

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

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Тема работы
<b>Модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием</b>

УДК 621.181:662.923.3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Половников Вячеслав Юрьевич	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	Д.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	К.Т.Н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий получения, преобразования, транспорта и использования энергии в теплоэнергетических установках и нетрадиционных источниках энергии

<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на теплообменном оборудовании
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов
<b>ПК(У)-5</b>	Способен управлять технологическим оборудованием, контролировать параметры процессов и показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла
<b>ПК(У)-6</b>	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением



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

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна

Тема работы:

<b>Модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием</b>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>№41-37/с от 10.02.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования газоздушный тракт котла, тягодутьевые механизмы. Целью работы является модернизация системы управления тягодутьевых механизмов (дымососов и дутьевых вентиляторов) котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Введение 1 Общие сведения о ГРЭС Топар 2 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ 3 Тепловой расчет котлоагрегата 3.1 Исходные данные для теплового расчета 3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания 3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха 3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания 3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата 3.6 Расчет теплообмена в топке 3.7 Тепловой расчета поверхностей нагрева</p>

	4 Аэродинамический расчет котлоагрегата 4.1 Исходные данные 4.2 Аэродинамический расчет газового тракта 4.3 Выбор дымососов 4.4 Аэродинамический расчет воздушного тракта 4.5 Выбор дутьевых вентиляторов 5 Модернизация тягодутьевых механизмов котла 5.1 Режимы работы котельных агрегатов 5.2 Актуальность внедрения преобразователя частоты 5.3 Анализ различных схем регулирования 5.4 Экономические аспекты выбора частотно-регулируемого привода тягодутьевых машин 5.5 Расчет режима работы и параметров вентилятора 5.6 Техническая реализация модернизации ТДМ 6 Система автоматизация котла 6.1 Объем автоматизации 6.2 Описание системы автоматического регулирования 6.3 Описание технических средств системы автоматизации 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8 Социальная ответственность Заключение
<b>Перечень графического материала</b>	ФЮРА.421000.001.C2 Схема автоматизации системы автоматического регулирования котла
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор, д.э.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.12.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

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

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна		

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

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 ООП/ОПОП Инженерия теплоэнергетики и теплотехники (Промышленная теплоэнергетика)  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ весенний семестр 2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна

Тема работы:

<b>Модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием</b>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.2022	Получение задания на выпускную квалификационную работу, уточнение цели и задач	10
28.02.2023	Сбор материалов и обзор источников	15
31.03.2023	Анализ информации и предварительная проработка технического решения	15
08.05.2023	Выполнение расчетной части работы	20
22.05.2023	Разработка основных технических разделов	15
26.05.2023	Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
31.05.2023	Разработка раздела «Социальная ответственность»	10
06.06.2023	Оформление и представление ВКР	15

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Половников Вячеслав Юрьевич	Д.Т.Н.		

**Консультант (при наличии)**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	К.Т.Н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна		

## **Реферат**

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работы содержит 126 страниц текста, 17 рисунков, 38 таблиц, 38 источника литературы, 5 приложений.

Ключевые слова: ПАРОВОЙ КОТЕЛ, ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ДЫМОСОС, ДУТЬЕВОЙ ВЕНТИЛЯТОР, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД, МАНЕВРЕННОСТЬ, АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объект исследования газоздушный тракт котла, тягодутьевые механизмы.

Цель работы: модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием.

В процессе работы выполняется тепловой расчет котла, аэродинамический расчет газового и воздушного тракта котла, расчет экономического эффекта от внедрения частотно-регулируемого привода тягодутьевых механизмов.

В результате работы выполнен анализ эффективности поддержания режимов работы парогенератора в регулирующем и базовом режиме, рассмотрены существующие технические решения по внедрению частотно-регулируемого привода, в том числе при внедрении АСУТП.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016; для выполнения расчетов, построению моделей и графиков Microsoft Excel 2016; выполнения чертежей и рисунков Microsoft Visio 2013, КОМПАС-3D v16, Paint.net.

## Содержание

Реферат .....	7
Введение.....	11
1.1 Описание и назначение станции.....	13
1.2 Основные производственные подразделения ГРЭС .....	14
1.3 Планы по модернизации станции.....	16
2 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ .....	17
2.1 Общие характеристики котла .....	17
2.2 Топочно-горелочное устройство .....	20
2.3 Поверхности нагрева .....	21
2.4 Барабан котла и предохранительные устройства котла.....	23
2.5 Вспомогательное оборудование .....	24
2.6 Маневренность котла.....	26
3 Тепловой расчет котлоагрегата .....	27
3.1 Исходные данные для теплового расчета.....	27
3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания.....	28
3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха .....	28
3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	30
3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата.....	31
3.6 Расчет теплообмена в топке.....	34
3.7 Тепловой расчета поверхностей нагрева.....	37
4 Аэродинамический расчет котлоагрегата.....	41
4.1 Исходные данные .....	41
4.2 Аэродинамический расчет газового тракта.....	42
4.3 Выбор дымососов.....	49
4.4 Аэродинамический расчет воздушного тракта.....	51
4.5 Выбор дутьевых вентиляторов .....	55
5 Модернизация тягодутьевых механизмов котла .....	57
5.1 Режимы работы котельных агрегатов.....	57



5.2	Актуальность внедрения преобразователя частоты .....	60
5.3	Анализ различных схем регулирования .....	62
5.4	Экономические аспекты выбора частотно-регулируемого привода тягодутьевых машин .....	66
5.5	Расчет режима работы и параметров вентилятора .....	69
5.6	Техническая реализация модернизации ТДМ .....	74
6	Система автоматизация котла .....	79
6.1	Объем автоматизации .....	79
6.2	Описание системы автоматического регулирования .....	81
6.3	Описание технических средств системы автоматизации .....	83
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	87
7.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	87
7.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	87
7.1.2	SWOT-анализ .....	89
7.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	92
7.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	92
7.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	94
7.3	Бюджет научно-технического исследования .....	97
7.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования ..	97
7.3.2	Расчет амортизации специального оборудования.....	97
7.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	98
7.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	100
7.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	100
7.3.6	Накладные расходы .....	101
7.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	101
7.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	102
8	Социальная ответственность .....	108
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	109

8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства .....	109
8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны .....	111
8.2 Производственная безопасность .....	112
8.3 Экологическая безопасность.....	117
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	119
Заключение .....	121
Список использованных источников .....	123
Приложение А – Структурная схема регулятора тепловой нагрузки .....	127
Приложение Б – Структурная схема регулятора общего воздуха .....	128
Приложение В – Структурная схема регулятора разрежения .....	129
Приложение Г – Схема автоматизации системы автоматического регулирования котла .....	130
Приложение Д – Диаграмма Ганта.....	131

## **Введение**

Единая энергосистема Казахстана (ЕЭС Казахстана) работает параллельно с единой энергосистемой России (ЕЭС России) и Объединенной энергосистемой Центральной Азии (ОЭС Центральной Азии) по сети 500-220 кВ. Параллельная работа энергосистем предусматривает взаимное регулирование незапланированных перетоков мощности, вызванные несбалансированным графиком производства и потребления электрической мощности, а также регулирование частоты [32].

Исходя из необходимости обеспечения устойчивой работы и повышения экономической эффективности электрических станций ЕЭС Казахстана, в 2017 году в АО «KEGOC» было принято решение о создании «Централизованной системы автоматического регулирования частоты и мощности».

ГРЭС ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» входит в перечень станций для участия в регулировании частоты и перетоков мощности. В связи с этим очень важным является наличие на станции современного основного технологического оборудование (турбинными и котельными установками) оснащенного системами автоматизированного управления, позволяющему решать задачи оперативного управления обеспечивая максимальную энергоэффективность, надежность и маневренность.

Котельная установка является одним из основных звеньев тепловой электрической станции, ее надежная и экономичная работа определяет общий характер работы станции в целом. Котлоагрегат как объект управления представляет из себя сложную динамическую систему с большим количеством взаимосвязанных величин.

Современные программные и технические средства позволяют реализовать сложнейшие алгоритмы управления. В то же время возрастают

требования к исполнительным механизмам и схемным решениям механизмов собственных нужд и запорно-регулирующей арматуры.

Целью работы является модернизация системы управления тягодутьевых механизмов (дымососов и дутьевых вентиляторов) котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения. Будет проведен анализ эффективности поддержания режимов работы парогенератора в регулирующем и базовом режиме, влияние на экономичность.

Для этого необходимо будет решить следующие задачи:

- ознакомиться со схемой производства электрической и тепловой энергии ГРЭС;
- выполнить анализ технологической схемы котла, его конструктивных особенностей, вид сжигаемого топлива;
- выполнить тепловой расчет котла;
- выполнить аэродинамический расчет газового и воздушного трактов;
- подобрать дутьевой вентилятор и дымосос;
- обосновать актуальность внедрения частотного регулирования;
- выполнить анализ существующих схем регулирования;
- провести расчет экономической эффективности внедрения частотно-регулируемого привода;
- разработать схему системы автоматического регулирования;
- выполнить разделы финансового менеджмента и социальной ответственности.

## **1 Общие сведения о ГРЭС Топар**

### **1.1 Описание и назначение станции**

ГРЭС ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» (прежнее название - Карагандинская ГРЭС-2) расположена на берегу Шерубай-Нурунского водохранилища на расстоянии 3 км от поселка Топор в Карагандинской области. ГРЭС входит в Единую Энергосистему Казахстана (ЕЭС). ГРЭС предназначена для выработки электрической энергии для потребления в регионах Казахстана, а также для теплоснабжения поселка Топар и города Абай. Выработанная электроэнергия ГРЭС идет на покрытие электрических нагрузок предприятий группы Казахмыс в Балхашском, Жезказганском и Карагандинском регионе. Избыток электроэнергии продается на рынке электроэнергии Республики Казахстан.

Установленная электрическая мощность станции составляет 743 МВт, установленная тепловая мощность – 300 Гкал/ч.

ГРЭС состоит из двух очередей:

– первая очередь станции 385 тыс. кВт оборудована пятью котлами ПК-10П-2, одним котлом Е-250, турбогенератором К-55-8,8, турбогенератором К-130-8,8 и двумя турбогенераторами К-100-90;

– вторая очередь станции мощностью 358 МВт оборудована девятью котлами ПК-10п-2, одним котлом ПК-14-3, турбогенератором К-100-90 и тремя турбоагрегатами Т-86-90.

Всего на ГРЭС установлено 16 энергетических котлов высокого давления и 8 паровых турбин.

В котлах сжигается каменный уголь разреза «Молодежный» Борлинского месторождения. При растопках котлов применяется мазут марки М-100.

Тепловая схем станции – блочная с поперечными связями.

В результате сжигания органического топлива в котлах свежий пар высокого давления по главному паропроводу поступает в турбины.

Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, где происходит его конденсация за счет подачи охлаждающей воды циркуляционными насосами из источника водоснабжения Шерубай-Нурина водохранилища. Часть отработанного пара теплофикационными турбинами используется для отпуска тепловой энергии. Тепловая энергия отпускается потребителям в виде горячей воды на отопление.

В электрическом генераторе происходит превращение механической энергии турбины в электрическую энергию. Выдача электрической мощности в энергосистему и потребителям производится по воздушным линиям электропередач от ОРУ-220/110/35 кВ.

Очистка отводимых газов производится мокрым способом. После очистки дымовые газы дымососами Д18х2 (по две тягодутьевые машины на каждый котлоагрегат) поступают в газоходы. Дымовые газы от котлоагрегатов №1-6 подаются в дымовую трубу №1 (высота трубы 160 м), от котлоагрегатов №7-16 в дымовую трубу №2 (высота трубы 180 м).

Транспорт золы и шлака – гидравлический. Золошлаковая пульпа отводится на золоотвал, расположенный в 1,5 км от площадки ГРЭС.

## **1.2 Основные производственные подразделения ГРЭС**

### **1.2.1 Топливо-транспортный цех**

Прием поступающего на ГРЭС топлива, его хранение и транспортировка от мест хранения до оборудования котельного цеха осуществляется топливо-транспортным цехом (ТТЦ).

Поступающее на станцию топливо – каменный уголь разреза «Молодежный» Борлинского месторождения, подается железнодорожными составами в топливо-транспортный цех, где происходит выгрузка вагоноопрокидывателями. Уголь храниться на двух открытых угольных складах. Со склада через цепь ленточных конвейеров и дробильное отделение, уголь подается в бункера сырого угля котельных агрегатов.

### 1.2.3 Котельный цех

В котельном отделении, разделенном на две очереди, установлены котельные агрегаты типа ПК-10п-2 (15 котлов) и один котел типа Е-250-9,8-545 КТ, модернизация тягодутьевых механизмов которого является целью данной работы.

В котельном отделении осуществляется производство пара высокого давления и его подача по главному паропроводу в турбины.

Корпус котлов имеет П-образную компоновку и состоит из топочной камеры и конвективной шахты. Котлы однобарабанные с двумя степенями испарения.

Котлы оборудованы двумя индивидуальными, замкнутыми системами пылеприготовления с промежуточным бункером пыли. Шлакоудаление твердое с гидрозолоудалением.

Вспомогательное оборудование котельного цеха – шаробарабанные мельницы, мельничные вентиляторы, питатели сырого угля, пылепитатели, дробилка и шнековый транспортер для удаления шлака, тягодутьевые установки.

### 1.2.4 Турбинный цех

В турбинном цеху установлены конденсационные паровые турбины типа К-55-8,8 (одна турбина мощностью 55 МВт), К-130-8,8 (одна турбина мощностью 130 МВт) и К-100-90 (три турбины мощностью 100 МВт), а также теплофикационные турбины Т-86-90/2,5 (три турбины мощностью 86 МВт) с теплофикационными регулируемыми отборами.

Паровые турбины с рабочей частотой 3000 об/мин предназначены для привода генераторов переменного тока.

Конденсационные турбины имеют восемь нерегулируемых отборов из которых пар подается на подогреватели низкого и высокого давления, а также деаэраторы. Для охлаждения конденсаторов используется охлаждающая вода из Шерубай-Нурина водохранилища.

Расположение турбоагрегатов в машинном зале – продольное.

Вспомогательное оборудование турбинного цеха – теплообменники различного назначения (конденсаторы, регенеративные подогреватели, деаэраторы, испарители, подогреватели сетевой воды), редуционно-охладительные установки, эжектора, расширители, насосы по назначению (конденсатные, питательные, сетевые, дренажные, газоохлаждения генераторов).

### **1.3 Планы по модернизации станции**

В настоящее время ЕЭС Казахстана испытывает дефицит. В связи с этим принимаются мероприятия по обеспечению покрытия роста нагрузок. ГРЭС ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» совместно с акционерами ТОО «Kazakhmys Energy» принята программа по реконструкции станции с увеличением электрической мощности, которая включает, в том числе замену паровых турбин и котельных агрегатов.

Вместе с тем, исходя из необходимости обеспечения устойчивой работы и повышения экономической эффективности электрических станций ЕЭС Казахстана, в 2017 году в АО «KEGOC» (системный оператор Казахстана) было принято решение о создании «Централизованной системы автоматического регулирования частоты и мощности» (ЦС АРЧМ) [32]. ГРЭС Топар входит в перечень электрических станций, где планируется внедрение АРЧМ.



## 2 Описание котла Е-250-9,8-545 КТ

### 2.1 Общие характеристики котла

Паровой котел Е-250-9,8-545 КТ, производства ОАО ТКЗ «Красный котельщик» установлен на ГРЭС Топар, стационарный №3, предназначен для получения перегретого пара с температурой 545 °С и давлением 9,8 МПа при сжигании, в качестве основного топлива – углей Борлинского месторождений разрез «Молодежный». Растопочное топливо – топочный мазут М-100 [8].

Характеристики топлива приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика топлива

Наименование		Борлинское месторождение (разрез «Молодежный»)
Состав рабочей массы	Обозначение	Величина
Зольность, %	$A^p$	42,25
Влажность, %	$W^p$	7,0
Сера, %	$S^p$	0,5
Водород, %	$H^p$	3
Углерод, %	$C^p$	38,6
Азот, %	$N^p$	0,65
Кислород, %	$O^p$	8,0
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	$Q_i^r$	3650
Выход летучих на горючую массу, %	$V_r$	30-32
Химический состав золы		
Оксид кремния, %	$SiO_2$	65
Оксид алюминия, %	$Al_2O_3$	30,3
Оксид железа, %	$Fe_2O_3$	1,1
Оксид кальция, %	$CaO$	0,3
Оксид магния, %	$MgO$	0,2
Оксид натрия, %	$Na_2O$	0,2
Оксид калия, %	$K_2O$	0,2
Оксид титана, %	$TiO_2$	1,2
Триоксид серы, %	$SO_3$	0,35
Оксид фосфора, %	$P_2O_5$	0,65

Продолжение таблицы 2.1

Характеристики золы		
Температура начала деформации	$t_1$	1280
Температура размягчения	$t_2$	1500
Температура начала жидкоплавкого состояния	$t_3$	>1500

Основные параметры котла приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные параметры котлоагрегата

Основные параметры	Величина
Паропроизводительность, т/ч	250
Давление перегретого пара (абс.), МПа	9,8
Температура перегретого пара, °С	545
Температура питательной воды, °С	215
Температура холодного воздуха, °С	30

Растопочное топливо – мазут марки М-100 с давлением перед форсунками  $4 \div 8$  кгс/см<sup>2</sup>, подогрев мазута должен обеспечивать его вязкость перед форсунками не более  $75 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (10°ВУ).

Давление пара на распыл мазута перед форсунками не менее 5 кгс/см<sup>2</sup>, температура 250 ÷ 300 °С. Максимальный расход мазута при растопке котла 5372 кгс/ч при  $Q_i^r = 9460$  ккал/кг.

Котел с естественной циркуляцией, П-образной компоновки, вертикально-водотрубный, однобарабанный, с уравновешенной тягой, с твердым шлакоудалением, в газоплотном исполнении, предназначен для получения пара высокого давления при сжигании углей Борлинского месторождений. Изменение паропроизводительности в диапазоне с сохранением параметров пара 60...100%.

Общий вид парового котла приведен на рисунке 1. Габариты котла приведены в таблице 2.3.

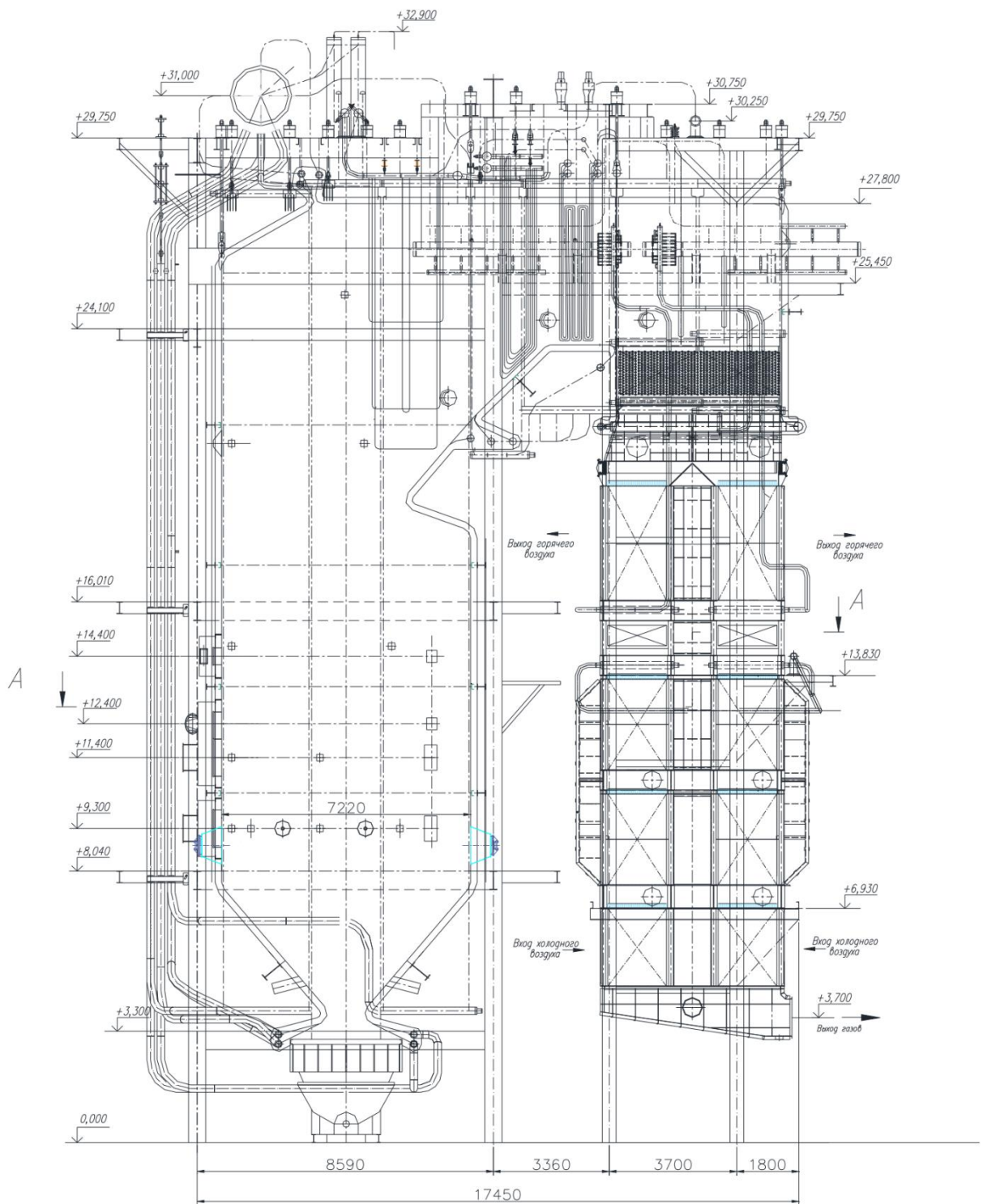


Рисунок 1 – Общий вид парового котла E-250-9,8-545 КТ

Таблица 2.3 – Размеры котлоагрегата

Типоразмер котла	Величина
Ширина (по осям колонн), м	11,0
Глубина (по осям колонн), м	15,65
Высота (самая верхняя отметка), м	32,9

## 2.2 Топочно-горелочное устройство

Топка котла газоплотная, укомплектована восемью прямоточными пылеугольными горелками, расположенными по тангенциальной схеме в два яруса, на отметках +9, 300, +11, 400, соплами нижнего и верхнего дутья.

