяет находить оптимальные решения при проектировании котельного агрегата и его элементов, предотвращать излишние затраты, повышать надежность конструкции.

Целью данного раздела является оценка конкурентоспособности разработки, а также расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов проектируемого котельного агрегата.

4.1 Анализ конкурентоспособности технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, проводится систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1. Для сравнения выбраны проектируемый котел Е–230–13,8–540 и котел на ГРЭС - 2 ОАО «ТГК - 11» г. Томска.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда пользователя	0,07	3	2	0,21	0,14
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	4	3	0,52	0,39
Помехоустойчивость	0,03	4	4	0,12	0,12
Энергоэкономичность	0,1	3	3	0,3	0,3
Надежность	0,2	4	3	0,8	0,6
Уровень шума	0,04	2	1	0,08	0,04
Безопасность	0,2	4	3	0,8	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	0,12	0,09
Уровень проникновения на рынок	0,04	1	1	0,04	0,04
Цена	0,06	2	2	0,12	0,12
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	36	29	3,61	2,84

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1 подбираются исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена главным образом устареванием эксплуатируемого оборудования и его износом. Следовательно, предполагаемый срок эксплуатации у конкурентного оборудования будет меньше.

Главное конкурентное преимущество разработки – её новизна, это делает её более надежной в сравнении с конкурентом, а также более легкой в эксплуатации, что способствует повышению производительности труда рабочих. Удобство в эксплуатации так же сказывается на стоимости производимого пара в сторону её удешевления.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2–Матрица SWOT

Возможности (В) и угрозы (У) проекта	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1.Современное оборудование. С2.Наличие электронных ресурсов. С3.Помощь высококвалифицированных специалистов С4. Детальное понимание темы работы С5.Выполнение работы в срок. С6. Актуальность темы.	Сл1. Отсутствие прототипа Сл2. Ограниченное количество времени посещения аудитории для проектирования. Сл3.Отсутствие возможности проверки теоретических данных. Сл4.Ограниченное количество времени проведения консультаций. Сл5. Большой объем выполнение работы за короткий срок.
В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Использование ресурсов ОАО ТГК–11 В3.Консультации специалистов В4. Невыполнение работы конкурентов. В5. Возможность выбирать тему самостоятельно.	В1С1С2С3С5 В2С1С2С3С4С5 В3С1С3С4 В5С3С4С5	В1С1С4С5 В2С1С5 В3С1С4С5 В4С5 В5С5
У1.Высокая работоспособность конкурентов. У2.Неполадки в работе нужного оборудования. У3.Задержка финансирования проекта. У4.Введения дополнительных государственных требований к оформлению работы. У5.Изменение финансирования проекта.	У1С1С2С3С5 У2С1С2С5 У3С5 У4С2С5У5С5	У1С1С4С5 У2С5 У3С5 У4С5 У5С5

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

4.3 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3–Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчетов НИР	Составление пояснительной записки	Инженер
	Публикация полученных результатов	Инженер

4.4. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5}. \quad (4.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}. \quad (4.2)$$

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

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

В таблице 4.4 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

Таблица 4.4–Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож\bar{i}}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.1	Исп.1		Исп.1	Исп.1
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	1	1,4	1,7
Подбор и изучение материалов по теме	1	2	1,4	1	1,4	1,7
Выбор направления исследований	1	3	1,8	1	1,8	2,2
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	1	1,4	1,7
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	8	5,6	1	5,6	6,8
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2,4	1	2,4	2,9
Составление пояснительной записки	4	7	5,2	1	5,2	6,3
Публикация полученных результатов	1	7	3,4	1	3,4	4,1

4.5 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4.3)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22 \quad (4.3)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

На основе таблицы 4.4 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
			февр		март			апрель			май			июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,8														
Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель	3,8														
Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,4														
Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	1,7														
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	7,1														
Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, научный руководитель	5,6														
Составление пояснительной записки	Инженер	11,9														
Публикация полученных результатов	Инженер	4,1														



-научный руководитель



-инженер

4.6 Расчет капитальных вложений в проектируемый паровой котел

На стадии предварительных экономических расчетов капитальные вложения можно определять по формуле (разработка ЦКТИ им. Ползунова):

$$K = C_{\text{пол}} + C_{\text{пол}} \cdot P_n / 100 + K_{\text{тр}} + K_{\text{пот}} + K_{\text{стр}} = 71131726,85 + \\ + 71131726,85 \cdot 20/100 + 1422634,54 + 12803710,83 + 16476724,57 \quad (4.4) \\ K = 116061142,16 \text{ руб.},$$

где $C_{\text{пол}}$ – полная себестоимость ПГ;

P_n – средняя рентабельность по парогенераторостроению – 20 %;

$K_{\text{тр}}$ – транспортно–заготовительные расходы (2 % от $C_{\text{пол}}$);

$K_{\text{пот}}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

$K_{\text{стр}}$ – затраты на строительную часть у потребителя.