Пылеугольная горелка с индивидуальным подводом воздуха и пыли к каждой горелке. Каждая горелка, состоит из воздушного короба, разделенного на три воздушных канала для равномерного распределения воздуха. В одном из каналов устанавливается сопло для подачи пыли.

Оптимальный режим работы горелок, при изменении нагрузки путем отключения, сохраняется за счет индивидуального подвода воздуха и пыли в каждую горелку.

Тепловое напряжение сечения топки, температура в зоне активного горения не превышают допустимых значений по условиям шлакования топки. Умеренная величина теплонапряжения в зоне активного горения дает возможность распределить тепловыделение по высоте топки и избежать местных высоких температур и тепловых потоков.

Для организации ступенчатого сжигания топлива применена система нижнего и верхнего дутья. Сопла нижнего дутья устанавливаются на скатах холодной воронки, через них подается 15%-20% воздуха, необходимого для горения.

Сопла верхнего дутья располагаются тангенциально над основными горелками, через них подается 10% воздуха.

Сбросные горелки осуществляют сброс сушильного агента в зону активного горения, через сбросные горелки подается 25% воздуха.

Перераспределение вторичного воздуха между пылевыми горелками, сбросными соплами, а также верхним и нижним дутьем позволяет уменьшить выбросы NO<sub>x</sub>, регулировать скоростной режим горелок, способствует снижению температуры газов на выходе из топки за счет снижения уровня горения факела.

Еще одним решением, позволяющим значительно снизить выбросы NOx, стала применение система подачи пыли высокой концентрации (под давлением).

В нижнем ярусе основных горелок установлены растопочные горелки. Суммарная производительность всех мазутных форсунок обеспечивает ~30% нагрузки котла. Для растопки котла применяются пароакустические форсунки типа «Факел» (НПП «Внедрение»).

## **2.3 Поверхности нагрева**

### **2.3.1 Топочные экраны**

Топочная камера призматической формы выполнена газоплотными экранами из труб 60×5 мм с шагом 80 мм. Размер топки по осям труб экранов составляют 7220×9340 мм.

В верхней части задней стенки топки образован аэродинамический выступ, прикрывающий ширмы от прямого излучения из топки, улучшая омывание газами ширм.

Топочная камера секционирована на отдельные независимые циркуляционные контуры. Средние блоки боковых стен образуют циркуляционные контуры «солевых» отсеков.

### **2.3.2 Пароперегреватель**

Пароперегреватель предназначен для перегрева сухого насыщенного пара после барабана котла до номинальных параметров перегретого пара.

Пароперегреватель по характеру тепловосприятия радиационно-конвективного типа.

Радиационную часть пароперегревателя образуют панели потолка над топкой. Полурадиационная часть пароперегревателя – ширмы, расположенные в верхней части топки.

Конвективная часть пароперегревателя расположена после ширм в горизонтальном газоходе, III и IV ступени – в начале горизонтального газохода, I ступень далее по ходу газов.

Стены горизонтального газохода и поворотной камеры, до воздухоподогревателя, экранированы газоплотными панелями, включенными в паровой тракт.

Движение пара после барабана следующее:

- пароперепускными трубами пар подается в потолочный пароперегреватель;
- конвективный пароперегреватель КПП1, который образуют 77 трехниточных пакета трубами 32×4 мм, ход пара – противоток;
- крайние ширмы ШПП трубы 32×4,5 мм, количество труб в каждой ширме – 23, ход пара в ШПП – прямоток;
- первая ступень пароохладителей;
- средние ширмы, конструкции аналогичной крайним, ход пара в ШПП – прямоток;
- конвективный пароперегреватель КПП3, который выполнен из 10 микроблоков трубы 32×5 мм, ход пара – прямоток;
- вторая ступень пароохладителей;
- конвективный пароперегреватель КПП4, конструкции аналогичной в КПП3, занимает центр сечения газохода, ход пара – прямоток;
- паросборный коллектор котла.

Регулирование температуры пара осуществляется впрыском «собственного» конденсата в пароохладители I ступени, расположенные между крайними и средними ширмами ШПП и в пароохладители II ступени, расположенные после КПП3.

Для получения «собственного» конденсата предусматривается установка, которая состоит из четырех конденсаторов.

### 2.3.3 Экономайзер

Экономайзер состоит из двух ступеней, расположенных в рассечку с воздухоподогревателем, в конвективном опускном газоходе.

Экономайзера первой и второй ступень выполнены четырехниточной (трубы 32×4 мм), спирально-оробренной, с шахматным расположением теплообменных труб. Теплообменные трубы обеих ступеней экономайзера расположены параллельно фронтальной/задней стенам газохода.

После поворотной камеры расположен экономайзер второй ступени, количество труб по ходу газов – 32. Далее располагается воздухоподогреватель второй ступени, а за ним по ходу газов экономайзер первой ступени, количество труб по ходу газов – 16.

#### 2.3.4 Воздухоподогреватель

Подогрев воздуха осуществляется в трубчатом воздухоподогревателе. Выполнен в виде кубов традиционной конструкции и изготовлен из труб 40×1,5 мм. Кубы воздухоподогревателей опираются друг на друга через рамы, сварены между собой и опираются на балки каркаса.

Предварительный подогрев воздуха на входе в воздухоподогреватель выполняется в калориферах и за счет рециркуляции горячего воздуха на всасываемого дутьевого вентилятора.

Подвесные нижние кубы воздухоподогревателя первой ступени имеют высоту 2,3 м, два яруса верхних кубов воздухоподогревателя первой ступени – высотой 2,7 м каждый. Кубы второй ступени расположены выше экономайзера первой ступени – высотой 3,4 м.

### **2.4 Барабан котла и предохранительные устройства котла**

Барабан выполнен с внутренним диаметром 1600мм из стали 22К.

Сепарационные устройства первой ступени испарения расположены в барабане, как сочетание внутрибарабанных циклонов, листов для барботажной промывки пара и потолочных дырчатых листов.

Пароводяная смесь из экранов первой ступени испарения сепарируется отделением капель воды из пароводяной смеси во внутрибарабанных циклонах. Вода сливается в водяной объем барабана, а пар поднимается вверх через слой питательной воды, осуществляется его барботажная промывка. Далее отсепарированный пар проходит через потолочный дырчатый лист, где

улавливаются брызги питательной воды, и направляется в пароперегреватель котла.

Питательная вода после экономайзера поступает в питательные короба барабана. На промывку пара подается вся питательная вода, что обеспечивает дополнительную деаэрацию воды и подогрев ее до температуры насыщения.

Для сокращения времени расхолаживания и улучшения температурного режима работы барабана котла предусмотрено устройство парового охлаждения, которое состоит из верхних и нижних распределительных коллекторов.

На барабане установлены указатели уровня прямого действия и указатели непрямого действия, которые позволяют контролировать уровень воды в барабане по месту и автоматической системе управления котла.

Для предотвращения аварийных режимов, повышения уровня в барабане котла, установлена система аварийного слива.

Сепарационными устройствами второй ступени испарения являются два блока выносных циклонов.

На барабане оборудована система ввода и раздачи реагентов.

Главные предохранительные устройства предназначены для защиты, работающих под давлением элементов котла, от превышения давления.

Главные предохранительные клапана установлены на потолочном перекрытии. Подвод пара производится из паросборного коллектора по индивидуальным трубам. Клапана открываются от импульса из паросборного коллектора, один - от импульса из барабана котла.

## **2.5 Вспомогательное оборудование**

### **2.5.1 Шлакоудаление**

Для удаления шлака из топочной камеры установлены два шнековых транспортера шлакоудаления с верхним расположением привода. В систему шлакоудаления также входят дробилки шлака, по одной на каждый шнековый транспортер.

Транспортер и привод установлены под углом 20° к горизонтали.



Привод транспортера оборудован системой сигнализации при заклинивании, защитой электродвигателя от перегрузки при заклинивании и реверсивным пусковым устройством для реверса шнека при расклинивании.

Для предотвращения износа нижнего подшипника транспортера из-за попадания частиц шлака к трущимся поверхностям нижнего подшипника к нижней опоре шнека организована непрерывная подача воды под давлением.

#### 2.5.2 Система пылеприготовления

Система пылеприготовления индивидуальная с двумя шаровыми барабанными мельницами и пылевым бункером. Сушка топлива осуществляется горячим воздухом, отбираемым после второй ступени воздухоподогревателя и рециркулирующим сушильным агентом.

Подача пыли к горелкам осуществляется пылепроводами высокой концентрации под давлением (ПВКд).

Для подачи пыли из промежуточного бункера пыли в систему ПВКд применяются пылепитатели с частотным регулированием. Для подачи сырого угля в мельницы применяются шнековые питатели с частотным регулированием.

#### 2.5.3 Система золоулавливания

Система золоулавливания включается в себя два батарейных эмульгатора II поколения.

Для повышения температуры уходящих газов выше точки росы в газоходах за золоуловителями предусмотрен подвод горячего воздуха, отбираемого после второй ступени воздухоподогревателя.

#### 2.5.4 Калориферные установки

Для подогрева холодного воздуха на входе в воздухоподогреватель применяются калориферы пластинчатые КП-Ск 2, собранные в батареи.

#### 2.5.5 Тягодутьевое оборудование

Для подачи воздуха в топку котла предназначены дутьевые вентиляторы. Дымососы предназначены для удаления из котлоагрегата дымовых газов.

Тягодутьевые механизмы могут быть осевыми и центробежными, одноступенчатыми и двухступенчатыми, иметь различные диаметры рабочих колес, отличаться конфигурацией рабочих колес, конструкцией проточной части, устройствами ходовой части.

Для выбора тягодутьевых механизмов – дымососов и вентиляторов, требуется определить значение объемного расхода  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, соответствующий плотности среды в реальных условиях эксплуатации, а также перепад полного давления  $P_v$ , Па по газовому и воздушному тракту.

Для этого проведем в разделе 3 – Тепловой расчет котла, в разделе 4 – Аэродинамический расчет газового и воздушного тракта, с последующим выбором тягодутьевых механизмов.

## **2.6 Маневренность котла**

В соответствии с действующими нормами, продолжительность пуска котла от начала розжига до набора номинальной нагрузки составляет:

- после 24 часов останова – 3 ч 30 мин;
- после 5...8 часов останова – 1 час 10 мин;
- после 0,5 часов останова – 55 мин.

Допустимая скорость изменения нагрузки в регулировочном диапазоне:

- при нагрузках до 70% номинальной – 1,5 %/мин;
- при нагрузках 70...100% номинальной – 4 %/мин.

Нижний предел регулировочного диапазона составляет 60%.

### 3 Тепловой расчет котлоагрегата

#### 3.1 Исходные данные для теплового расчета

В таблице 3.1 приведены расчетные характеристики топлива – каменный уголь разреза «Молодежный» Борлинского месторождения [8].

Таблица 3.1 – Расчетные характеристики топлива

Наименование, размерность	Значение
Влажность на рабочую массу, $W^p$ , %	7
Зольность на рабочую массу, $A^p$ , %	42,25
Содержание серы на рабочую массу, $S^p$ , %	0,5
Содержание углерода на рабочую массу, $C^p$ , %	38,6
Содержание водорода на рабочую массу, $H^p$ , %	3
Содержание азота на рабочую массу, $N^p$ , %	0,65
Содержание кислорода на рабочую массу, $O^p$ , %	8
Низшая теплота сгорания, $Q_i^r$ , кДж/кг	15280

В таблице 3.2 приведены технические параметры котла при номинальной нагрузке.

Таблица 3.2 – Технические параметры котла

Наименование, размерность	Значение
Тип топлива	каменный уголь Борлинского месторождения, разрез «Молодежный», марка К2
Паропроизводительность, $D_{пе}$ , т/ч	250
Температура питательной воды, $t_{пв}$ , °С	215
Температура перегретого пара, $t_{пп}$ , °С	545
Давление в барабане котла, $P_б$ , МПа	11,3
Давление перегретого пара, $P_{пп}$ , МПа	9,8
Температура холодного воздуха, $t_{хв}$ , °С	30
Температура на входе в воздухоподогреватель, $t_{вп}$ , °С	50
Температура горячего воздуха, $t_{гв}$ , °С	359
Температура уходящих газов, $\vartheta_{уг}$ , °С	138

### 3.2 Теоретически необходимые объемы воздуха и продуктов сгорания

Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания рассчитываются на 1 кг жидкого топлива при нормальных условиях (0 °С и 101,3 кПа) при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$ . В таблице 3.3 приведен расчет объемов воздуха и продуктов сгорания.

Таблица 3.3 – Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

Наименование	Размерность	Расчетная формула	Значение
Теоретическое количество сухого воздуха	м <sup>3</sup> /кг	$V_B^0 = 0,0889 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S^P) + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P$	3,977
Теоретические объемы продуктов сгорания			
- азот	м <sup>3</sup> /кг	$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_B^0 + 0,8 \cdot \frac{N_2}{100}$	3,147
- трехатомные газы	м <sup>3</sup> /кг	$V_{RO_2}^0 = 0,01866 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S^P)$	0,724
- водяные пары	м <sup>3</sup> /кг	$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H^P + 0,0124 \cdot W^P + 0,016 \cdot V_B^0$	0,484
Полный теоретический объем дымовых газов	м <sup>3</sup> /кг	$V_r^0 = V_{N_2}^0 + V_{RO_2}^0 + V_{H_2O}^0$	4,354

### 3.3 Определение коэффициентов избытка воздуха

В таблице 3.4 приведены коэффициенты избытка воздуха при сжигании каменных углей в газоплотной топочной камере пылеугольного котла.

Коэффициенты избытка воздуха на выходе из каждого устройства котла по ходу движения дымовых газов, определяются по формуле:

$$\alpha'' = \alpha_T + \Sigma \alpha_i \quad (3.1)$$

Таблица 3.4 – Коэффициент избытка воздуха

Наименование	Расчетная формула, источник	Значение
Коэффициент избытка воздуха в топке	при сжигании каменных углей с выходом летучих $V_r \geq 25\%$ принимаем по [1, таблица XVIII], $\alpha_T$	1,18
Присосы воздуха по газовому тракту		
- топка	газоплотная топочная камера пылеугольного, $\Delta \alpha_T$	0,02

Продолжение таблицы 3.4

Наименование	Расчетная формула, источник	Значение
- пароперегреватель	газоплотный газоход от топки по [1, таблица XVII], $\Delta\alpha_{\text{ПП}}$	0
- водяной экономайзер II ст	по [1, таблица XVII.А], $\Delta\alpha_{\text{ЭК2}}$	0,02
- воздухоподогреватель II ст	по [1, таблица XVII.А], $\Delta\alpha_{\text{ВП2}}$	0,03
- водяной экономайзер I ст	по [1, таблица XVII.А], $\Delta\alpha_{\text{ЭК1}}$	0,02
- воздухоподогреватель I ст	по [1, таблица XVII.А], $\Delta\alpha_{\text{ВП1}}$	0,03
Присосы в системе пылеприготовления с шаровыми барабанными мельницами при сушке горячим воздухом	по [1, таблица XVII.Б], $\Delta\alpha_{\text{ПЛ}}$	0,1

Расчет действительных объемов продуктов сгорания по газоходам котла при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha > 1$  приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Характеристики продуктов сгорания

Величина	$V_{\text{B}}^0 = 3,977 \text{ м}^3/\text{кг}; V_{\text{N}_2}^0 = 3,147 \text{ м}^3/\text{кг};$ $V_{\text{RO}_2}^0 = 0,724 \text{ м}^3/\text{кг}; V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,484 \text{ м}^3/\text{кг}$					
	топка	ПП	ВЭ2	ВП2	ВЭ1	ВП1
Коэффициент избытка воздуха, $\alpha''_i$	1,2	1,2	1,22	1,25	1,27	1,3
Средний коэффициент избытка воздуха, $\alpha''_{\text{ср}}$	1,2	1,2	1,21	1,235	1,26	1,285
Объем водяных паров, $V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161(\alpha_{\text{ср}} - 1)V_{\text{B}}^0, \text{ м}^3/\text{кг}$	0,497	0,497	0,497	0,499	0,500	0,502
Объем дымовых газов, $V_{\text{Г}} = V_{\text{Г}}^0 + (\alpha_{\text{ср}} - 1)V_{\text{B}}^0, \text{ м}^3/\text{кг}$	5,150	5,150	5,190	5,289	5,388	5,488
Объемная доля трехатомных газов, $r_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2}^0 / V_{\text{Г}}$	0,1405	0,1405	0,1395	0,1368	0,1343	0,1319
Объемная доля водяных паров, $r_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 / V_{\text{Г}}$	0,0939	0,0939	0,0932	0,0915	0,0898	0,0882
Суммарная объемная доля, $r_{\text{п}} = r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,2345	0,2345	0,2327	0,2283	0,2241	0,2200
Масса продуктов сгорания, $G_{\text{Г}} = 1 - \frac{A^{\text{п}}}{100} + 1,306\alpha V_{\text{B}}^0, \text{ кг}/\text{кг}$	6,810	6,810	6,862	6,992	7,122	7,251
Концентрация золы в продуктах сгорания, $\mu_{\text{ун}} = \frac{A^{\text{п}}\alpha_{\text{ун}}}{100G_{\text{Г}}}, \text{ кг}/\text{кг},$ где $\alpha_{\text{ун}} = 0,95$ – доля уноса золы дымовыми газами	0,0589	0,0589	0,0585	0,0574	0,0564	0,0554

### 3.4 Определение энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  и температуре  $\vartheta$ , °С:

$$I_{O,B} = V_B^0 (c\vartheta)_B, \text{кДж/кг} \quad (3.2)$$

где  $(c\vartheta)_B$  - удельная энтальпия воздуха при расчетных температурах, определяется по [1].

Энтальпия теоретического объема дымовых газов при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  и температуре  $\vartheta$ , °С:

$$I_{O,\Gamma} = V_{RO_2}^0 (c\vartheta)_{CO_2} + V_{N_2}^0 (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (c\vartheta)_{H_2O}, \text{кДж/кг} \quad (3.3)$$

где  $(c\vartheta)_{CO_2}$ ,  $(c\vartheta)_{N_2}$  и  $(c\vartheta)_{H_2O}$  - удельная энтальпия, соответственно, углекислого газа, азота и водяных паров, при расчетных температурах, определяется по [1].

Энтальпия дымовых газов на 1 кг топлива:

$$I = I_{O,\Gamma} + (\alpha - 1)I_{O,B} + I_{зл}, \text{кДж/кг} \quad (3.4)$$

где  $I_{зл}$  - энтальпия золы:

$$I_{зл} = (c\vartheta)_{зл} \frac{A^p \alpha_{УН}}{100G_r}, \text{кДж/кг} \quad (3.5)$$

Расчет энтальпии продуктов сгорания приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Энтальпии продуктов сгорания

$\vartheta$ , °С	$I_{O,\Gamma}$ , кДж/кг	$I_{O,B}$ , кДж/кг	$I_{зл}$ , кДж/кг	$I = I_{O,\Gamma} + (\alpha - 1)I_{O,B}$ , кДж/кг					
				топка $\alpha''_T$	ПП $\alpha''_{пп}$	ВЭ2 $\alpha''_{эк2}$	ВП2 $\alpha''_{вп2}$	ВЭ1 $\alpha''_{эк1}$	ВП1 $\alpha''_{вп1}$
100	606,50	527,72	32,43						797,24
200	1228,98	1061,81	67,87						1615,39
300	1871,37	1602,65	105,96					2410,1	2458,13
400	2529,22	2155,43	144,50				3212,6	3255,7	3320,35
500	3203,66	2724,11	183,83			3989,8	4071,5	4126,0	
600	3902,47	3300,75	224,77		4787,4	4853,4	4952,4		
700	4614,97	3893,30	265,71		5659,3	5737,2			

Продолжение таблицы 3.6

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$I_{O,\Gamma},$ кДж/кг	$I_{O,B},$ кДж/кг	$I_{\text{эл}},$ кДж/кг	$I = I_{O,\Gamma} + (\alpha - 1)I_{O,B}, \text{кДж/кг}$					
				топка $\alpha''_{\text{т}}$	ПП $\alpha''_{\text{пп}}$	ВЭ2 $\alpha''_{\text{эк2}}$	ВП2 $\alpha''_{\text{вп2}}$	ВЭ1 $\alpha''_{\text{эк1}}$	ВП2 $\alpha''_{\text{вп1}}$
800	5339,80	4489,82	307,85		6545,6				
900	6081,80	5102,25	351,20	7453,5	7453,5				
1000	6834,68	5718,65	394,95	8373,4	8373,4				
1100	7591,21	6343,01	440,31	9300,1	9300,1				
1200	8363,44	6975,32	484,06	10242,6					
1300	9119,93	7611,61	546,27	11188,5					
1400	9904,50	8255,85	635,38	12191,1					
1500	10696,08	8904,07	706,02	13182,9					
1600	11493,70	9556,27	752,98	14157,9					
1700	12300,28	10208,47	828,44	15170,4					
1800	13109,27	10864,64	877,41	16159,6					
1900	13919,71	11528,77	958,08	17183,6					
2000	14735,96	12192,90	1008,25	18182,8					

### 3.5 Определение элементов теплового баланса котельного агрегата

Общее уравнение теплового баланса котла имеет вид:

$$Q_p + Q_{\text{в.вн}} + Q_{\text{ф}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.6)$$

где  $Q_{\text{в.вн}}$  – учитывает тепло горячего воздуха подогретого вне котла и внесенного в топочную камеру,  $Q_{\text{ф}}$  – учитывает тепло от форсуночного дутья,  $Q_2$  – тепловые потери с уходящими дымовыми газами,  $Q_3$  – потери тепла от химической неполноты сгорания топлива,  $Q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива,  $Q_5$  – потери тепла через обмуровку котла в окружающую среду,  $Q_6$  – потери тепла с теплотой шлака.