Суть данной разработки заключается в том, что себестоимость изготовления ПГ ставится в зависимость от его параметров, которые в качестве коэффициентов вводятся в данную формулу:

$$C_{\text{пол}} = D \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot 2000 \cdot K_{\text{пер}} = \\ = 230 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,12 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 148 = 71131726,85 \text{ руб.} \quad (4.5)$$

где D – часовая паропроизводительность проектируемого ПГ;

K_1 – коэффициент паропроизводительности проектируемого ПГ (при паропроизводительности в 230 т/ч принимается равным 0,78);

K_2 – параметры пара (при $t_{\text{пп}}$ 540 °С и $P_{\text{пп}}$ 13,8 МПа принимается 1);

K_3 – перегрев пара (при отсутствии промперегрева принимается 1);

K_4 – способ поставки (при поставке блоками принимается равным 1,15);

K_5 – вид топлива (при сжигании каменных углей принимается 1,12);

K_6 – компоновка ПГ (при П-образной компоновке принимается 1,04)

K_7 – число корпусов (по числу корпусов принимается равным 1);

K_8 – тип ПГ (для барабанных котлов принимается равным 1);

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент пересчета на современные цены (принимается 148).

Удельная себестоимость ПГ выбранного за основу расчета:

$$K_{\text{пот}} = K_{\text{м}} + K_{\text{обм}} = 5690538,15 + 7113172,68. \quad (4.6)$$

$$K_{\text{пот}} = 12803710,83 \text{ руб/т/ч.}$$

где $K_{\text{м}}$ – затраты на монтаж, 8% от цены котла;

$K_{\text{обм}}$ – затраты на обмуровку, 10% от цены котла (определяются косвенно).

Стоимость здания определяется по формуле:

$$K_{\text{зд}} = S_{\text{м}} \cdot k_{\text{дп}} \cdot \Pi_{\text{зд}} \cdot h_{\text{кот}} = 133,5 \cdot 2 \cdot 1200 \cdot 45 = 14418000 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

где $S_{\text{м}}$ – площадь парогенератора, м²;

$k_{\text{дп}}$ – коэффициент дополнительной площади, принимается $k_{\text{дп}} = 2$;

$\Pi_{\text{зд}}$ – стоимость квадратного метра фундамента, руб. за кв. метр;

$h_{\text{кот}}$ – высота котельного цеха (верхняя отметка ПГ+3–4м);

Стоимость фундамента определяется по формуле:

$$K_{\text{ф}} = D \cdot k_{\text{ф}} = 230 \cdot 8950,9764 = 2058724.57 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

где $k_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий влияние производительности котла на стоимость фундамента;

$$k_{\text{ф}} = \text{КПД} \cdot 10^4.$$

Стоимость строительства:

$$K_{\text{стр}} = K_{\text{зд}} + K_{\text{ф}} = 2058724.57 + 14418000 = 16476724.57 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4.6

Таблица 4.6–Сводная таблица капитальных вложений (инвестиций)

Состав капитальных вложений	Величина	
	Тыс.руб	%
Себестоимость парогенератора	71134	61,29
Затраты на монтаж	5692	4,9
Затраты на обмуровку	7115	6,13
Стоимость строительства	16477	14,2
Транспортно-заготовительные расходы	1425	1,23
Наценка на ПГ	14218	12,25
Общие капитальные вложения	116061	100

4.7 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Расходы, составляющие себестоимость продукции ПГ (пар, тепло) состоят из следующих статей затрат:

- $I_{\text{топ}}$ – затраты на топливо;
- $I_{\text{а}}$ – амортизационные расходы;
- $I_{\text{т.р.}}$ – затраты на текущий ремонт;
- $I_{\text{в}}$ – затраты на воду;
- $I_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию (на собственные нужды);
- $I_{\text{зп}}$ – заработная плата обслуживающего ПГ персонала;
- $I_{\text{пр}}$ – прочие расходы.

Тогда годовые эксплуатационные расходы на производство пара (тепла) будут иметь вид:

$$I_{\text{год}} = I_{\text{топ}} + I_{\text{а}} + I_{\text{т.р.}} + I_{\text{в}} + I_{\text{э}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{пр}} \quad (4.10)$$

- Расчет затрат на топливо

$$I_{\text{топ}} = V_p \cdot h_{\text{год}} (1 + V_{\text{пот}}/100) C_{\text{т.н.т.}} = 30,0348 \cdot 6500 (1 + 6/100) 2000. \\ I_{\text{топ}} = 413879,54 \text{ тыс.руб.} \quad (4.11)$$

где V_p – часовой расход натурального топлива, т/час;

$h_{\text{год}}$ – число часов использования установленной мощности, час/год;

$V_{\text{пот}}$ – суммарная величина потерь топлива на территории котельной.