Расчет котла выполняется при номинальной нагрузке котлоагрегата. В таблице 3.7 приведен расчет элементов теплового баланса котла.

Таблица 3.7 – Расчет элементов теплового баланса котла

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Располагаемое тепло рабочей массы топлива	кДж/кг	$Q_p = Q_H^p + i_{тл}$	15280
Энтальпия холодного воздуха в котельной	кДж/кг	расчет $I_{0хв}$ , по табл.6 при $t_{хв} = 30^\circ\text{C}$	159,84
Энтальпия воздуха перед ВЗП	кДж/кг	расчет $I_{0к}$ , по табл.6 при $t_{вп} = 50^\circ\text{C}$	266,4
Тепло, вносимое воздухом, при его подогреве вне котла	кДж/кг	$Q_{в.вн} = (\alpha''_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} + \Delta\alpha_{вп}) \cdot (I_{0к} - I_{0хв})$	121,48
Тепло, вносимое с форсуночным дутьем	кДж/кг	$Q_\phi$	0
Энтальпия уходящих газов	кДж/кг	расчет $I_{ух}$ , по табл.6 при $\vartheta_{ух} = 138^\circ\text{C}$	1108,14
Отношение воздуха на входе в тракт к теор. необход.	-	$\beta_{изб}$	0,15
Отношение изб. воздуха к теор. необходимому	-	$\beta' = \alpha''_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} + \Delta\alpha_{вп} + \beta_{изб}$	1,29
Потери теплоты от мех-ой неполноты сгорания	%	для камерных топок с твердым шлакоудалением, при сжигании твердого топлива по [1, таблица XVIII], $q_4$	2,5
Энтальпия горячего воздуха	кДж/кг	расчет $I_{0гв}$ , по табл.6 при $t_{ср.гв} = 204,5^\circ\text{C}$	1086,15
Энтальпия присасываемого воздуха в газоходы	кДж/кг	$I_{0прс} = \frac{(\Delta\alpha_T + \sum \Delta\alpha_{пп} + \sum \Delta\alpha_{эк}) \cdot I_{0хв} + \sum \Delta\alpha_{вп} \cdot I_{0гв}}{\sum \Delta\alpha_{пп} + \sum \Delta\alpha_{эк} + \sum \Delta\alpha_{вп}}$	747,59
Тепловые потери с уходящими газами	%	$q_2 = \frac{[I_{ух} - (\alpha_{ух} - \beta')I_{пр} - \beta'I_{0хв}] \cdot (100 - q_4)}{Q_p}$	5,71
Потери теплоты от хим-ой неполноты сгорания	%	по [1, таблица XVIII], $q_3$	0
Номинальная нагрузка котла	кг/с	100% $D_{пе}$	69,44
Потери тепла через обмуровку	%	$q_5 = q_{5ном} = \frac{(60/D_{пе})^{0,5}}{lg D_{пе}}$	0,5
Доля золы топлива, переходящая в шлак	-	$\alpha_{шл} = 1 - \alpha_{ун}$	0,05
Энтальпия шлака	кДж/кг	$(c\vartheta)_{зл}$ , по табл.6 при $t_{шл} = 600^\circ\text{C}$	560
Потери тепла с теплотой шлака	%	$q_6 = \frac{\alpha_{шл}(c\vartheta)_{зл}A^p}{Q_p} \%$	0,08
Суммарные потери тепла в котле	%	$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$	8,79



Продолжение таблицы 3.7

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
КПД котла брутто	%	$\eta_k^{бр} = 100 - \Sigma q$	91,21
Коэффициент сохранения тепла	-	$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_k^{бр} + q_5}$	0,995
Энтальпия перегретого пара	кДж/кг	Определяем $i_{пе}$ , при $t_{пп} = 545^\circ\text{C}$ и $P_{пп} = 9,8$ МПа	3492,45
Энтальпия питательной воды	кДж/кг	Определяем $i_{пв}$ , при $t_{пв} = 215^\circ\text{C}$ и $P_{пв} = 1,1P_6 = 12,43$ МПа	924,03
Энтальпия воды в барабане котла	кДж/кг	Определяем $i'_s$ , в состоянии насыщения при $P_6 = 11,3$ МПа	1462,72
Расход пара на продувку	кг/с	$D_{пр} = \frac{p \cdot D_{пе}}{100}$ , величина продувки $p = 2\%$	1,39
Энтальпия горячего воздуха	кДж/кг	расчет $I_{0гв}$ , по табл.6 при $t_{гв} = 359^\circ\text{C}$	1921,75
Энтальпия ух. газов после золоуловля	кДж/кг	расчет $I_{0ух.з}$ , по табл.6 при $t_{ух.з} = 100^\circ\text{C}$	797,2
Тепло избыточного воздуха	кВт	$Q_{изб} = \beta_{изб}(I_{0гв} - I_{0ух.з})B_p$ , кВт	542
Тепло, полезно использованное в котле	кВт	$Q_1 = Q_k = D_{пе}(i_{пе} - i_{пв}) + D_{пр}(i'_s - i_{пв}) + Q_{изб}$	179652
Полный расход топлива	кг/с	$B = \frac{Q_1}{\frac{Q_p \eta_k^{бр}}{100} + Q_{в.вн} + Q_\phi}$	12,778
Расчетный расход топлива	кг/с	$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$	12,459

Для проведения аэродинамических расчетов газового и воздушного тракта котла в дальнейшем будем использовать расчетный расход топлива  $B_p = 12,459$  кг/с.

### 3.6 Расчет теплообмена в топке

На основе чертежей общего вида котла Е-250-9,8-545 КТ определяем геометрические размеры и конструктивные характеристики, приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Конструктивные характеристики топочной камеры

Наименование	Расчетная формула, источник	Значение
Глубина топки, м	Чертеж общего вида котла [8], $a_T$	9,34
Ширина топки, м	Чертеж общего вида котла [8], $b_T$	7,22
Высота топки, м	Чертеж общего вида котла [8], $H_T$	16
Высота первого яруса горелок, м	Чертеж общего вида котла [8], $h_{r1}$	1,3
Высота второго яруса горелок, м	Чертеж общего вида котла [8], $h_{r2}$	3,4
Количество горелок в каждом ярусе	Горелки расположены тангенциально, $n_1; n_2$	4; 4
Площадь потолка, м <sup>2</sup>	Чертеж общего вида котла [8], $F_{\Pi}$	43
Площадь газового окна, м <sup>2</sup>	Чертеж общего вида котла [8], $F_{Го}$	72,9
Общая поверхность стен топочной камеры, м <sup>2</sup>	Чертеж общего вида котла [8], $F_{ст}$	679,4
Площадь экранов топки, м <sup>2</sup>	Чертеж общего вида котла [8], $F_{эк}$	533,6
Объем топочной камеры, м <sup>3</sup>	Чертеж общего вида котла [8], $V_T$	1212,5

Топка котла полностью экранирована цельносварными газоплотными панелями из труб диаметром 60x5, сталь 20, шаг труб в панелях топочных экранов – 80 мм. Потолочный пароперегреватель, состоит из 116 труб 42x4 мм, сталь 20, образует потолок топки. На выходе из топки котла, образуя газовое окно располагаются 8 крайних и 8 средних ширм, трубы 32x4,5 мм, из стали 12X1МФ.

В таблице 3.9 приведен тепловой расчет топочной камеры с определением действительной температуры газов на выходе из топки.

Таблица 3.9 – Тепловой расчет топочной камеры

Наименование	Размерность	Расчетная формула, источник	Значение
Эффективная толщина излучающего слоя объема топки	м	$s = 3,6 \cdot \frac{V_T}{F_{CT}}$	6,425
Угловой коэффициент поверхностей нагрева котла			
- экранные трубы	-	По приложению [1, номограмма 1-а], $x_{ЭК}$	0,98
- потолочный пароперегреватель	-	По приложению [1, номограмма 1-а], $x_{П}$	0,89
- ширмы	-	По приложению [1, номограмма 1-а], $x_{ГО}$	1
Коэффициент снижения тепловосприятости экрана при его загрязнении	-	определяется по [1, п.6-06, таблица 6-3] для пыли каменных углей, $\zeta$	0,45
Сред. коэффициент тепловой эффективности	-	$\psi_{CP} = \frac{\psi_{ЭК} \cdot F_{ЭК} + \psi_{ГО} \cdot F_{ГО} + \psi_{П} \cdot F_{П}}{F_{CT}}$	0,415
Расход топлива на одну горелку	кг/с	$B_1 = \frac{B}{n_1}; B_2 = \frac{B}{n_2}$	1,597; 1,597
Средний уровень расположения горелок	м	$h_T = \frac{n_1 \cdot B_1 \cdot h_{r1} + n_2 \cdot B_2 \cdot h_{r2}}{n_1 \cdot B_1 + n_2 \cdot B_2}$	2,35
Относительный уровень расположения горелок	-	$x_T = \frac{h_T}{H_T}$	0,147
Параметр забалластированности топочных газов	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$r_v = \frac{V_T(1+r)}{V_{N_2}^0 + V_{RO_2}^0}$	1,33
Коэффициент		для пылеугольных топок с твердым шлакоудалением при тангенциальном расположении горелок по [1, п.6-18]	0,46
Параметр, учитывающий интенсивность теплообмена отн-но уровня горелок		$M = M_0(1 - 0,4 \cdot x_T) \cdot \sqrt[3]{r_v}$	0,476
Энтальпия горячего воздуха за ВЗП	кДж/кг	расчет $I''_{о.в.}$ , по табл.6 при $t_{ГВ} = 359^{\circ}\text{C}$	1921,75
Энтальпия холодного воздуха в котельной	кДж/кг	расчет $I_{о.прс.}$ , по табл.6 при $t_{ХВ} = 30^{\circ}\text{C}$	159,84
Отношение подаваемого в топку воздуха к теор. необходимому	-	$\beta'_T = \alpha''_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} - (\alpha_{отб} - 1) \cdot r_T$	1,08
Тепло, вносимое в топку воздухом	кДж/кг	$Q_B = \beta'_T \cdot I''_{о.в.} + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{пл})I_{о.прс.}$	2094,67
Полезное тепловыделение в топке	кДж/кг	$Q_T = Q_P \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\phi} + Q_B + \sum rI_{Г.отб.}$	17362,54
Адиабатическая температура горения	°С; К	расчет $\vartheta_a$ , по табл.6 по $Q_T$ ; $T_a = \vartheta_a + 273,15$	1917,9; 2191,1
Температура дымовых газов на выходе из топки	°С; К	Принимаем $\vartheta''_T$ ; $T''_T = \vartheta''_T + 273,15$	1145; 1418,2
Энтальпия дымовых газов	кДж/кг	расчет $I''_T$ , по табл.6 по $\vartheta''_T$	9724,22

Продолжение таблицы 3.9

Наименование	Размерность	Расчетная формула, источник	Значение
Средняя суммарная теплоёмкость продуктов сгорания	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$(Vc)_{\text{ср}} = \frac{Q_T - I_T''}{\vartheta_a - \vartheta_T''}$	9,883
Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	$k_{\Gamma} = \left( \frac{7,8 + 16 \cdot r_{\text{H}_2\text{O}}}{\sqrt{10 \cdot p \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot s}} - 1 \right) \times$ $\times (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot T_T'')$	0,733
Коэффициент	-	для топок с твердым шлакоудалением при сжигании каменных углей по [1, п.6-10], $A_{\text{зл}}$	0,8
Коэффициент поглощения лучей частицами золы	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	$k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}} = \frac{10^4 \cdot A_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}}{\sqrt[3]{(T_T'')^2} \cdot 1 + 1,2 \mu_{\text{зл}} s}$	2,568
Коэффициент поглощения лучей частицами кокса	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	для каменных углей по [1, п.6-11], $k_{\text{кокс}} \mu_{\text{кокс}}$	0,2
Коэффициент поглощения топочной среды	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	$k = k_{\Gamma} + k_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}} + k_{\text{кокс}} \mu_{\text{кокс}}$	3,502
Критерий Бугера	-	$Bu = k \cdot p \cdot s$	2,25
Эффективное значение критерия Бугера	-	$\bar{Bu} = 1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot Bu^2 + Bu + 2}{1,4 \cdot Bu^2 - Bu + 2} \right)$	0,8092
Расчётная температура газов в конце топки	$^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_T'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot \bar{Bu}^{0,3} \cdot \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \psi_{\text{ср}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot T_a^3}{\varphi \cdot B_p \cdot (Vc)_{\text{ср}}} \right]^{0,6}} - 273,15$	1149,1
Энтальпия дымовых газов на выходе из топки	$\text{кДж}/\text{кг}$	Рассчитанная температура дымовых газов на выходе из топки котла $\vartheta_T'' = 1149,1^{\circ}\text{C}$ , отличается от принятой предварительно $1145^{\circ}\text{C}$ , менее, чем на $100^{\circ}\text{C}$ . Принимаем для дальнейших расчетов $\vartheta_T'' = 1149,1^{\circ}\text{C}$ , определяем $I_T''$ , по табл.6	9762,99
Количество тепла, воспринятое в топке излучением	$\text{кДж}/\text{кг}$	$Q_{\text{л}} = \varphi \cdot (Q_T - I_T'')$	7558,12
Среднее тепловосприятие поверхностей топочной камеры	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$	$q_{\text{л}} = \frac{B_p \cdot Q_{\text{л}}}{F_{\text{ст}}}$	138,6

### 3.7 Тепловой расчета поверхностей нагрева

Результаты расчета поверхностей нагрева котла – пароперегревателей, экономайзера и воздухоподогревателя с определением конструктивных размеров, температуры и скорости среды и газов приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результат расчета поверхностей нагрева котла

Наименование, размерность	Значение
<b>Ширмовый пароперегреватель (край)</b>	
Диаметр труб, мм	32×4,5
Поперечный шаг, мм	560
Продольный шаг, мм	44
Количество труб в каждой ширме, шт	23
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	186
Тип пучка	коридорный
Схема соединения	прямоток
Температура пара на входе, °С	414
Температура пара на выходе, °С	463
Скорость газов, м/с	5,0
Скорость пара, м/с	22,5
<b>Ширмовый пароперегреватель (середина)</b>	
Диаметр труб, мм	32×4,5
Поперечный шаг, мм	560
Продольный шаг, мм	44
Количество труб в каждой ширме, шт	23
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	186
Тип пучка	коридорный
Схема соединения	прямоток
Температура пара на входе, °С	416
Температура пара на выходе, °С	461
Скорость газов, м/с	5,0
Скорость пара, м/с	25,0
<b>Конвективный пароперегреватель 3 ступень (край)</b>	
Диаметр труб, мм	32×5
Поперечный шаг, мм	120
Продольный шаг, мм	60

Продолжение таблицы 3.10

Наименование, размерность	Значение
Количество рядов труб, шт	12
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	230
Тип пучка	коридорный
Схема соединения	прямоток
Температура газов на входе, °С	978
Температура пара на входе, °С	461
Температура пара на выходе, °С	507
Скорость газов, м/с	8,0
Скорость пара, м/с	22,8
Конвективный пароперегреватель 4 ступень (середина)	
Диаметр труб, мм	32×5
Поперечный шаг, мм	120
Продольный шаг, мм	60
Количество рядов труб, шт	12
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	236
Тип пучка	коридорный
Схема соединения	прямоток
Температура газов на входе, °С	978
Температура пара на входе, °С	499
Температура пара на выходе, °С	545
Скорость газов, м/с	8,0
Скорость пара, м/с	26,8
Конвективный пароперегреватель 1 ступень	
Диаметр труб, мм	32×4
Поперечный шаг, мм	120
Продольный шаг, мм	57
Количество рядов труб, шт	18
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	565,9
Тип пучка	коридорный
Схема соединения	противоток
Температура газов на входе, °С	824
Температура пара на входе, °С	350
Температура пара на выходе, °С	414

Продолжение таблицы 3.10

Наименование, размерность	Значение
Скорость газов, м/с	8,4
Скорость пара, м/с	13,7
Водяной экономайзер 2 ступень	
Диаметр труб, мм	32×4
Поперечный шаг, мм	90
Продольный шаг, мм	50
Количество рядов труб, шт	32
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	2724,32
Тип пучка	шахматный
Схема соединения	противоток
Температура газов на входе, °С	643
Температура воды на входе, °С	252
Температура воды на выходе, °С	308
Скорость газов, м/с	6,0
Скорость воды, м/с	1,0
Воздухоподогреватель 2 ступень	
Диаметр труб, мм	40×1,5
Поперечный шаг, мм	60
Продольный шаг, мм	40,5
Высота воздухоподогревателя, м	3,4
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	5728
Тип пучка	шахматный
Температура газов на входе, °С	446
Температура воздуха на входе, °С	243
Температура воздуха на выходе, °С	359
Скорость газов, м/с	10,9
Скорость воздуха, м/с	6,0
Водяной экономайзер 1 ступень	
Диаметр труб, мм	32×4
Поперечный шаг, мм	90
Продольный шаг, мм	50
Количество рядов труб, шт	16
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	1135,45

Продолжение таблицы 3.10

Наименование, размерность	Значение
Тип пучка	шахматный
Схема соединения	противоток
Температура газов на входе, °С	348
Температура воды на входе, °С	215
Температура воды на выходе, °С	230
Скорость газов, м/с	5,7
Скорость воды, м/с	1,1
Воздухоподогреватель 1 ступень (верхние кубы)	
Диаметр труб, мм	40×1,5
Поперечный шаг, мм	60
Продольный шаг, мм	40,5
Высота воздухоподогревателя, м	5,4
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	9097,5
Тип пучка	шахматный
Температура газов на входе, °С	300
Температура воздуха на входе, °С	113
Температура воздуха на выходе, °С	243
Скорость газов, м/с	8,7
Скорость воздуха, м/с	6,1
Воздухоподогреватель 1 ступень (нижние кубы)	
Диаметр труб, мм	40×1,5
Поперечный шаг, мм	60
Продольный шаг, мм	40,5
Высота воздухоподогревателя, м	2,3
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	3468,9
Тип пучка	шахматный
Температура газов на входе, °С	192
Температура газов на выходе, °С	138
Температура воздуха на входе, °С	50
Температура воздуха на выходе, °С	113
Скорость газов, м/с	8,3
Скорость воздуха, м/с	6,3



## 4 Аэродинамический расчет котлоагрегата

### 4.1 Исходные данные

Аэродинамический расчет газовоздушного тракта выполняем на основе теплового расчета при номинальной нагрузке котлоагрегата. Целью аэродинамического расчета является подбор дымососов и дутьевых вентиляторов. При этом определяется производительность тягодутьевых механизмов, а также расчетный напор, который складывается из сопротивлений газового и воздушного тракта котла. Из теплового расчета и чертежей котла составляется таблица исходных данных для выполнения аэродинамического расчета котлоагрегата таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения аэродинамического расчета котлоагрегата

Участок тракта	Диаметр труб, $d$ , мм	Число рядов труб по ходу газов, $Z_2$ , мм	Отношение шага труб к диаметру		Длина продольно омываемых труб, м	Средняя температура газов, $\vartheta_{cp}$ , °C	Средняя скорость газов, $\omega_r$ , М/с
			$\frac{s_1}{d}$	$\frac{s_2}{d}$			
Ширмовый пароперегреватель	32	23	17,5	1,4	-	1061,5	5
Конвективный пароперегреватель 3 и 4 ступени	32	12	3,8	1,9	-	901	8
Конвективный пароперегреватель 1 ступени	32	18	3,8	1,8	-	733,5	8,4
Водяной экономайзер 2 ступени	32	32	2,8	1,3	-	544,5	6
Воздухоподогреватель 2 ступени	40	-	1,5	1,0	3,4	397	10,9
Водяной экономайзер 1 ступени	32	16	2,8	1,3	-	324	5,7
Воздухоподогреватель 1 ступени (верхние кубы)	40	-	1,5	1,0	5,4	246	8,7
Воздухоподогреватель 1 ступени (нижние кубы)	40	-	1,5	1,0	2,3	165	8,3

## 4.2 Аэродинамический расчет газового тракта

Полное сопротивление газового тракта котла с уравновешенной тягой складывается из сопротивлений поверхностей нагрева – пароперегреватели, экономайзер и воздухоподогреватели; местные сопротивления – повороты в газоходах, конфузоры, диффузоры и др.; сопротивления трения на участках газохода – котел-золоуловитель, золоуловитель-дымосос, дымосос-дымовая труба; самотяга – газоходов и дымовой трубы. На рисунке 2 приведена расчетная схема газового тракта.

Аэродинамический расчет газового тракта приведен в таблице 4.2.

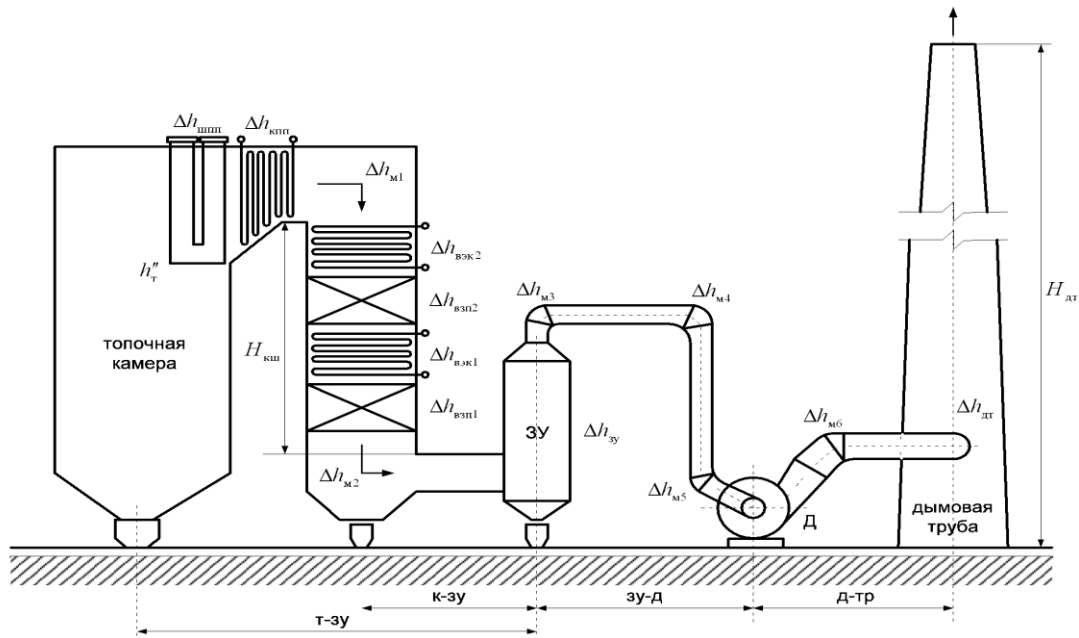


Рисунок 2 – Расчетная схема газового тракта котла

Таблица 4.2 – Аэродинамический расчет газового тракта

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Ширмовый пароперегреватель			
Сопротивление ширмового пароперегревателя	Па	Сопротивление ширмового пароперегревателя учитывается при скоростях больших 10м/с, $\Delta h_{шпп}$	0
Конвективные пароперегреватели 3 и 4 ступени			
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	9,8
Расчетное соотношение	-	$\psi = \frac{s_1 - d}{s_2 - d}$	3,1

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Вспомогательный коэффициент	-	При $\sigma_1 > \sigma_2$ и $1 < \psi \leq 8$ , Принято по [2, рис VII-6],	
		$\xi_{гр}$	0,57
		$C_\sigma$	0,48
		$C_{Re}$	0,48
		$\xi_0 = \xi_{гр} C_\sigma C_{Re}$	0,131
Коэффициент сопротивления гладкотрубного коридорного пучка	-	$\xi = \xi_0 z_2$	1,572
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,2
Сопротивление поперечно омываемого пучка	Па	$\Delta h_{кпп3,4} = k \xi h_d$	18,6
Конвективный пароперегреватели 1 ступени			
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	12,7
Расчетное соотношение	-	$\psi = \frac{s_1 - d}{s_2 - d}$	3,5
Вспомогательный коэффициент	-	При $\sigma_1 > \sigma_2$ и $1 < \psi \leq 8$ , Принято по [2, рис VII-6],	
		$\xi_{гр}$	0,54
		$C_\sigma$	0,48
		$C_{Re}$	0,42
		$\xi_0 = \xi_{гр} C_\sigma C_{Re}$	0,109
Коэффициент сопротивления гладкотрубного коридорного пучка	-	$\xi = \xi_0 z_2$	1,962
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,2
Сопротивление поперечно омываемого пучка	Па	$\Delta h_{кпп1} = k \xi h_d$	29,8
Водяной экономайзер 2 ступени			
Условный определяющий размер	м	Для труб с круглыми ребрами по [2, формула 1-19], $l$	0,035
Эквивалентный диаметр поперечного сечения пучка	м	по [2, формула 1-20], $d_э$	0,069
Вспомогательные коэффициенты	-	Принято по [2, рис VII-8],	
		$C_{d_э}$	0,75
		$C_l$	0,95
		$C_z$	1
		$\Delta h_{гр}$	0,68
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,1

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Сопротивление поперечно омываемого шахматного пучка с поперечными ребрами	Па	$\Delta h_{взк2} = kC_{a_3}C_lC_z\Delta h_{гр}z_2$	170,5
Водяной экономайзер 1 ступени			
Условный определяющий размер	м	Для труб с круглыми ребрами по [2, формула 1-19], $l$	0,043
Эквивалентный диаметр поперечного сечения пучка	м	по [2, формула 1-20], $d_э$	0,077
Вспомогательные коэффициенты	-	Принято по [2, рис VII-8], $C_{a_3}$	0,74
		$C_l$	0,94
		$C_z$	1
		$\Delta h_{гр}$	0,75
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,1
Сопротивление поперечно омываемого шахматного пучка с поперечными ребрами	Па	$\Delta h_{взк1} = kC_{a_3}C_lC_z\Delta h_{гр}z_2$	90,6
Воздухоподогреватель 2 ступени			
Поправка на внутренний диаметр труб	-	При коэффициенте шероховатости $k = 0,2$ и $d_{вн} = 37$ мм принято по [2, рис VII-4], $C_{ш}$	1,0
Потеря давления в трубчатых воздухоподогревателях	Па	принято по [2, рис VII-4], $\Delta h'_{гр}$	34,0
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр} = C_{ш}\Delta h'_{гр}h_{вп}$	115,6
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	33,0
Количество ходов	шт	$m$	1
Отношение площадей	-	$\frac{F_M}{F_6} = \frac{0,785d_{вн}^2}{s_1s_2}$	0,4
Сумма сопротивлений входа и выхода воздухоподогревателя	-	$\xi_{вх} + \xi_{вых}$	0,7
Сопротивление, вызванное изменением скорости газов	Па	$\Delta h_{изм} = m(\xi_{вх} + \xi_{вых})h_d$	23,1
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,1
Суммарное сопротивление ступени воздухоподогревателя	Па	$\Delta h_{взп2} = k(\Delta h_{тр} + \Delta h_{изм})$	152,6
Воздухоподогреватель 1 ступень (верхние кубы)			
Поправка на внутренний диаметр труб	-	При коэффициенте шероховатости $k = 0,2$ и $d_{вн} = 37$ мм принято по [10, рис VII-4], $C_{ш}$	1,0

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Потеря давления в трубчатых воздухоподогревателях	Па	принято по [2, рис VII-4], $\Delta h'_{гр}$	27,0
Сопrotивление трения	Па	$\Delta h_{тр} = C_{ш} \Delta h'_{гр} h_{вп}$	145,8
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	27,5
Количество ходов	шт	$m$	1
Отношение площадей	-	$\frac{F_M}{F_0} = \frac{0,785 d_{вн}^2}{s_1 s_2}$	0,4
Сумма сопротивлений входа и выхода воздухоподогревателя	-	$\xi_{вх} + \xi_{вых}$	0,7
Сопrotивление, вызванное изменением скорости газов	Па	$\Delta h_{изм} = m(\xi_{вх} + \xi_{вых}) h_d$	18,6
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,1
Суммарное сопротивление ступени воздухоподогревателя	Па	$\Delta h_{взп1в} = k(\Delta h_{тр} + \Delta h_{изм})$	180,8
Воздухоподогреватель 1 ступень (нижние кубы)			
Поправка на внутренний диаметр труб	-	При коэффициенте шероховатости $k = 0,2$ и $d_{вн} = 37\text{мм}$ принято по [2, рис VII-4], $C_{ш}$	1,0
Потеря давления в трубчатых воздухоподогревателях	Па	принято по [2, рис VII-4], $\Delta h'_{гр}$	28,5
Сопrotивление трения	Па	$\Delta h_{тр} = C_{ш} \Delta h'_{гр} h_{вп}$	65,6
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	28,5
Количество ходов	шт	$m$	1
Отношение площадей	-	$\frac{F_M}{F_0} = \frac{0,785 d_{вн}^2}{s_1 s_2}$	0,4
Сумма сопротивлений входа и выхода воздухоподогревателя	-	$\xi_{вх} + \xi_{вых}$	0,7
Сопrotивление, вызванное изменением скорости газов	Па	$\Delta h_{изм} = m(\xi_{вх} + \xi_{вых}) h_d$	20,0
Коэффициент	-	Принято по [2, таблица VII-5], $k$	1,1
Суммарное сопротивление ступени воздухоподогревателя	Па	$\Delta h_{взп1н} = k(\Delta h_{тр} + \Delta h_{изм})$	94,1
Участок 1 Поворот из горизонтального газохода в конвективную шахту			
Коэффициент местного сопротивления	-	Резкий поворот на $90^\circ$ $\xi_m$	1,4
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	7,2
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	12
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс1} = \xi h_d$	16,8

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Участок 2 от воздухоподогревателя до золоуловителя			
Коэффициент местного сопротивления	-	Перепуск газов по трем трубам, резкий поворот на 90°, вход в канал и два плавных поворота 90° в каждой трубе $\Sigma\xi_m$	3,6
Средняя скорость	м/с	$\omega_{cp}$	13,1
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	78
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{mc2} = \Sigma\xi_m h_d$	280,8
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	23,5
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	2,67
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,015
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр2} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	30,1
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч2} = \Delta h_{mc2} + \Delta h_{тр2}$	310,9
Золоуловитель			
Сопротивление золоуловителя	Па	Два батарейных эмульгатора II поколения, принимаем по [2], $\Delta h_{зy}$	1470
Участок 3 от золоуловителя до дымососа			
Коэффициент местного сопротивления	-	Перепуск газов по четырем трубам, конфузор, два плавных поворота 45° в каждой трубе $\Sigma\xi_m$	0,8
Средняя скорость	м/с	$\omega_{cp}$	11,0
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	58
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{mc3} = \Sigma\xi_m h_d$	185,6
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	12
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	1,8
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,017
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр3} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	26,1
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч3} = \Delta h_{mc3} + \Delta h_{тр3}$	211,7

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Участок 4 от дымососа до дымовой трубы			
Коэффициент местного сопротивления	-	Перепуск газов по двум трубам, вход в дымовую трубу, один плавный поворота 45° в каждой трубе $\Sigma\xi_M$	1,4
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	9,4
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	42
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс4} = \Sigma\xi_M h_d$	117,6
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	13
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	1,94
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,017
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр4} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	9,5
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч4} = \Delta h_{мс4} + \Delta h_{тр4}$	127,1
Дымовая труба			
Коэффициент сопротивления трения	-	Для бетонных и кирпичных труб, принято по [2], $\lambda$	0,05
Величина уклона	-	принято по [2], $i$	0,02
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	320
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр} = \frac{\lambda}{8i} h_d$	80
Коэффициент сопротивления на выходе трубы	-	Принято по [2], $\xi_{вых}$	1
Потеря давления с выходной скоростью	Па	$\Delta h_{вых} = \xi_{вых} h_d$	320
Сопротивление дымовой трубы	Па	$\Delta h_{д.тр} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{вых}$	400
Самотяга газоходов			
Средняя плотность дымовых газов	кг/м <sup>3</sup>	По таблице 3.5, $\rho_0 = \frac{G_r}{V_r}$	1,322
Высота опускающего газохода конвективной шахты	м	Принято по чертежу котла, $H_r$	22,7
Средняя температура в опускающем газоходе	°С	$\vartheta_r = \frac{\vartheta_{кпп} + \vartheta_{уг}}{2}$	481
Самотяга опускающего газохода	Па	$h_{с.г} = H_r g \left( 1,23 - \rho_0 \frac{273}{\vartheta_r + 273} \right)$	167,3
Высота дымовой трубы	м	Принято по чертежу котла, $H_r$	22,7

Продолжение таблица 4.2

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Средняя температура в дымовой трубе	°С	Принимаем $\vartheta_{\Gamma} = \frac{\vartheta_{\text{вх}} + \vartheta_{\text{вых}}}{2}$	100
Самотяга опускного газохода	Па	$h_{\text{с.д.тр}} = H_{\Gamma} g \left( 1,23 - \rho_0 \frac{273}{\vartheta_{\Gamma} + 273} \right)$	411,5
Самотяга всех газоходов	Па	$H_{\text{с}} = -h_{\text{с.г}} + h_{\text{с.д.тр}}$	244,2
Перепад полных давлений по газовому тракту			
Разрежение в топке котла	Па	Принимаем, $h''_{\text{т}}$	-20
Запыленность газов	-	По таблице 5, $\mu_{\text{мас}}$	0,057
Сумма сопротивлений на тракте топка-золоуловитель	Па	$\Sigma \Delta h_{\text{т-зу}} = \Delta h_{\text{шпп}} + \Delta h_{\text{кпп}} + \Delta h_{\text{взк}} + \Delta h_{\text{взп}} + \Delta h_{\text{зу}} + \Delta h_{\text{гх}}^{\text{т-зу}}$	2553,2
Сумма сопротивлений золоуловитель-дымовая труба	Па	$\Sigma \Delta h_{\text{з-дт}} = \Delta h_{\text{д.тр}} + \Delta h_{\text{гх}}^{\text{з-дт}}$	738,8
Сопротивление газового тракта при уравновешенной тяге	Па	$\Delta H = \Sigma \Delta h_{\text{т-зу}} (1 + \mu_{\text{мас}}) + \Sigma \Delta h_{\text{з-дт}}$	3437,5
Перепад полных давлений по газовому тракту	Па	$H_{\text{п}} = h''_{\text{т}} + \Delta H - H_{\text{с}}$	3173,3
Определение типоразмера дымососа			
Расчетный расход топлива	кг/с	Из таблицы 6, $B_{\text{р}}$	12,459
Объем уходящих газов	м <sup>3</sup> /кг	Из таблицы 5, $V_{\Gamma}$	5,488
Теоретически необходимое для горения кол-во воздуха	м <sup>3</sup> /кг	Из таблицы 3, $V_{\text{в}}^0$	3,977
Температура газов перед дымососом	°С	Принимаем, $\vartheta_{\Gamma}$	112,5
Присосы воздуха в газоходах до дымососа	-	Принимаем, $\Delta \alpha$	0,45
Расход газов при номинальной нагрузке	тыс. м <sup>3</sup> /ч	$V_{\text{д}} = 3,6 B_{\text{р}} (V_{\Gamma} + \Delta \alpha V_{\text{в}}^0) \frac{\vartheta_{\Gamma} + 273}{273}$	408,3
Расчетная производительность одного дымососа	тыс. м <sup>3</sup> /ч	Принимаем два дымососа, с запасом производительности 10%, $Q_{\text{д}} = \frac{1,1 V_{\text{д}}}{2}$	224,6
Расчетный напор дымососа	Па	С учетом запаса по давлению 20%, $H_{\text{д}} = 1,2 H_{\text{п}}$	3808,0
Мощность электропривода дымососа	кВт	С учетом запаса потребляемой мощности 5% и КПД дымососа $\eta_{\text{д}} = 0,72$ $N_{\text{д}} = 1,05 \frac{Q_{\text{д}} H_{\text{д}} 10^{-3}}{3,6 \eta_{\text{д}}}$	346,4



### 4.3 Выбор дымососов

На основе проведенного аэродинамического расчета газового тракта выбираем два центробежных дымососа двухстороннего всасывания ДН-22х2ФК, производства завода ООО «Сибэнергомаш-БКЗ», г. Барнаул. Дымососы предназначены для удаления дымовых газов из топок паровых стационарных котлоагрегатов производительностью до 480 т/ч с повышенным сопротивлением тракта дымовых газов и применяются для перемещения неагрессивных газов с запыленностью не более 2 г/м<sup>3</sup>, по абразивности не отличающиеся от золы дымовых газов [9].

Максимально допустимая температура перемещаемых дымовых газов на входе в дымосос не должна превышать +250°С. Тип лопаток рабочего колеса – листовые, радиально оканчивающиеся. Дымососы правого и левого вращения.

В таблице 4.3 приведены номинальные аэродинамические параметры при давлении 101,3 кПа, температуре 100°С и плотности газов 0,946 кг/м<sup>3</sup> на входе в дымосос.

На рисунке 3 приведена аэродинамическая характеристика центробежного насоса двухстороннего всасывания ДН-22х2ФК при частоте вращения  $n = 750$  об/мин.

Таблица 4.3 – Аэродинамические параметры дымососа ДН-22х2ФК

Параметр	Значение
Производительность, $Q$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	257
Полное давление, $P_v$ , Па	4350
Максимальный КПД, $\eta_{max}$ , %	77
Частота вращения, $n$ , об/мин	745

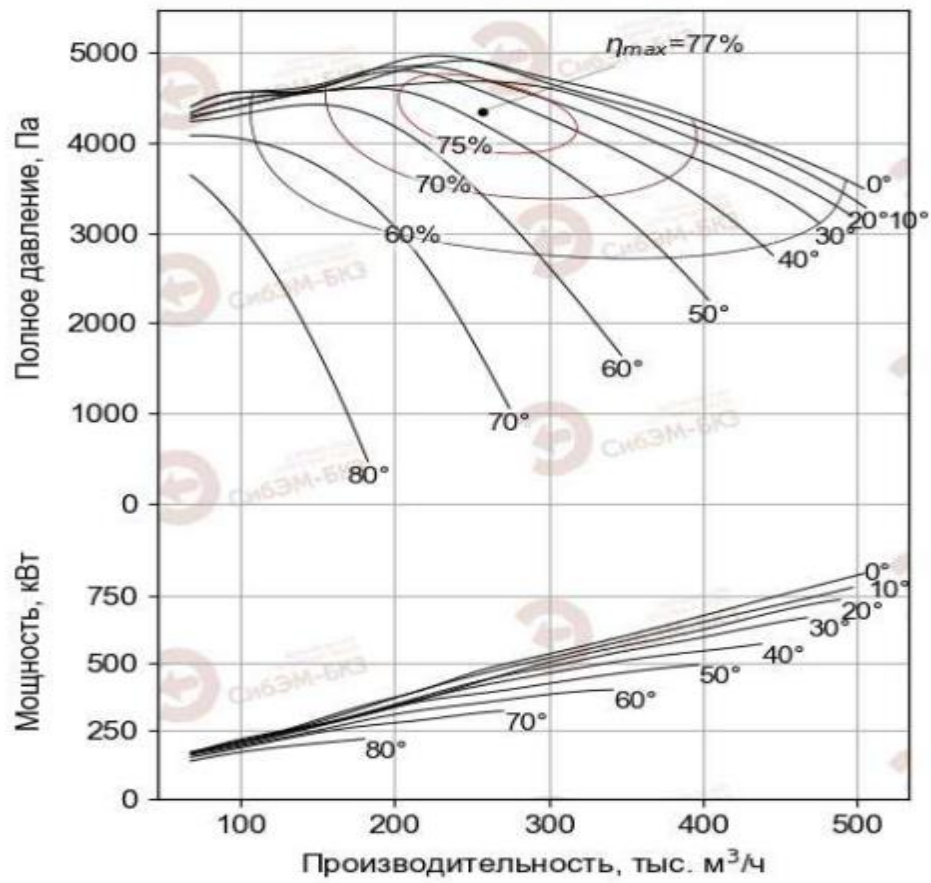


Рисунок 3 – Аэродинамическая характеристика дымососа ДН-22х2ФК

#### 4.4 Аэродинамический расчет воздушного тракта

Полное сопротивление воздушного тракта котла складывается из сопротивлений воздухопроводов холодного и горячего воздуха (местные сопротивления и сопротивления трения); калорифера котла; воздухоподогревателя; горелочных устройств; самотяги. На рисунке 4 приведена расчетная схема воздушного тракта.

Аэродинамический расчет воздушного тракта приведен в таблице 4.4.