$C_{\text{т.н.т.}}$ – цена натурального топлива, с учетом доставки 2000 руб/т.

- Расчет амортизационных отчислений

$$I_{\text{а}} = p_n \cdot K = 0,037 \cdot 116061142,16 = 1955,21 \text{ тыс.руб.} \quad (4.12)$$

где p_n – норма амортизационных отчислений на капитальный ремонт и на реновацию $p_n = 3,7 \%$;

K – капитальные вложения.

- Расчет затрат на текущий ремонт

$$I_{\text{тр}} = 0,2 \cdot I_{\text{а}} = 0,2 \cdot 1955,21 = 391,04 \text{ тыс.руб.} \quad (4.13)$$

– Расчет затрат на воду

Определяются затраты на воду, которая потребляется для добавки в цикл с целью компенсации потери ее из цикла и для хозяйственных нужд.

Поэтому на стадии предварительных расчетов (данный случай) проще рассчитать затраты, исходя из пароводяного баланса котельного цеха, чем по производительности фильтров:

$$И_в = D_в \cdot h_{год} \cdot Ц_в = 5,58 \cdot 6500 \cdot 73 = 2647,71 \text{ тыс.руб.} \quad (4.14)$$

где $D_в$ – часовой расход воды, т/час;

$Ц_в$ – стоимость воды с учетом химводоочистки.

– Расчет затрат на электроэнергию

Расходы на электроэнергию (на собственные нужды) определяются по двуставочному тарифу:

$$И_э = N_{уст} \cdot h_{год} \cdot k_в \cdot k_п \cdot Ц_э + N_{уст} \cdot Ц_{кв} = 48 \cdot 6500 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 2,1 + 48 \cdot 215. \quad (4.15)$$
$$И_э = 541,03 \text{ тыс.руб.},$$

где $N_{уст}$ – установочная мощность токоприемников ПГ, кВт;

$K_в$, – коэффициент, учитывающий потерю времени;

$K_п$ – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии;

$Ц_э$ – тариф на потребленную эл. энергию;

$Ц_{кв}$ – стоимость кВт на заявленную мощность.

– Расчет заработной платы обслуживающего персонала

Расходы на содержание обслуживающего персонала складываются из: заработной платы эксплуатационного, ремонтного и управленческого персонала котельного цеха, отнесенная на один парогенератор. Прямая заработная плата определится из штатного расписания котельного цеха и должностных окладов, приведенных в таблице 4.7

Таблица 4.7–Штатное расписание котельного цеха

Наименование должностей	Норма обслуживания в	Месячный оклад руб./чел.	Месячный оклад руб./ПП
Старший машинист	3	17000	17000
Машинист котлов 4 разряда	2	16300	16300
Машинист котлов 3 разряда	1	16000	16000
Машинист багерной насосной	6	15800	15800
Машинист насосных	3	15700	15700
Машинист обходчик по оборудованию	3	15500	15500
Котлочист	3	14500	4833,33
Зольщик	3	14100	4700
Слесарь по ремонту	2	14200	7100
Дежурный слесарь	6	13800	2300
Дежурный электрик	6	13800	2300
Электросварщик	6	14000	2333,33
Газосварщик	6	14100	2350
Газорезчик	6	14100	2350
Печник	3	14500	4833,33
Крановщик	6	13500	2250
Токарь	6	13800	2300
Кладовщик	3	12500	4166,67
Уборщица	3	5000	1666,67
Итого	34	268200	469600
Нач. цеха	1	19000	3166,67
Зам. нач. цеха	1	18200	3030,33
Нач. смены	3	17800	17800
Ст. мастер	1	16000	2666,67
Мастер	3	12000	2000
Итого	9	83000	28663,67
Всего по котельному цеху	43	351200	168447

Основная заработная плата обслуживающего персонала:

$$П_{осн}^{оп} = 3П^{оп} + 3П^{оп}(k_{доп} + k_{прем} + k_{рк}). \quad (4.16)$$

$$П_{осн}^{оп} = 139783,33 + 139783,33(0,2 + 0,43 + 0,3) = 269,78 \text{ тыс. руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент, учитывающий доплаты до часового фонда;

$k_{прем}$ – коэффициент, учитывающий премии;

$k_{рк}$ – районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала:

$$П_{доп}^{оп} = 0,8 \cdot 3П^{оп} = 0,8 \cdot 139783,33 = 11,18 \text{ тыс. руб.} \quad (4.17)$$

Общая заработная плата обслуживающего персонала:

$$П_{общ}^{оп} = П_{осн}^{оп} + П_{доп}^{оп} = 269,78 + 11,18 = 280,97 \text{ тыс. руб.} \quad (4.18)$$

Основная заработная плата руководящего персонала:

$$П_{осн}^{рук} = 3П^{рук} + 3П^{рук}(k_{прем} + k_{рк}). \quad (4.19)$$

$$П_{осн}^{рук} = 28663,67 + 28663,67(0,43 + 0,3) = 49,59 \text{ тыс. руб.}$$

где $k_{прем}$ – коэффициент, учитывающий премии;

$k_{рк}$ – районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата руководящего персонала:

$$П_{доп}^{рук} = 0,08 \cdot 3П^{рук} = 0,08 \cdot 28663,67 = 2,29 \text{ тыс. руб.} \quad (4.20)$$

Общая заработная плата руководящего персонала:

$$П_{общ}^{рук} = П_{осн}^{рук} + П_{доп}^{рук} = 49,59 + 2,29 = 51,88 \text{ тыс. руб.} \quad (4.21)$$

Затраты на заработную плату:

$$П_{общ}^{рук} = П_{осн}^{рук} + П_{доп}^{рук} = 49,59 + 2,29 = 51,88 \text{ тыс. руб.} \quad (4.22)$$

Расчет отчислений на социальные цели производится по формуле:

$$ОСЦ = 0,3 \cdot 3П_{общ} = 0,3 \cdot 3994,2 = 1198,26 \text{ тыс. руб.} \quad (4.23)$$

– Расчет прочих расходов

Прочие расходы принимаются как 12 % от ранее найденных годовых эксплуатационных расходов.

Таким образом, можно рассчитать эксплуатационные расходы. Данные расчетов представлены в таблице 4.8

Таблица 4.8—Эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Обозначение	Величина, тыс. руб.	Уд. Вес %
Затраты на топливо	$I_{\text{топ}}$	413879,54	94,42
Амортизационные отчисления	I_a	1955,21	0,45
Затраты на текущий ремонт	$I_{\text{тр}}$	391,042	0,09
Затраты на воду	I_v	2647,71	0,6
Затраты на электроэнергию	$I_э$	541,03	0,12
Заработная плата	$I_{\text{зп}}$	3994,20	0,91
Отчисления на соц. цели	$I_{\text{соц}}$	1198,26	0,27
Прочие расходы	$I_{\text{пр}}$	13741,56	3,13
Итого	$I_{\text{год}}$	438348,55	100,00

Анализ данных эксплуатационных расходов показывает, что наибольшими затратами являются затраты на топливо (94,42 % от общих затрат). Следующими по значимости являются заработная плата и прочие расходы. Таким образом, определяющим фактором в величине эксплуатационных расходов является сжигаемое топливо, а именно: его стоимость, качество, транспортный тариф, дальность расположения от станции и сложности в транспортировке и хранении.

Себестоимость выработанной тонны пара:

$$C_{\text{выр}} = I_{\text{год}}/D_{\text{год}} = 438348,55/1495000 = 293.21 \text{ руб./т}, \quad (4.24)$$

$$D_{\text{год}} = h_{\text{год}} \cdot D = 6500 \cdot 230 = 1495000 \text{ т}. \quad (4.25)$$

где $D_{\text{год}}$ – тонн пара произведенных за год.

Себестоимость отпущенной тонны пара:

$$C_{\text{отп}} = I_{\text{год}}/D_{\text{отп}} = 438348,55/1420250 = 308.65 \text{ руб./т}, \quad (4.26)$$

$$D_{\text{отп}} = D_{\text{год}} - D_{\text{с.н}} = 1495000 - 74750 = 1420250 \text{ т}. \quad (4.27)$$

где $D_{\text{отп}}$ – отпущенный пар;

$D_{\text{сн}}$ – годовой расход пара на собственные нужды (5 % от $D_{\text{год}}$).

Расчет капитальных инвестиций и годовых эксплуатационных расходов, а также анализ конкурентных технических решений позволили доказать и обосновать технико-экономическую целесообразность эксплуатации спроектированной установки. Благодаря этому можно избежать излишних затрат, а также повысить конкурентоспособность и надежность котлоагрегата.

4.8 Окупаемость проекта

Чистая прибыль в год определяется по формуле:

$$B_{\text{г}} = [D_{\text{отп}} \cdot (C_{\text{отп}} - C_{\text{выр}})] - I_{\text{год}} = 1420250 \cdot (308,65 - 293,21) = 21942862,5 \text{ руб.} \quad (4.28)$$

Тогда окупаемость проекта можно посчитать как:

$$T_{\text{ок}} = K / B_{\text{г}} = 116061142,16 / 21942862,5 = 5,289 \text{ г.} \quad (4.29)$$

Из чего следует, что проект окупится через 5 лет, 3 месяца.