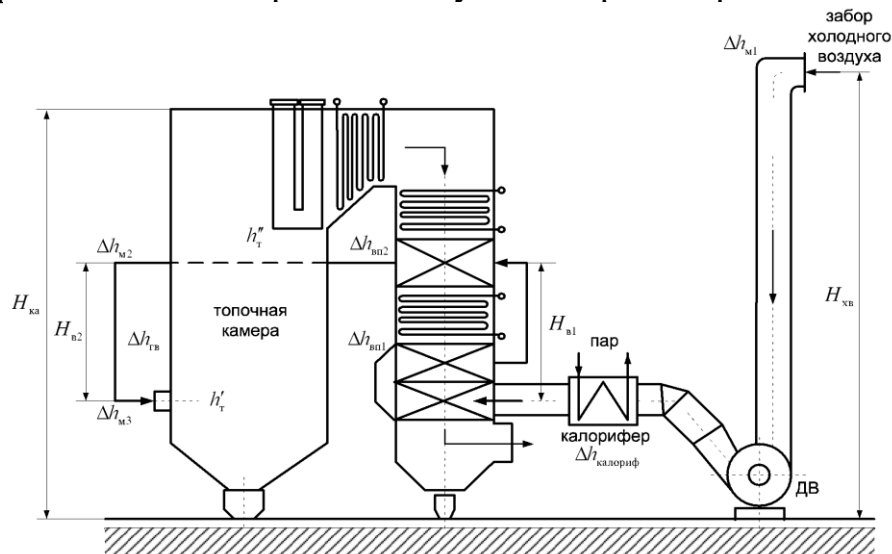


Рисунок 4 – Расчетная схема воздушного тракта котла

Таблица 4.4 – Аэродинамический расчет воздушного тракта

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Участок 1 от воздухозаборного окна до вентилятора			
Коэффициент местного сопротивления	-	Заборное окно, плавный поворот на 90°, поворот конфузор на 90°, диффузор $\Sigma \xi_m$	1,8
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	15,8
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	138
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс1} = \Sigma \xi_m h_d$	248,7
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	29,8
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	1,1
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,018
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр1} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	66,1
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч1} = \Delta h_{мс1} + \Delta h_{тр1}$	314,8

Продолжение таблицы 4.4

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Участок 2 от вентилятора до воздухоподогревателя			
Коэффициент местного сопротивления	-	два плавных поворота на 45°, конфузور, резкий поворот на 180° $\Sigma \xi_M$	2,8
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	16,1
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	144
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс2} = \Sigma \xi_M h_d$	402,1
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	21,3
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	1,694
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,016
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр2} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	28,7
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч2} = \Delta h_{мс2} + \Delta h_{тр2}$	430,7
Калорифер котла			
Сопротивление калорифера	Па	Секционные пластинчатые калориферы КП-Ск 297, принимаем по [2], $\Delta h_{кл}$	300
Воздухоподогреватель			
Средняя температура воздуха	°С	$t_{ср.г} = \frac{t_{вп} + t_{гв}}{2}$	204,5
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	6,2
Сопротивление одного ряда шахматных пучков	Па	принято по [2, рис VII-8], $\Delta h_{гр}$	4,6
Количество ходов по воздуху	шт	$m$	3
Количество ходов по глубине в каждом ходе	шт	$z_2$	84
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр} = \Delta h_{гр}(z_2 + 1)m$	1173
Коэффициент местного сопротивления	-	Резкий поворот на 180° $\Sigma \xi_M$	7
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	10
Сопротивление поворотов в перепускных трубах	Па	$\Delta h_{пов} = \Sigma \xi_M h_d$	71,5
Суммарное сопротивление воздухоподогревателя	Па	$\Delta h_{взп} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{пов}$	1244,5
Участок 3 от воздухоподогревателя до раздачи горячего воздуха			
Коэффициент местного сопротивления	-	поворот на 90°, конфузор $\Sigma \xi_M$	0,5
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	16,1

Продолжение таблицы 4.4

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	69
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс3} = \Sigma \xi_m h_d$	34,4
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	5,3
Эквивалентный диаметр	м	$d_э = \frac{2ab}{a+b}$	1,337
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,017
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр3} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	4,6
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч3} = \Delta h_{мс3} + \Delta h_{тр3}$	39,0
Участок 4 от раздачи горячего воздуха до горелок			
Коэффициент местного сопротивления	-	плавный поворот на 90°, клапан, поворот-конфузор на конфузор 90°, резкий поворот на 180° $\Sigma \xi_m$	2,6
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	19,8
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	104
Местное сопротивление	Па	$\Delta h_{мс4} = \Sigma \xi_m h_d$	271,9
Длина участка	м	Принимаем по чертежу $l$	16,0; 10,0
Диаметр участка	м	Принимаем по чертежу $d$	1,01; 0,71
Коэффициент сопротивления трения	-	Принято по [2, рисунок VII-3], $\lambda$	0,019
Сопротивление трения	Па	$\Delta h_{тр4} = \lambda \frac{l}{d_э} h_d$	57,7
Общее сопротивление участка	Па	$\Delta h_{уч4} = \Delta h_{мс4} + \Delta h_{тр4}$	39,0
Горелки			
Средняя скорость	м/с	$\omega_{ср}$	25
Динамическое давление	Па	Принято по [2, рисунок VII-2], $h_d$	166
Коэффициент сопротивления горелочного устройства	-	Принимаем по [10] $\xi_{гор}$	3
Сопротивление горелочного устройства	Па	$\Delta h_{гор} = \xi_{гор} h_d$	498
Самотяга воздухопроводов			
Высота воздухоподогревателей	м	Принято по чертежу котла, $H_{взп}$	14,7
Средняя температура воздуха	°С	$t_{ср.г} = \frac{t_{вп} + t_{гв}}{2}$	204,5
Самотяга воздухоподогревателей	Па	$h_{с.взп} = H_{взп} g \left( 1,23 - 1,32 \frac{273}{t_{ср.г} + 273} \right)$	68,5

Продолжение таблицы 4.4

Наименование	Размерность	Расчетная формула или источник	Значение
Разность отметок выход ВЗП и горелок нижнего яруса	м	Принято по чертежу котла, $H_{гор}$	22,7
Температура горячего воздуха	°С	По таблице 2 $t_{ГВ}$	359
Самотяга воздухопроводов к горелкам	Па	$h_{с.гор} = H_{гор}g \left( 1,23 - 1,32 \frac{273}{\vartheta_{Г} + 273} \right)$	57,6
Самотяга воздухопроводов	Па	$H_{с} = -h_{с.гор} + h_{с.взп}$	10,9
Перепад полных давлений по воздушному тракту			
Разрежение в топке на уровне горелок	Па	$h'_{Т} = h''_{Т} + 0,95H'$	30,1
Суммарное сопротивление воздушного тракта	Па	$\Delta H_{В} = \Sigma \Delta h_{уч} + \Delta h_{кл} + \Delta h_{взп} + \Delta h_{гор}$	3156,8
Перепад полных давлений по газовому тракту	Па	$H_{п} = \Delta H_{В} - h'_{Т} - H_{с}$	3115,8
Определение типоразмера дутьевого вентилятора			
Расчетный расход топлива	кг/с	Из таблицы 3.7, $B_p$	12,459
Теоретически необходимое для горения кол-во воздуха	м <sup>3</sup> /кг	Из таблицы 3.3, $V_B^0$	3,977
Температура холодного воздуха перед вентилятором	°С	По таблице 2 $t_{ХВ}$	30
Общий коэффициент избытка воздуха	-	$\beta' = \alpha''_{Т} - \Delta \alpha_{Т} - \Delta \alpha_{пл} + \Delta \alpha_{вп} + \beta_{изб}$	1,37
Расход воздуха при номинальной нагрузке	тыс. м <sup>3</sup> /ч	$V_B = 3,6B_p V_B^0 \beta' \frac{t_{ХВ} + 273}{273}$	271,2
Расчетная производительность одного дутьевого вентилятора	тыс. м <sup>3</sup> /ч	Принимаем два вентилятор, с запасом производительности 10%, $Q_B = \frac{1,1V_B}{2}$	149,2
Расчетный напор дутьевого вентилятора	Па	С учетом запаса по давлению 20%, $H_B = 1,2H_{п}$	3738,9
Мощность электропривода дутьевого вентилятора	кВт	С учетом запаса потребляемой мощности 5% и КПД дутьевого вентилятора $\eta_d = 0,85$ $N_d = 1,05 \frac{Q_B H_B 10^{-3}}{3,6\eta_B}$	191,4

#### 4.5 Выбор дутьевых вентиляторов

На основе проведенного аэродинамического расчета воздушного тракта выбираем два центробежных вентилятора одностороннего всасывания ВДН-18К, производства завода ООО «Сибэнергомаш-БКЗ», г.Барнаул. Вентиляторы предназначены для подачи воздуха в топки паровых стационарных котлоагрегатов производительностью до 480 т/ч. Применение вентиляторов возможно для перемещения чистого воздуха в технологических установках [9].

Максимально допустимая температура на входе в вентилятор не должна превышать +100°C.

В таблице 4.5 приведены номинальные аэродинамические параметры при давлении 101,3 кПа, температуре 30°C и плотности газов 1,165 кг/м<sup>3</sup> на входе в вентилятор.

На рисунке 5 приведена аэродинамическая характеристика центробежного вентилятора одностороннего всасывания ВДН-18К при частоте вращения  $n = 990$  об/мин.

Таблица 4.5 – Аэродинамические параметры вентилятор ВДН-18К

Параметр	Значение
Производительность, $Q$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	164
Полное давление, $P_v$ , Па	3960
Максимальный КПД, $\eta_{max}$ , %	1000
Частота вращения, $n$ , об/мин	545

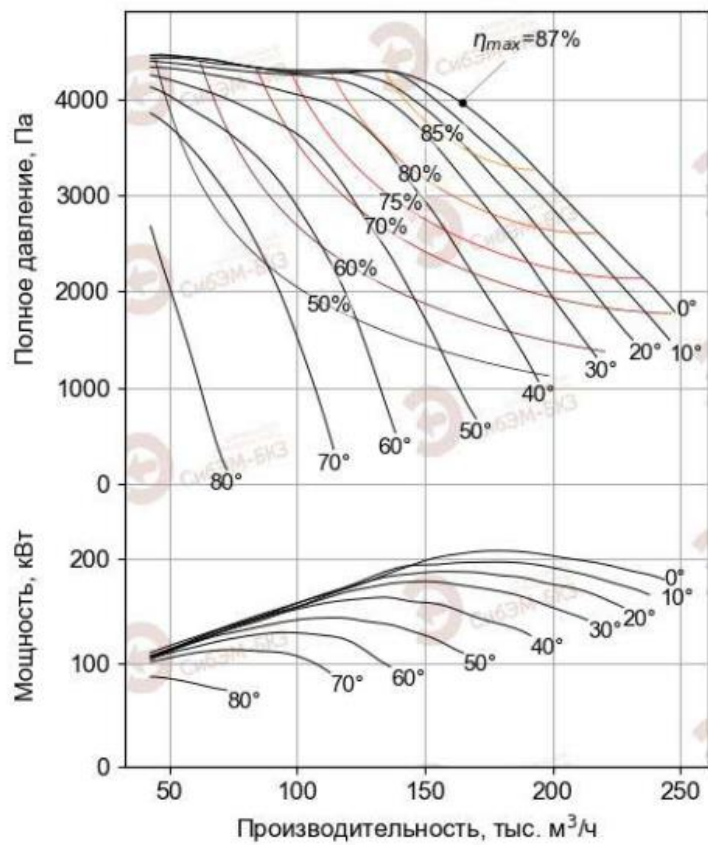


Рисунок 5 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВДН-18К



## **5 Модернизация тягодутьевых механизмов котла**

### **5.1 Режимы работы котельных агрегатов**

Работа на ТЭС связана с выполнением графика электрической нагрузки, который изменяется крайне неравномерно. Различают суточный, недельный и сезонный графики нагрузки. Базовым считается режим в основном на нагрузке, близкой к номинальной.

Так как график электрической нагрузки крайне неравномерен, котельный агрегат должен работать в широком диапазоне нагрузок, иметь высокие маневренные свойства [15]:

- показатели, определяющие диапазон рабочих нагрузок котлов – минимальная и максимальная;
- аккумулирующая способность котла;
- характеристики оборудования при пусках и остановах;
- динамические свойства при переходных процессах в котле;
- скорость изменения нагрузки;
- характеристики внезапных сбросов и набросов нагрузки.

Условия эксплуатации оборудования при различных его нагрузках характеризуются регулировочным диапазоном и диапазоном допустимых нагрузок.

Повышение нагрузки котлов требует увеличения расхода воздуха и дымовых газов, что ведет к перегрузке ДВ и ДС. Растут присосы воздуха, увеличивается гидравлическое сопротивление тракта котла, падает напор и производительность ТДМ. Режим работы ТДМ является одним из серьезных факторов, влияющих на ограничение номинальной мощности котельных агрегатов. МСН выбираются с запасом по производительности и напору на 10-15%.

Стационарный – режим работы на любой из нагрузок с незначительными отклонениями параметров пара. Нестационарные режимы,

характеризуются изменениями нагрузки, а также отклонениями параметров пара в результате внутренних или внешних возмущений.

Важным показателем является способность котла к быстрому изменению нагрузки. В основном определяется динамическими свойствами котла, его реакцией на изменение режима.

На крупных тепловых электростанциях внедряются системы автоматизированного регулирования частоты и мощности, которые выполняет следующие функции:

- устойчивое несение заданной нагрузки;
- участие в первичном регулировании частоты в соответствии с установленными требованиями;
- автоматическое изменение мощности при изменении задания, которое должно происходить с заданным темпом.

На качество регулирования мощности непосредственное влияние оказывают переходные процессы на котельном агрегате, при том, что инерционность котла значительно больше, чем турбины. На рисунке 6 показано изменение мощности энергоблока с учетом переходного процесса котельного агрегата при снижении частоты [12].

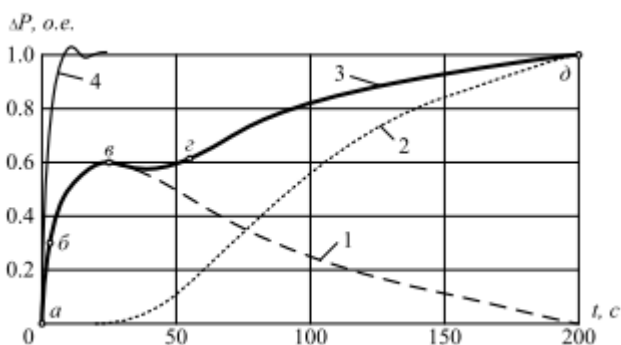


Рисунок 6 – Изменение мощности при снижении частоты

Линия 1 – изменение мощности за счет аккумулирующей теплоты;

Линия 2 – изменение мощности за счет изменения подачи топлива;

Линия 3 – изменение мощности при снижении частоты, как сумма двух процессов 1 и 2;

Линия 4 – теоретически возможный процесс изменения мощности.

Повышение эффективности участия энергоблоков тепловых электростанций в первичном регулировании частоты достигается с помощью систем регулирования котла. Помимо главного регулятора, предъявляются повышенные требования к регулятору тепловой нагрузки, регулятору воздуха (экономичности), регулятору разрежения.

Задачей управления котлоагрегатом является поддержание наиболее благоприятного режима работы котла при текущих условиях, в соответствии с режимной картой. При составлении режимной карты используются рекомендации завода-изготовителя, данные наладки котла, руководящие циркуляры вышестоящих организаций и накопленный опыт эксплуатации.

Режимные карты могут быть выполнены в виде таблиц или графиков. Пример режимной карты приведен на рисунке 7.

№ п/п	Параметры работы котла	Обознач.	Размерн.	Производит. т/час		
				160	180	200
1.	Давление перегретого пара	$P_{п.п.}$	Мпа	9,8	9,8	9,8
2.	Температура перегретого пара	$t_{п.п.}$	°С	525	525	525
3.	Температура питательной воды	$t_{п.в.}$	°С	215	215	215
4.	Разряжение вверху толки	Ст	кПа	0,05–0,1		
5.	Тонкость помола пыли на сите R-90	R-90	%	12–15		
6.	Температура азросм. за мельниц.	$t_{АЭР.}$	°С	90–105		
7.	Козффиц. избытка воздуха за п/п.	$a_{п/п}$		1,26	1,24	1,19
8.	Содержание кислорода за п/п.	$O_2_{п/п}$	%	4,4	4,1	3,3
9.	Содержание $CO_2$ за п/п.	$RO_2_{п/п}$	%	16,6	16,9	17,7
10.	Температура уходящих газов	$t_{ух.г.}$	°С	192	204	211
11.	Температура холодного воздуха	$t_{х.в.}$	°С	30-60		
12.	Число работающих пылесистем	$n_{п/с}$	шт.	1 – 2	2	2
13.	Разряжение перед мельницами	$S_m$	кПа	0,30-0,40		
14.	Загрузка эл. двиг. мельниц а / б	$I_m$	А	47/46	47/47	51/47
16.	Кол-во работающих дутьевых вент.	$n_{д/в}$	шт.	2	2	2
17.	Загрузка эл. двигателей Д.В. а / б	$I_{д/в}$	А	22/23	23/23	24/23
18.	Разряжение перед дымососами.	$S_{д/с}$	кПа	1,60-1,80		
19.	Кол-во работающих дымососов	$n_{д/с}$	шт.	2	2	2
20.	Загрузка эл. двигателей Д.С. а / б	$I_{д/с}$	А	28/27	28/29	29/29
21.	Кол-во работающих МВ	$n_{м/в}$	шт.	2	2	2
22.	Загрузка эл. двигателей М.В. а / б	$I_{д/в}$	А	26/27	28/28	29/29
23.	Содержание горючих в уносах	$c_{ун}^f$	%	5,9	6,3	7
24.	Потери тепла с уходящими газами	$q_2$	%	8,77	9,17	9,01
25.	Потери тепла с мех. недожогом	$q_4$	%	6,04	6,35	6,92
26.	К.П.Д. котла Брутто	$h_{к}^{Бр}$	%	84,40	83,75	83,42

Рисунок 7 – Режимная карта котла

## 5.2 Актуальность внедрения преобразователя частоты

Переменные нагрузки тепловых электростанций являются основной причиной неэкономичных режимов работы механизмов собственных нужд (часы работы механизмов собственных нужд с максимальной нагрузкой на большинстве ТЭС, как правило, не превышают 20–25% общего времени их использования) – многочисленных насосных и вентиляторных установок, а также их приводных асинхронных двигателей.

Частые пуски и остановки энергоблоков, изменение нагрузок, вызванных необходимостью дросселирования теплоносителей (пара, воды, воздуха, газов), сопровождаются потерями топлива и электроэнергии, которые могут достигать 15%.

Вследствие переменных режимов большинства энергоблоков ухудшается надежность эксплуатации и экономичность основного тепломеханического оборудования [36].

Механизмы собственных нужд станции, в число которых входят дутьевые вентиляторы и дымососы котла, потребляют ощутимую часть общей вырабатываемой станцией электроэнергии, для станций работающих на угле эта величина составляет до 5,5-8% [17].

Основные способы управления производительностью вентиляторов является дросселирование нагрузки и регулирование скорости вращения. Применение частотно-регулируемого привода на вентиляторах обеспечивает интегральное снижение потребляемой мощности на 25-40%, позволяет увеличить мощность котлоагрегата на 1-2% за счет уменьшения сопротивления газоздушного тракта и улучшения качества регулирования. На рисунке 8 показана экономия электроэнергии тягодутьевыми механизмами при использовании частотно-регулируемого привода – линия 2 в отличии от дроссельного регулирования – линия 1.

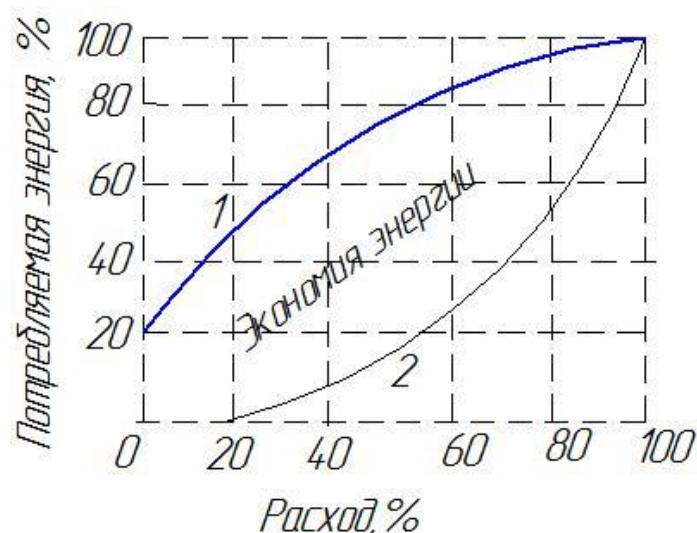


Рисунок 8 – Экономия энергии при частотном регулировании ТДМ

Внедрение преобразователей частоты для тягодутьевых механизмов помимо экономии электроэнергии дает ряд существенных преимуществ по сравнению с управлением при помощи шибера.

За счет применения частотно-регулируемых приводов достигается повышение надежности работы котлоагрегата в целом, за счет уменьшения вероятности выхода из строя и увеличения срока службы тягодутьевых механизмов. Тягодутьевые машины являются механизмами с большим моментом инерции, поэтому при их запуске возникают значительные механические и электрические перегрузки. Все это приводит к преждевременному выходу их из строя, и как следствие, остановке котла.

Применение преобразователей частоты позволяет осуществлять запуск данных механизмов практически без перегрузок, что положительно влияет на их надежность и срок службы [17].

Помимо этого, применение частотно-регулируемых приводов дает возможность реализовать сложные алгоритмы систем автоматического регулирования, которые позволяют управлять производительностью котла от систем АРЧМ, оптимизировать нагрев поверхностей пароперегревателей при изменении нагрузки котла, снизить расход топлива, уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу [16].

### 5.3 Анализ различных схем регулирования

Для изменения производительности вентилятора в процессе эксплуатации применяют регулирование.

Регулирование можно осуществлять тремя основными методами [7]:

1. изменением характеристики сети (увеличением или уменьшением сопротивления тракта);
2. изменением характеристики машины;
3. одновременным изменением характеристики сети и машины.

Глубина регулирования — это отношение допустимого уровня снижения подачи к исходной величине, зависит от номинального режима работы агрегата, формы характеристики и применяемого способа регулирования насоса или ТДМ.

Сравнение экономичности применяемого способа регулирования оценивается на основе анализа зависимости:

$$\eta_{\text{э}} = f\left(\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{в.исх}}}\right) \quad (5.1)$$

или по кривым сброса мощности

$$\frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{в.исх}}} = f\left(\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{в.исх}}}\right) \quad (5.2)$$

#### Дроссельное регулирование

Основано на изменении характеристики тракта. Изменение гидравлического сопротивления происходит регулированием шибером в тракте. Регулирование напора дросселированием показано на рисунке 9 [7].

Это наиболее простой способ, однако он наименее экономичен, так как прикрытие шибера не влияет на характеристику  $Q - H$  машины. Эксплуатационный КПД машины при шиберном регулировании снижается пропорционально отношению требуемого перепада давлений по характеристике тракта к давлению, развиваемому машиной при данном расходе [2]:

$$\eta_{\text{э}}^{\text{ш}} = \eta \frac{\Delta H_{\text{п}}}{H} \quad (5.3)$$

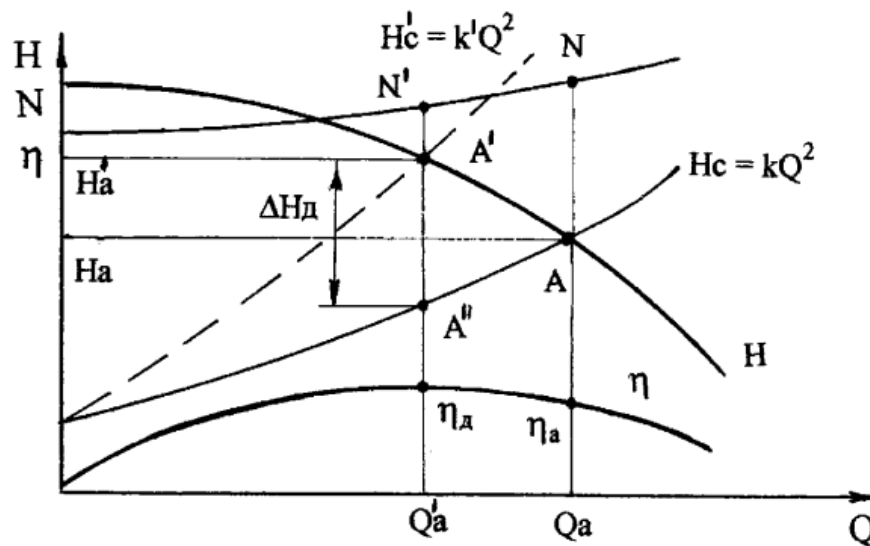


Рисунок 9 – Регулирование напора дросселированием

Дроссельное регулирование из-за низкой экономичности применяется практически только для установок малой мощности и при малой глубине регулирования.

### Регулирование направляющим аппаратом

Данный способ основан на изменении характеристики  $Q - H$  машины, поворотом лопаток направляющего аппарата при котором происходит закручивание потока по направлению вращения колеса вентилятора.

При регулировании направляющим аппаратом возникают дополнительные потери в самой машине, зависящие от угла поворота лопаток направляющего аппарата, глубины регулирования и от положения исходного режима на характеристике машины. Характеристика регулирования направляющим аппаратом показана на рисунке 10 [7].

Мощность, потребляемая вентилятором при всех режимах, определяется по формуле [2]:

$$N = \frac{Q \Delta H_n \psi}{3670 \eta_э} \quad (5.4)$$

где  $\eta_э$  – эксплуатационный КПД машины, при регулировании направляющим аппаратом, определяется по заводской характеристике машины, построенной для различного положения лопаток направляющего аппарата.

Регулирование направляющим аппаратом из-за простоты конструкции и обслуживании, надежности и относительно малой инерционности получило наибольшее распространение на тепловых электростанциях.

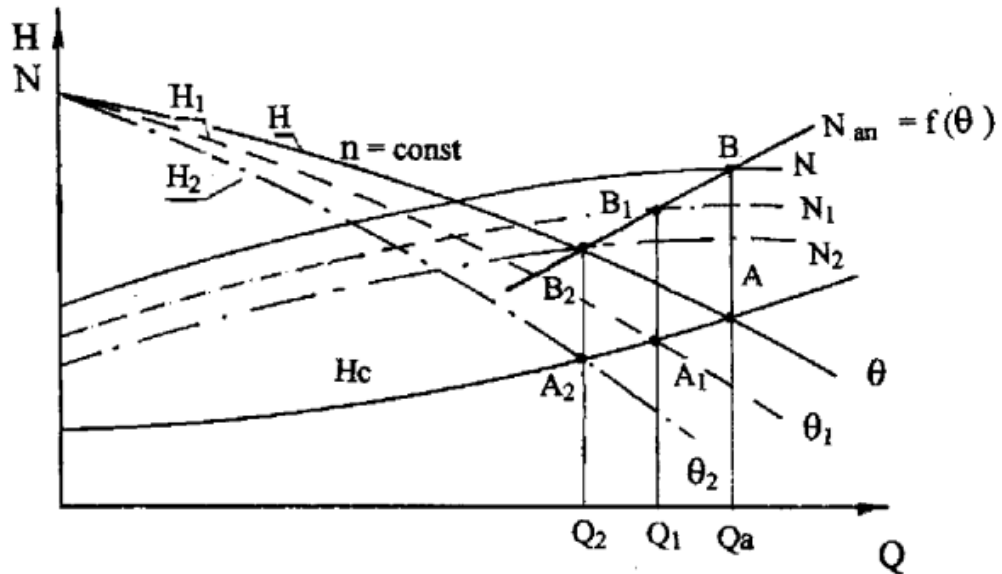


Рисунок 10 – Регулирование направляющим аппаратом

Для повышения эффективности регулирования направляющие аппараты располагают в непосредственной близости от входа в рабочее колесо.

### Регулирование изменением скорости вращения

Данный способ основан на изменении характеристики  $Q - H$  машины, изменением числа оборотов рабочего колеса машины. Данный способ регулирования обладает наиболее высокими экономическими характеристиками. Наиболее надежная техническая реализация с применением частотно-регулируемого привода.

Изменение частоты вращения рабочего колеса машины ведет к изменению всех его параметров. Положение характеристики машины изменяется. Регулировать подачу и напор можно, как на увеличение, так и на уменьшение. Регулирование изменением числа оборотов показано на рисунке 11 [7].



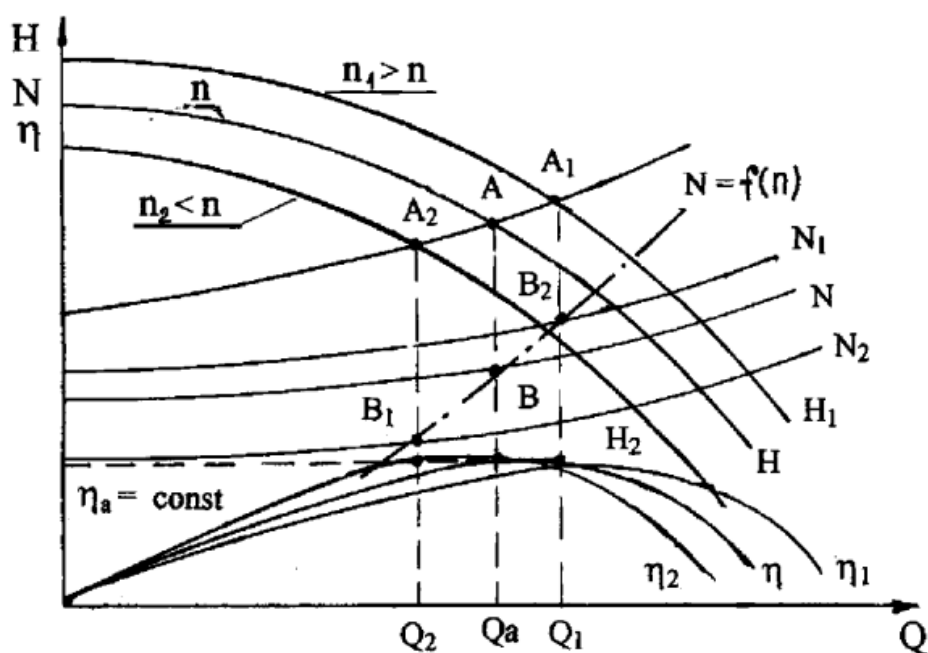


Рисунок 11 – Регулирование изменением числа оборотов

При изменении скорости вращения, в условиях квадратичной зависимости тракта теоретически наилучшим способом изменения производительности тягодутьевых машин является частотное регулирование, при этом производительность, напор и мощность механизма изменяются пропорционально первой, второй и третьей степеням отношения к частоте вращения [37], справедливы следующие зависимости:

$$\frac{Q_n}{Q} = \frac{n_n}{n}; \frac{H_n}{H} = \left(\frac{n_n}{n}\right)^2; \frac{N_n}{N} = \left(\frac{n_n}{n}\right)^3 \quad (5.5)$$

Данный метод регулирования является не приводит к дополнительным потерям энергии в тракте, так как в любых режимах напор машины и характеристика сети согласованы между собой. Метод применяют для любого типа машин.

Коэффициент полезного действия агрегата при регулировании частоты вращения практически не изменяется и соответствует значению при исходном режиме, в точке пересечения характеристики машины и характеристики тракта без регулирования.

## 5.4 Экономические аспекты выбора частотно-регулируемого привода тягодутьевых машин

Основными показателями тепловой экономичности котельных установок за период времени являются КПД, удельный расход условного топлива на выработку пара, а также удельный расход электроэнергии и теплоты на собственные нужды котла [15].

Различают КПД брутто:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{бр}}}{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \quad (5.6)$$

и КПД нетто:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{н}} = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{бр}} - q_{\text{сн}}}{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \quad (5.7)$$

где  $q_{\text{сн}}$  – удельный расход электроэнергии и теплоты на собственные нужды котла, МДж/год. Для котлов, работающих на угле, как было указано в пункте 5.2, потери составляют 5,5 - 8 %.

Коэффициент полезного действия котла определяется конструктивными характеристиками, режимом работы, видом топлива, качеством регулирования и эксплуатации. Одним из факторов уменьшения потерь на собственные нужды является применение энергоэффективных технологий в управлении механизмами собственных нужд.

Удельный расход условного топлива на тонну выработанного пара:

$$b = \frac{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{D \cdot 29,4} \quad (5.8)$$

Основными показателями режима работы котла являются годовой коэффициент рабочего времени и показатели, характеризующие режим нагрузки котла.

Годовой коэффициент рабочего времени:

$$k_{\text{раб}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{8760} \quad (5.9)$$

где  $\tau_{\text{раб}}$  – число часов работы котла в году.

Коэффициент использования тепловой мощности определяется графиком несения нагрузки, существующими резервами производительности, надежностью работы оборудования, определяется:

$$k_{и} = \frac{\Sigma D}{D_{н} \cdot \tau} \quad (5.10)$$

где  $\Sigma D$  – суммарная выработка котла за период времени;  $D_{н}$  – номинальная нагрузка котла;  $\tau$  – фактическое время работы котла за период времени.

Эксплуатационная экономичность тягодутьевого механизма, определяется значением КПД для установки в целом:

$$\eta_{уст} = \eta_{эл} \eta_{пр} \quad (5.11)$$

Для сравнения экономичности тягодутьевых машин при разных способах регулирования необходимо понимать от чего зависит эксплуатационный КПД.

При выполнении регулирования направляющим аппаратом, электрическая мощность, потребляемая ТДМ определяется:

$$N_{НА} = \frac{Q_{в} H_{в} 10^{-3}}{3,6 \eta_{эл} \eta_{НА}}, \text{ кВт} \quad (5.12)$$

где  $\eta_{эл}$  – КПД электродвигателя, определяется из заводской характеристики;  $\eta_{НА}$  – КПД механизма в рабочей точке, зависит от угла открытия направляющего аппарата, определяется по характеристике  $Q - H$  машины.

При использовании частотно-регулируемого привода, потребляемая электрическая мощность:

$$N_{чрп} = \frac{Q_{в} H_{в} 10^{-3}}{3,6 \eta_{чрп} \eta_{опт}}, \text{ кВт} \quad (5.13)$$

где  $\eta_{чрп}$  – КПД преобразователя частоты, дополнительные потери в электродвигателе не учитываются;  $\eta_{опт}$  – КПД механизма при оптимальном открытии направляющего аппарата, в точке пересечения характеристики тракта и характеристики  $Q - H$  машины.

Важным экономическим показателем тягодутьевых машин является их эксплуатационная экономичность, которая зависит от способа и глубины регулирования производительности. Самым простым и наиболее часто используемым способом регулирования производительности ТДМ является шибберное регулирование при постоянной скорости электродвигателя ТДМ. Несмотря на простоту и минимальные эксплуатационные затраты, шибберное регулирование сопровождается существенным снижением эксплуатационного КПД, которое выражается в значительных непроизводительных затратах электроэнергии, потребляемой ТДМ. Более экономичным способом регулирования производительности ТДМ является плавное изменение оборотов электродвигателя ТДМ при полностью открытом шиббере. Стоит заметить, что данный способ регулирования производительности требует применения дорогостоящих устройств регулирования скорости приводных электродвигателей ТДМ, это приводит к увеличению первоначальных капитальных затрат. Для повышения экономической эффективности регулирования производительности ТДМ за счет регулирования оборотов электродвигателя и снижения сроков окупаемости капитальных затрат весьма актуальным является поиск технических решений, позволяющих существенно снизить стоимость электропривода ТДМ [35].

В статье [35] приведен сравнительный анализ трех вариантов построения электропривода для регулирования скорости ТДМ с приводными высоковольтными электродвигателями с точки зрения минимизации первоначальной стоимости оборудования, снижения капитальных затрат и сроков их окупаемости. На рисунке 12 приведена сравнительная таблица применения двух способов регулирования производительности ТДМ в относительных единицах. По данной таблице, зная тип машины и приводного электродвигателя, количество часов работы ТДМ в году и коэффициент использования тепловой мощности можно определить экономию электроэнергии за год, а зная капитальные затраты на внедрение принятого

технического решения – определить срок окупаемости. В приведенных примерах срок окупаемости составляет от 2,9 до 5,2 лет.

Производительность ТДМ $Q^*=Q/Q_n$ , о.е.	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
Потребляемая энергия э/д $N^*$ шпри ШР, о.е.	1,00	0,84	0,72	0,63	0,56	0,52
Потребляемая энергия э/д $N^*$ о при РО, о.е.	1,00	0,74	0,52	0,37	0,24	0,14
Экономия электроэнергии $\Delta N^*=(N_{ш}-N_o)/N_{ш}$ , о.е.	0,00	0,11	0,28	0,42	0,57	0,74

Рисунок 12 – Сравнительная таблица потребления электроэнергии при шиберном и частотном регулировании

Одним из факторов, объясняющих значительную разницу в энергопотреблении при переходе на частотное регулирование тягодутьевых механизмов, признается большой запас по напору при выборе дымососов и дутьевых вентиляторов [34]. В том числе приводится методика расчета потребления электроэнергии и предлагается способ регулирования скорости – импульсно-векторное регулирование синхронной реактивной машиной, который обладает малыми капитальными затратами и прост в эксплуатации.

### 5.5 Расчет режима работы и параметров вентилятора

Выполним расчет режима и параметров дутьевого вентилятора. Результаты аэродинамического расчета дутьевого вентилятора приведены в таблице 4.4, на основе которого были выбраны два центробежных вентилятора одностороннего всасывания ВДН-18К.

На рисунке 13 приведена аэродинамическая характеристика дутьевого вентилятора ВДН-18К при частоте вращения  $n = 990$  об/мин.

Точка Т1 соответствует номинальному режиму работы вентилятора, при котором  $Q_B = 165 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/ч,  $H_B = 3960$  Па,  $n_1 = 990$  об/мин,  $\eta_B = 87\%$ , угол закрытия направляющего аппарата 0°.

В точке Т2 обеспечивается максимальный расчетный режим работы вентилятора с учетом запаса по напору и производительности, при котором  $Q_B = 150 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/ч,  $H_B = 3740$  Па,  $n_1 = 990$  об/мин,  $\eta_B = 85\%$ , угол закрытия направляющего аппарата 25°.

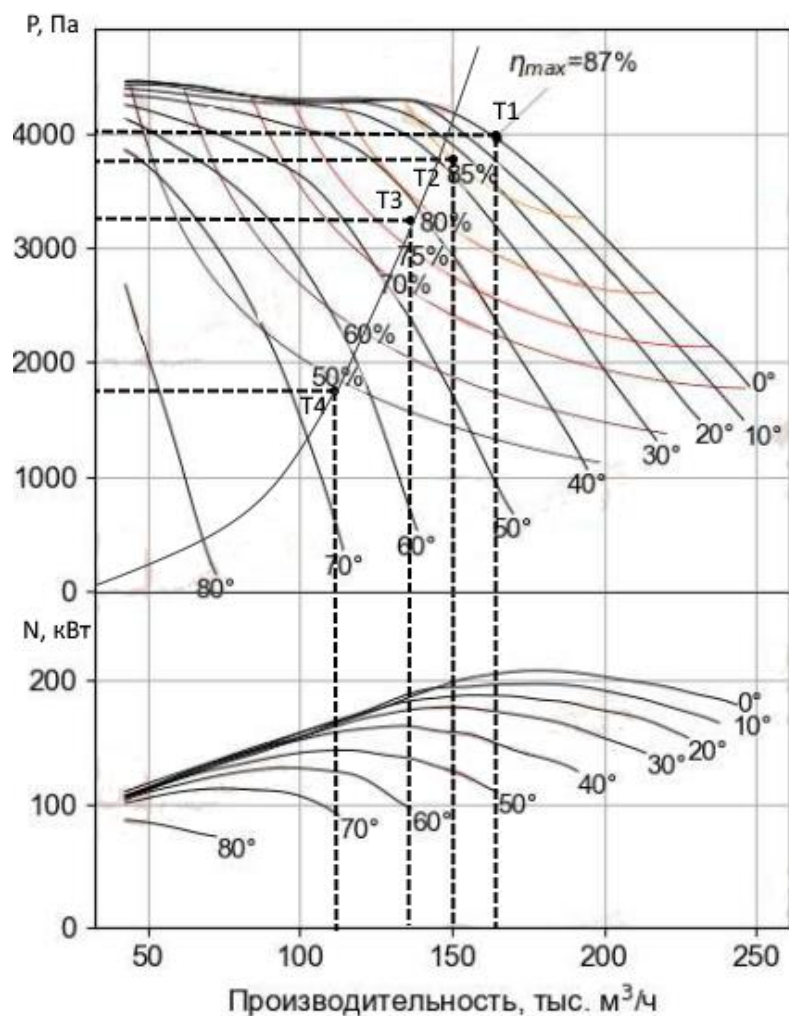


Рисунок 13 – Аэродинамическая характеристика дутьевого вентилятора ВДН-18К

В точке Т3 расчетный режим работы воздушного тракта вентилятора при номинальной нагрузке котла 100%, при котором  $Q_B = 135,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H_B = 3157 \text{ Па}$ . На основе этих данных определяем характеристику сети по формуле  $H_B = a \cdot Q_B^2$ , откуда находим значение коэффициента:

$$a = \frac{H_B}{Q_B^2} = \frac{3157}{(135,6 \cdot 10^3)^2} = 1,72 \cdot 10^{-5} \quad (5.14)$$

Уточняем напор в точке Т2:

$$H_B = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot (150 \cdot 10^3)^2 = 3862 \text{ Па}$$

По аэродинамической характеристике, по уточненному напору определяем, в точке пересечения характеристики тракта и характеристики  $Q - H$  машины  $\eta_B = 85,5\%$  и угол закрытия направляющего аппарата  $22^\circ$ .

Принимаем значение оптимального угла закрытия направляющего аппарата  $22^\circ$ .

Потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при регулировании направляющим аппаратом, максимальный расчетный режим  $\eta_{\text{НА}} = 85,5\%$ . КПД электродвигателя  $\eta_{\text{эл}} = 94,2\%$  по формуле 5.12:

$$N_{\text{НА}}^{\text{max}} = \frac{150 \cdot 10^3 \cdot 3862 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,942 \cdot 0,855} = 199,7 \text{ кВт}$$

Потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при частотном регулировании, максимальный расчетный режим  $\eta_{\text{опт}} = 85,5\%$ . КПД электродвигателя  $\eta_{\text{чрп}} = 97\%$  по формуле 5.13:

$$N_{\text{чрп}}^{\text{max}} = \frac{150 \cdot 10^3 \cdot 3862 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,97 \cdot 0,855} = 193,9 \text{ кВт}$$

При регулировании направляющим аппаратом, по аэродинамической характеристике в точке Т3 угол закрытия  $44^\circ$ , что соответствует КПД машины  $\eta_{\text{НА}} = 77\%$ .

Тогда потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при номинальной нагрузке:

$$N_{\text{НА}}^{\text{ном}} = \frac{135,6 \cdot 10^3 \cdot 3157 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,942 \cdot 0,77} = 163,8 \text{ кВт}$$

Определим обороты привода дутьевого вентилятора при  $\eta_{\text{в}} = 85,5\%$  и оптимальном угле закрытия направляющего аппарата  $22^\circ$ , при применении частотного регулирования:

$$n_2 = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} = 990 \cdot \frac{135,6 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^3} = 895,0 \text{ об/мин}$$

Потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при частотном регулировании, номинальный расчетный режим можно определить по формуле 5.5 или 5.13:

$$N_{\text{чрп}}^{\text{ном}} = 193,9 \cdot \left(\frac{895}{990}\right)^3 = \frac{135,6 \cdot 10^3 \cdot 3157 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,97 \cdot 0,855} = 143,3 \text{ кВт}$$

Выполним расчет в точке Т4 при нагрузке котла, соответствующей коэффициенту использования мощности 83,4%. Проведем тепловой и аэродинамический расчет котла при принятой нагрузке, производительность вентилятора составит  $Q_B = 113,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

По принятым зависимостям определяем обороты:

$$n_3 = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} = 990 \cdot \frac{113,6 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^3} = 750,0 \text{ об/мин}$$

Напор в точке Т4:

$$H_B = 3860 \cdot \left(\frac{750}{990}\right)^2 = 2215 \text{ Па}$$

При регулировании направляющим аппаратом, по аэродинамической характеристике в точке Т4 угол закрытия  $65^\circ$ , что соответствует КПД машины  $\eta_{НА} = 48\%$ .

Тогда потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при принятой нагрузке:

$$N_{НА}^{пр} = \frac{113,6 \cdot 10^3 \cdot 2215 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,942 \cdot 0,48} = 154,7 \text{ кВт}$$

Потребляемая электрическая мощность электродвигателем дутьевого вентилятора при частотном регулировании, принятый расчетный режим:

$$N_{ЧРП}^{пр} = 193,9 \cdot \left(\frac{790}{990}\right)^3 = \frac{113,6 \cdot 10^3 \cdot 2215 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 0,97 \cdot 0,855} = 84,3 \text{ кВт}$$

В таблице 5.1 приведено сравнение потребляемой мощности для различных режимов работы дутьевого вентилятора.

Таблица 5.1 – Сравнение потребления мощности дутьевым вентилятором

Тип нагрузки	$Q_B^{max}$	$D_H$	$0,834 \cdot D_H$
Потребление энергии при регулировании направляющим аппаратом $N_{НА}$ , кВт	199,7	163,8	1547,7
Потребление энергии при частотном регулировании $N_{ЧРП}$ , кВт	193,9	143,3	84,3
Экономия энергии $\Delta N = N_{НА} - N_{ЧРП}$ , кВт	5,8	20,5	70,4



Разница потребляемой мощности с уменьшением нагрузки увеличивается за счет применения частотно-регулируемого привода и при нагрузке котла  $0,834 \cdot D_n$  составляет 45%. При дальнейшем уменьшении нагрузки экономия увеличится, в том числе из-за того при низких нагрузках, чтобы увеличить регулировочный диапазон направляющего аппарата необходимо будет закрывать шибер на выходе дутьевого вентилятора и шибера перед горелками, что в свою очередь увеличивает гидравлическое сопротивление тракта и меняет его характеристику.

Если принять время работы котла за год за вычетом времени ремонтов  $n = 24 \cdot (365 - 30) = 8040$  ч, то экономия электроэнергии за год только одним вентилятором котла составит:

$$W = n \cdot \Delta N = 8040 \cdot 70,4 = 565,5 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (5.15)$$

Помимо экономии электроэнергии применение частотно-регулируемого привода улучшает эксплуатационные характеристики, улучшает качество регулирования, надежность и экологические характеристики. Все указанные параметры могут быть приняты для расчета экономической эффективности внедрения ЧРП.

Срок окупаемости внедрения частотно-регулируемого привода в зависимости от принятого технического решения, принятой схемы регулирования, существующего тарифа на электрическую энергию может составлять от 2 до 5 лет [34, 35, 38].

## 5.6 Техническая реализация модернизации ТДМ

Выбор типа дымососа выполнен в разделе 4.3. Габаритные размеры центробежного дымососа двухстороннего всасывания ДН-22х2ФК приведены [9] на рисунке 14 и в таблице 5.2.

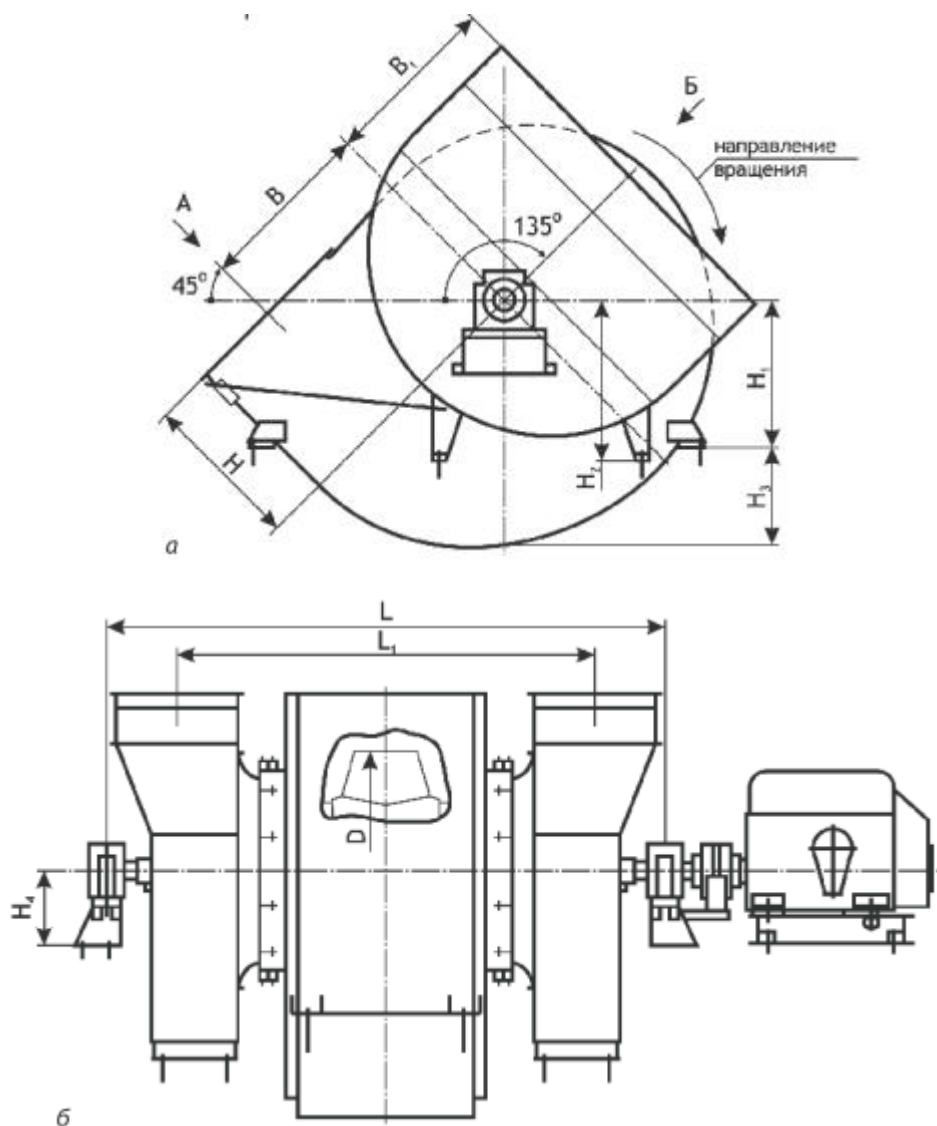


Рисунок 14 – Габаритные размеры дымососа ДН-22х2ФК

а - вид спереди; б – вид сбоку

Таблица 5.2 – Габаритные размеры дымососа ДН-22х2ФК

Разворот спирального корпуса всасывающих карманов $\varphi^\circ$	Группа габаритных размеров									
	$B$	$B_1$	$D$	$H$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$L$	$L_1$
45-180	1800	1815	2400	1586	1450	1900	1110	720	5800	4246

Выбор типа дутьевого вентилятора выполнен в разделе 4.3. Габаритные размеры центробежного вентилятора одностороннего всасывания ВДН-18К приведены [9] на рисунке 15 и в таблице 5.3.

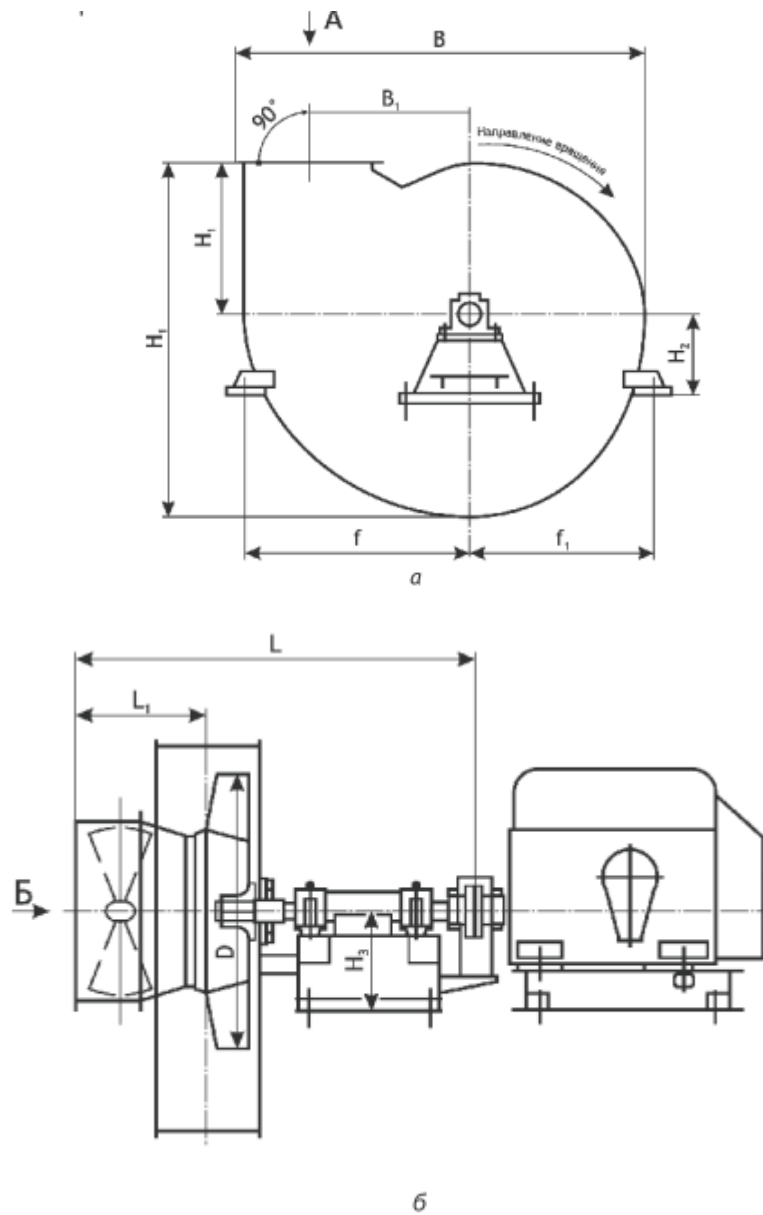


Рисунок 15 – Габаритные размеры дутьевого вентилятора ВДН-18К  
а - вид спереди; б – вид сбоку

Таблица 5.3 – Габаритные размеры дутьевого вентилятора ВДН-18К

Разворот спирального корпуса $\varphi^\circ$	Группа габаритных размеров								
	<i>B</i>	<i>B1</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>L</i>	<i>L1</i>
60	4287	1572	1800	3428	1375	1300	545	3171	1072

Для привода тягодутьевых машин приняты электродвигатели закрытые обдуваемые трехфазные с короткозамкнутым ротором серии ДАЗО4 [18].

Привод дымососа – электродвигатель ДАЗО-450УК-8У1 имеет характеристики, приведенные в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Характеристики электродвигателя ДАЗО-450УК-8У1

Параметр	Значение
Мощность, кВт	400
Номинальное напряжение, кВ	6
Частота питающей сети, Гц	50
Частота вращения, об/мин	750
Ток статора, А	50,5
КПД, %	94,3
Коэффициент мощности	0,83
Класс защиты	IP 54
Климатическое исполнение	У1

Привод дутьевого вентилятора – электродвигатель ДАЗО-400Х-6У1 имеет характеристики, приведенные в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Характеристики электродвигателя ДАЗО-400Х-6У1

Параметр	Значение
Мощность, кВт	315
Номинальное напряжение, кВ	6
Частота питающей сети, Гц	50
Частота вращения, об/мин	1000
Ток статора, А	38,0
КПД, %	94,2
Коэффициент мощности	0,86
Класс защиты	IP 54
Климатическое исполнение	У1

Частотные преобразователи применяются как устройства для плавного пуска, разгона и регулирования частоты вращения и момента на валу электродвигателя. Принцип действия основан на влиянии частоты

переменного напряжения, подаваемого на обмотки электрической машины, на скорость вращения вала.

Помимо основных функций, преобразователи частоты позволяют реализовать сложные схемы управления с обратной связью по нескольким параметрам, выполняют защиту от нештатных режимов.

Для регулирования оборотов вала электродвигателей тягодутьевых механизмов основное распространение получили два вида преобразователей частоты, которые устанавливаются между питающей сетью 50 Гц 6 кВ и статором электродвигателя.

1. Транзисторные высоковольтные преобразователи частоты с входным многообмоточным согласующим трансформатором и выходным многоуровневым транзисторным инвертором, рисунок 16. Многоуровневый транзисторный инвертор содержит в каждой выходной фазе несколько транзисторно-диодных ячеек (H-мостов), которые соединены последовательно для получения номинального напряжения 6 кВ. Каждая ячейка получает питание от изолированной трехфазной обмотки входного трансформатора и формирует часть выходного напряжения за счет синусоидальной широтно-импульсной модуляции [35].

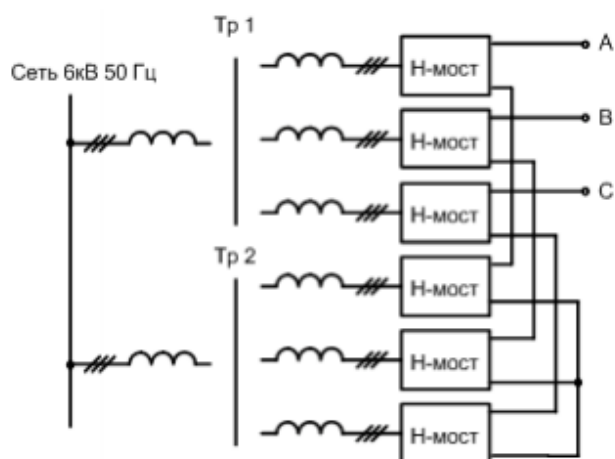


Рисунок 16 – Однолинейная структурная схема высоковольтного преобразователя частоты

2. Высоковольтные преобразователь частоты, реализованный по двухтрансформаторной схеме. Данная схема имеет два трансформатора – понижающий и повышающий, низковольтный преобразователь частоты и синусоидальный фильтр, рисунок 17. Низковольтный преобразователь частоты имеет относительно простую структуру, строится на базе трехфазных транзисторно-диодных мостов и формирует выходное напряжение за счет синусоидальной широтно-импульсной модуляции. Выходное напряжение преобразователя частоты имеет сложный гармонический состав со значительной долей высокочастотных составляющих, поэтому между выходом низковольтного преобразователя частоты и выходным повышающим трансформатором обязательно устанавливается силовой «синусный» LC-фильтр, который устраняет высокочастотные пульсации напряжения на входе повышающего трансформатора [35, 36].

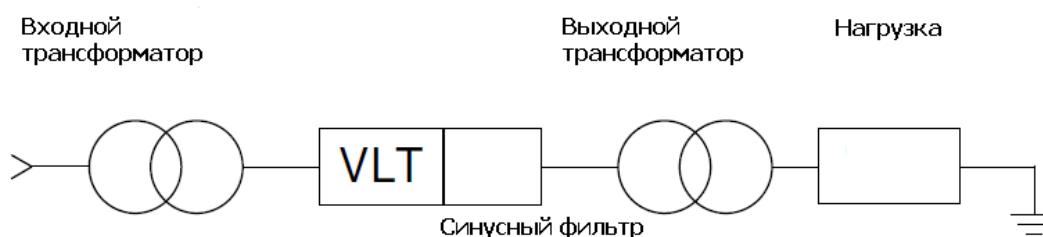


Рисунок 17 – Однолинейная структурная двухтрансформаторной схемы

Вариант с применением высоковольтных преобразователей частоты с двухтрансформаторной схемой по сравнению с высоковольтными транзисторными преобразователями частоты более предпочтителен так как имеет следующие преимущества [35, 36]:

- стоимость оборудования меньше, для привода 400кВт до 50%;
- применяются трансформаторы серийного производства, во втором случае требуются специальные трансформаторы;
- применение трансформаторов обеспечивает гальваническую развязку;
- проще в обслуживании и эксплуатации.

## **6 Система автоматизация котла**

### **6.1 Объем автоматизации**

Для обеспечения качественного, экономичного, надежного управления котлоагрегатом в автоматизированном и автоматическом режиме применяются современные автоматизированные системы управления АСУТП на основе программно-технических комплексов ПТК. Котлоагрегат как объект управления представляет из себя сложную динамическую систему с большим количеством взаимосвязанных величин.

В состав АСУТП котлоагрегата входит оборудование:

- нижнего уровня (полевой уровень), включающее в себя датчики контроля технологических параметров (температура, давление, расход и т.д.); электрифицированную запорно-регулирующую арматуру; привод механизмов собственных нужд, в том числе частотные преобразователи тягодутьевых машин;
- среднего уровня, включающее в себя аппаратную часть ПТК программируемые логические контроллеры ПЛК, модули ввода/вывода, коммутационное оборудование; локальные схемы автоматики на управляющих контроллерах (маслостанции, воздухоподогреватели и др.); серверное оборудование;
- верхнего уровня, включающее в себя автоматизированные рабочие места со SCADA-системой, организующее человеко-машинный интерфейс по контролю и управления котлом в процессе пуска и останова; нормальном эксплуатационном режиме; аварийном режиме.

АРМ является средством взаимодействия оператора с системой при исполнении следующих функций:

- информационно-вычислительных и измерительных;
- технологических защит;
- блокировок;

- предупредительной и аварийной сигнализаций об отклонении параметров и состоянии оборудования котлоагрегата;
- дистанционного управления механизмами и арматурой;
- управления автоматическими системами регулирования с переключением их режима работы;
- функционально-группового управления;
- контроля состояния комплекса технических средств АСУТП.

Перечень технологических защит котла [8]:

- Защиты, действующие на останов котла:
  - 1 Повышение уровня в барабане котла до II предела;
  - 2 Понижение уровня в барабане котла;
  - 3 Погасание факела в топке;
  - 4 Понижение давления мазута;
  - 5 Отключение всех дымососов;
  - 6 Отключение всех дутьевых вентиляторов;
  - 7 Снижение давления воздуха в коллекторе ПВКд котла;
- Защиты, действующие на снижение нагрузки котла:
  - 8 Отключение одного из двух дымососов;
  - 9 Отключение одного из двух дутьевых вентиляторов;
  - 10 Повышение температуры пара за котлом;
- Защиты, выполняющие локальные операции:
  - 11 Повышение давления пара в барабане до уставки открытия предохранительного клапана;
  - 12 Повышение уровня в барабане котла до I предела;
  - 14 Потускнение пылеугольного факела в топке;
  - 15 Невоспламенение или погасание факела мазутной форсунки;
  - 15 Невоспламенение первой или погасание факелов всех мазутных форсунок при растопке котла;
  - 16 Понижение давления в топке газоплотного котла.



Для осуществления контроля и диагностики дымососа и дутьевого вентилятора устанавливаются следующие датчики:

- температура металла подшипника механизма;
- температура металла подшипника электродвигателя;
- температура меди и железа статора электродвигателя;
- вибрация подшипника со стороны механизма и привода.

## **6.2 Описание системы автоматического регулирования**

Система автоматического регулирования обеспечивает:

- работу в регулируемом режиме;
- автоматическое поддержание заданного значения базовой нагрузки;
- ручное изменение задания каждому из регуляторов от задатчика;
- дистанционное управление с автоматизированных рабочих мест АРМ АСУТП каждым регулирующим органом системы регулирования;
- контроль положения каждого регулирующего органа на видеокадрах.

Схемы регуляторов разрабатываются с учетом реализации алгоритмов в ПЛК и отражают принципы построения схем регулирования, перечень входных и выходных сигналов, регулирующие органы на которые воздействуют регуляторы, взаимодействие с другими подсистемами.

Регуляторами, обеспечивающими нормальный процесс горения топлива в топке в статических и динамических режимах работы котла, являются регулятор топлива, регулятор общего воздуха и регулятор разрежения. Все регуляторы имеют внутренние связи, обеспечивающие наибольшую эффективность регулирования в базовом и регулирующем режиме [8].

### **Регулятор тепловой нагрузки**

Регулятор тепловой нагрузки предназначен для поддержания тепловой нагрузки котла, характеризуемой сигналами по суммарному расходу пара и скоростью изменения давления в барабане котла в соответствии с заданием от

главного регулятора, ручного задатчика или фиксированный сигнал при срабатывании защиты на останов котла.

Структурная схема регулятора тепловой нагрузки приведена в приложении А.

### **Регулятор общего воздуха**

Регулятор общего воздуха предназначена для поддержания наиболее экономичного режима сжигания топлива в топке котла. Регулятор работает по соотношению «теплота-воздух».

Задание формируется от регулятора тепловой нагрузки котла, стабилизирующий соотношение «теплота-воздух», от корректирующего регулятора кислорода в дымовых газах (избыток воздуха в топке  $\alpha_T$ ) и ручного задатчика, для коррекции сигнала при изменении режима работы котла.

Корректирующий регулятор кислорода предназначен для поддержания оптимального значения кислорода в регулировочном диапазоне нагрузок котла. Корректирующий регулятор кислорода получает сигнал по нагрузке котла через нелинейный элемент и от ручного задатчика. Выходной сигнал корректирующего регулятора ограничивается минимальным значением  $\alpha_T \geq 1,1$ .

Выходной сигнал с интегратора регулятора общего воздуха поступает в схему управления ПЧ дутьевого вентилятора и разделяется в зависимости от загрузки привода.

Структурная схема регулятора общего воздуха приведена в приложении Б.

### **Регулятор разрежения**

Регулятор разрежения поддерживает заданное разрежение в верхней части топки котла, обеспечивая баланс производительности дутьевого вентилятора и дымососа.

Регулятор разрежения получает сигнал по разрежению в верхней части топки, дифференцированный сигнал по расходу общего воздуха на котел, для увеличения быстродействия регулятора, и сигнал от задатчика.

Выходной сигнал с интегратора регулятора разрежения поступает в схему управления ПЧ дымососа и разделяется в зависимости от загрузки привода.

Структурная схема регулятора разрежения в приложении В.

В приложении Г приведена схема автоматизации САР регулятора общего воздуха и регулятора разрежения.

### **6.3 Описание технических средств системы автоматизации**

АСУТП котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ стационарный №3 выполнена на базе программно-техническом комплекс ПТК Торнадо-Н, производства ЗАО «Модульные Системы Торнадо», г. Новосибирск [38].

Архитектура ПТК Торнадо-Н включает:

- дублированную сеть Ethernet, объединяющей на одном уровне все оборудование комплекса: модули ввода-вывода, резервированные процессорные блоки на основе промышленных компьютеров и компьютеры верхнего уровня АРМов и серверов;
- модули ввода-вывода MIRage-Н осуществляют подключение КИП, ввод и нормирование сигналов от датчиков, формируют сигналы управления на исполнительные механизмы автоматизируемого объекта, полученные по сети от процессорных блоков;
- процессорные блоки (промышленные компьютеры IPCGridex) формируют мгновенную базу данных сигналов объекта, реализуют систему обмена сообщениями и сетевыми переменными между блоками, обеспечивают стабильную работу объекта в соответствии с управляющими программами (виртуальными контроллерами);
- серверы хранят и накапливают базу данных состояний объекта, служат для коммуникаций с внешними сетями и web-сервисами;
- АРМы оперативного персонала служат для визуального отображения процесса и управления технологическим оборудованием при помощи мнемосхем. Имеются специализированные видеокадры для

визуализации защит, блокировок, сигнализации, трендов. Средствами инженерных АРМ выполняются настройка, диагностика и тестирование ПТК, калибровка средств измерений, восстановление и резервное копирование программной части комплекса, формирование отчётов, а также расширение и развитие АСУТП;

- вспомогательное оборудование ПТК включают в себя источники электропитания, сетевые маршрутизаторы, ЗИП и т.д.

Для разработки и исполнения управляющих программ используется интегрированная среда ISaGRAF, отвечающая всем требованиям международного стандарта IEC 61131-3 на инженерные языки программирования.

Алгоритмы измерения, первичной обработки информации, сигнализации, дистанционного управления и системы автоматического регулирования реализованы на программном обеспечении IsaGRAF со встроенными специальными библиотеками технологических блоков реализованы в ПТК Торнадо.

Входные драйвера аналоговых модулей MIRage-NAI и MIRage-NPT выполняют измерение, фильтрацию, выставление диагностического статуса измерительного канала.

Блоки первичной и специальной обработки информации выполняют фильтрацию, масштабирование, приведение измерительной информации в инженерные величины – «alg1a» – измерение и обработка токовых сигналов; «alg2a» – измерение и обработка сигналов с функцией корнеизвлечения (расходомеры); «alg5a» – измерение и обработка натуральных сигналов от термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей. Специальные блоки позволяют производить вычисление расходов жидкости и газов в соответствии с ГОСТ-8.586-2005 с корректировкой на теплофизические свойства среды – «flow\_d» для измерительных диафрагм, «flow\_n» для сопел.

Для управления исполнительными механизмами и определения их статуса применяются программные блоки – «im1a» – задвижки; «im2a» – регулирующие клапана; «im4a» – соленоиды; «motora» – двигатели.

Для построения систем автоматического регулирования используются программные блоки – «zda» – управление сигналом задания регулятору; «formea» – вычисление сигнала рассогласования регулятора; «pdd2a» – ПИД регулятор для ИМ с импульсными входами; «difa» – реальное дифференцирующее звено; «integr» – интегрирующее звено; «pulsdrva» – управление дискретными входами регулирующего клапана (блок широтно-импульсной модуляции).

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Б8Б	Белановой Кристине Павловне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя 40000 руб. Оклад инженера 16000 руб. Затраты на материалы и оборудования 60000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 16% Районный коэффициент 1,3 для г. Томск
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ, составление бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИ

**Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT	
2. Диаграмма Ганта	
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	
---	--

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна		

## **7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Основной целью данного раздела является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков.

Целью раздела является модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием. Оценить перспективность внедрения проекта и провести планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта.

Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

### **7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **7.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

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

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

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки управления тягой и дутьём котла:

1. Система автоматического регулирования воздуха и разряжения котла с управлением направляющим аппаратом перед дутьевым вентилятором и дымососом и традиционной системой управления технологическим процессом.

2. Система автоматического регулирования воздуха и разряжения котла с управлением направляющим аппаратом перед дутьевым вентилятором и дымососом и современной, автоматизированной системой управления технологическим процессом АСУТП на ПЛК.

3. Система автоматического регулирования воздуха и разряжения котла с применением частотно-регулируемого привода дутьевого вентилятора и дымососа и современной, автоматизированной системой управления технологическим процессом АСУТП на ПЛК.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 7.1.

Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка имеет высокий уровень конкурентоспособности.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i B_i \quad (7.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.



Таблица 7.1 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	Б <sub>3</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надёжность	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
2. Качество регулирования	0,15	3	3	5	0,45	0,45	0,75
3. Энергоэффективность	0,2	3	3	5	0,6	0,6	1
4. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
5. Простота в управлении	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
6. Актуальность исследования	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,025	5	5	4	0,125	0,125	0,1
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,025	4	4	4	0,1	0,1	0,1
3. Финансирование научного исследования	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	35	38	40	3,53	4,08	4,45

### 7.1.2 SWOT-анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 7.2

Таблица 7.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Использование современных компонентов системы	Сл1. Уровень проникновения на рынок
С2. Удобство в управлении	Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале
С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии	Сл3. Высокая стоимость внедрения
С4. Высокая точность регулирования	Сл4. Необходимость в сопровождении электротехнического оборудования сторонними организациями
С5. Эффективная диагностика технических средств	Сл5. Отсутствие финансирования на первых этапах
Возможности	Угрозы
В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию	У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей
В2. Экономия электрической мощности приводов и как следствие увеличение КПД работы станции	У2. Высокие сроки производства и поставки высокотехнологичного оборудования
В3. Продажа технологии более крупному производителю	У3 Введение государственных требований на использование отечественных компонентов
В4. Улучшение экологической обстановки за счет уменьшения вредных выбросов	У4. Повышение стоимости на компоненты системы

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Составим интерактивную матрицу возможностей в таблице 7.3 и угроз в таблице 7.4.

Таблица 7.3 – Интерактивная матрица возможностей проекта

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

Таблица 7.4 – Интерактивная матрица угроз проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	+	+
	У2	-	+	+	+	+
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	+	+	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      С1. Использование современных компонентов системы                      С2. Удобство в управлении                      С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии                      С4. Высокая точность регулирования                      С5. Эффективная диагностика технических средств</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      Сл1. Уровень проникновения на рынок                      Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале                      Сл3. Высокая стоимость внедрения                      Сл4. Необходимость в сопровождении электротехнического оборудования сторонними организациями                      Сл5. Отсутствие финансирования на первых этапах</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию                      В2. Экономия электрической мощности приводов и как следствие увеличение КПД работы станции                      В3. Продажа технологии более крупному производителю                      В4. Улучшение экологической обстановки за счет уменьшения вредных выбросов</p>	<p>Возможности проекта, связанные с увеличением спроса на проектное решение и улучшение экономического состояния предприятия, полностью соответствует всем сильным сторонам проекта – внедрение современной, высокоточной и эффективной системой управления механизмами</p>	<p>Возможно отсутствие спроса связано с недостатком высококвалифицированных специалистов и эксплуатационные сложности. Но экономический эффект от внедрения может перевесить все слабые стороны</p>

## Продолжение таблицы 7.5

<b>Угрозы:</b> У1. Срыв проекта из-за отсутствия исполнителей У2. Высокие сроки производства и поставки высокотехнологичного оборудования У3. Введение государственных требований на использование отечественных компонентов У4. Повышение стоимости на компоненты системы	Главной проблемой для реализации проекта являются возможное отсутствие на рынке большого объема предложения от производителей высокотехнологичного оборудования. Заявленная энергоэффективность и технические преимущества современных методов управления могут не являться проблемой в перспективе	Отсутствие спроса, специалистов и высокая стоимость внедрения совместно с существующими угрозами, прежде всего низкое предложение являются главными проблемами данного проекта
--	---	--

**Вывод SWOT-анализу:** в ходе анализа рассмотрены сильные и слабые стороны научного проекта. Как позитивные, так и негативные – возможности и угрозы.

SWOT–анализ показал, что данная разработка может иметь два кардинально отличающихся исхода событий. Третий вариант очень хороший вариант, при котором к данной разработке появится интерес у сторонних производителей и инвесторов. Это приведет к увеличению финансирования и появлению новых квалифицированных кадров, которые ускорят разработку. Данный вариант также интересен за счет увеличения экономических, экологических и эксплуатационных показателей работы предприятия.

## 7.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 7.6:

Таблица 7.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы работы проекта	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Календарное планирование по теме	Руководитель
Теоретическое исследование	4	Сбор исходных данных	Инженер
	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Инженер
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков	Инженер
	7	Анализ рынка производителей высокотехнологичного оборудования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения опытно-конструкторской разработки	Руководитель
Разработка проектно-сметной и рабочей документации	10	Разработка проектной, конструкторской документации	Руководитель, инженер
	11	Подбор оборудования и составление спецификации	Руководитель, инженер
	12	Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	Руководитель, инженер
Оформление отчета НИР	13	Составление пояснительной записки	Инженер

## 7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (7.2)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{Pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями.

Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (7.3)$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k \quad (7.4)$$

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

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

$k$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48 \quad (7.5)$$

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

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

$T_{\text{праз}}$  – общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\text{mini}}$ , чел-дни		$t_{\text{maxi}}$ , чел-дни		$t_{\text{ожи}}$ , чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
Составление и утверждение технического задания	2	-	3	-	2,4	-	2,4	4
Подбор и изучение материалов по теме		6		7	-	6,4	6,4	10
Календарное планирование по теме	1		2		1,4		1,4	3
Сбор исходных данных		7		9	-	7,8	7,8	12
Поиск и анализ существующих проектных решений		4		6	-	4,8	4,8	8

Продолжение таблица 7.7

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{mini}$ , чел-дни		$t_{maxi}$ , чел-дни		$t_{ожи}$ , чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков		2		3		2,4	2,4	4
Анализ рынка производителей высокотехнологичного оборудования		4		5		4,4	4,4	7
Оценка эффективности полученных результатов		2		3		2,4	2,4	4
Определение целесообразности проведения опытно-конструкторской разработки		2		3		2,4	2,4	4
Разработка проектной, конструкторской документации	4	40	6	55	4,8	46	46	69
Подбор оборудования и составление спецификации	2	5	3	7	2,4	5,8	5,8	9
Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	2	7	3	9	2,4	7,8	7,8	12
Составление пояснительной записки		6		7		6,4	6,4	10
<b>Итого:</b>					14,8	91,8	100,4	156

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием приложение Д – диаграммы Ганта.



## 7.3 Бюджет научно-технического исследования

### 7.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В данном разделе отражаются все затраты используемые при выполнении работы.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (7.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.).

Затраты приведены в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	380	3	1140
Картридж для лазерного принтера	1100	1	1100
Офисная бумага А4 (в форме малой коробки)	6200	1	6200
Ноутбук	50000	1	50000
Итого:			<b>58440</b>

### 7.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

К специальному оборудованию при выполнении проекта отнесем рабочий компьютер и принтер, так как техника не новая и использовалась ранее считает только рабочие использованные дни

Затраты на амортизацию компьютерной техники рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.ист}}{T_{кал}} \cdot C_{КТ} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \quad (7.7)$$

где  $T_{\text{исп.ист}}$  – дни использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$  – календарное время, (365 дней);

$C_{\text{КТ}}$  – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники, 5 лет.

$$K_{\text{а.комп}} = \frac{156}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 4274 \text{ руб}$$

$$K_{\text{а.прин}} = \frac{25}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 342 \text{ руб}$$

Сумма амортизационных отчислений:

$$K_{\text{а}} = K_{\text{а.комп}} + K_{\text{а.прин}} = 4274 + 342 = 4616 \text{ руб} \quad (7.8)$$

### 7.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе учитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИИ это инженера и руководителя действующая система оклада.

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (7.9)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (7.10)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (в данном случае  $F_{\text{д}} = 219$  дней);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 28 раб. дней,  $M = 8,1$  месяц, 5-дневная рабочая неделя).

В таблице 7.9 приведен баланс рабочего времени

Таблица 7.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	45	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	202	219

Должностной оклад инженера и студента за месяц определяется по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (7.11)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя  $Z_{тс}^{рук} = 40000$  руб, а для инженера  $Z_{тс}^{инж} = 16000$  руб);

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск).

По формуле 7.11 определяется должностной оклад руководителя и инженера за месяц:

$$Z_m^{рук} = 40000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 78000 \text{ руб}$$

$$Z_m^{инж} = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата инженера и студента рассчитывается по формуле 7.10:

$$Z_{дн}^{рук} = \frac{78000 \cdot 8,1}{202} = 3127,7 \text{ руб}$$

$$Z_{дн}^{инж} = \frac{31200 \cdot 8,1}{219} = 1154 \text{ руб}$$

Основная заработная плата инженера и студента рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{p1} \quad (7.12)$$

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_{p1} = 3127,7 \cdot 15 = 46915,8 \text{ руб}$$

$$Z_{осн}^{инж} = Z_{дн}^{инж} \cdot T_{p1} = 1154 \cdot 92 = 106165,5 \text{ руб}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$Z_{\text{общ}}^{\text{сум}} = Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 46915,8 + 106165,5 = 153081,3 \text{ руб}$$

В таблице 7.10 приведен расчеты основной заработной платы исполнителей.

Таблица 7.10 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}$ , руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб	$T_{\text{р}}$ , дн	$Z_{\text{осн}}$ , руб
Руководитель	40000	0,3	0,2	1,3	78000	3127,7	15	46915,8
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1154,0	92	106165,5
Итого:								153081,3

### 7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (7.13)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,12- 0,15).

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = 0,15 \times 46915,8 = 7037,4 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 0,15 \times 106165,5 = 15924,8 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{\text{доп}}^{\text{сум}} = Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = 7037,4 + 15924,8 = 22962,2 \text{ руб}$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) \quad (7.14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году - 30%.

$$З_{внеб}^{рук} = k_{внеб} \cdot (З_{осн}^{рук} + З_{доп}^{рук}) = 0,3 \cdot (46915,8 + 7037,4) = 16186,0 \text{ руб}$$

$$З_{внеб}^{инж} = k_{внеб} \cdot (З_{осн}^{инж} + З_{доп}^{инж}) = 0,3 \cdot (106165,5 + 15924,8) = 36627,1$$

Суммарная сумма отчислений равна:

$$З_{внеб}^{сум} = З_{внеб}^{рук} + З_{внеб}^{инж} = 16186,0 + 36627,1 = 52813,1 \text{ руб}$$

### 7.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и т.д.

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} \quad (7.15)$$

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

Величина коэффициента принимается равной 0,16

$$З_{накл} = (З_{общ}^{сум} + З_{доп}^{сум} + З_{внеб}^{сум} + З_{м} + K_{ам}) \cdot k_{нр}$$

$$\begin{aligned} З_{накл} &= (153081,3 + 22962,2 + 52813,1 + 58440 + 4616) \cdot 0,16 \\ &= 46706,1 \text{ руб} \end{aligned}$$

### 7.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Итоговые рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основами для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 7.11.

Таблица 7.11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
58440,0	4616,0	153081,3	22962,2	52813,1	291913,0	46706,1	338619,1

По итогу формирования бюджета затрат на НТИ вышло, что затраты составляют 338619,1 руб.

#### 7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (7.15)$$

где  $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех конкурентных вариантов:

$$\Phi_{\text{тек.пр}} = 338619,1 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 453000,0 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 382000,0 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.1}} = 453000,0 \text{ руб}$$

По формуле 7.15 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{фин}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{338619,1}{453000,0} = 0,748$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{453000,0}{453000,0} = 1$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{382000,0}{453000,0} = 0,843$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с небольшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра, таблица 7.12.

Таблица 7.12 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	4	4	3
2. Энергоэффективность	0,25	5	5	4
3. Качество регулирования	0,15	4	4	4
4. Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	4
5. Срок эксплуатации	0,15	5	5	5
6. Динамическая точность	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,55	4,85	3,95

По данным из таблицы 7.13 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности

для текущего проекта:

$$I_p^{\text{тек.пр}} = 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,55$$

для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,85$$

для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 3,95$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с небольшим отставанием от первого конкурентного варианта проекта, считается приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}} \quad (7.16)$$

где  $I_{\text{эф.}i}$  – интегральный показатель эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель  $i$ -ого варианта разработки;

По формуле 7.16 определяется интегральный показатель эффективности

для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.тек.пр}} = \frac{I_p^{\text{тек.пр}}}{I_{\text{фин}}^{\text{тек.пр}}} = \frac{4,55}{0,748} = 6,08$$

для первого конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.1}} = \frac{I_p^{\text{исп.1}}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,85}{1} = 4,85$$

для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,95}{0,843} = 4,69$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого вариантов НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов таблица 7.13.



Таблица 7.13 – Сравнительные эффективности разработок

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,748	1	0,843
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	4,85	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	6,08	4,85	4,69
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,797	0,77

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово и ресурсоэффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

**Вывод:**

В ходе работы был проведен экономический анализ проекта, посчитаны разного рода затраты, зарплатные отчисления, составлен SWOT-анализ, выявлены сильные и слабые стороны проекта, выявлены конкуренты и произведено сравнение с похожими конкурирующими разработками, составлен календарный рейтинг план с расчетом трудозатрат, а также построена диаграмма Ганта на основе этих данных.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Б8Б	Белановой Кристине Павловне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	И.Н.Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

**Модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545  
КТ путём оснащения частотным регулированием**

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

<b>Введение</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: тягодутьевые устройства парового котла</i></p> <p><i>Область применения: энергетика, электроэнергетика</i></p> <p><i>Рабочая зона: производственное помещение/</i></p> <p><i>Размеры помещения (климатическая зона*): 20×30 м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i></p> <p><i>дутьевые вентиляторы, системы воздухопроводов, газоходов и дымососов</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль тяги, вывод продуктов горения, обеспечение оптимальной разницы давлений внутри и снаружи топки</i></p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ГОСТ12.0.004-2015.Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения" ТК РФ 197-ФЗ</p> <p>РД 10-319-99 Типовая инструкция по безопасному ведению работ для персонала котельных и, в частности.</p> <p>ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».</p>
<b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p>Выявленными опасными факторами могут являться:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Поражение электрическим током;</li> <li>2.Тепловое воздействие;</li> <li>3.Механическое воздействие</li> </ol> <p>Выявленными вредными факторами может, являться:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Повышенный уровень шума;</li> <li>2.Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>3.Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>4.Повышенная запыленность и загазованность;</li> <li>5.Длительное сосредоточенное наблюдение;</li> </ol> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: оградительные устройства, защитное заземление, двойная или</p>

	усиленная изоляция, изолирующие площадки, знаки безопасности, плакаты, виброизоляторы или вибропоглощающие защитные материалы, использование защитной специальной одежды и обуви, каски, беруши или наушников, маски, перчатки или виброизолирующие рукавицы.
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<p><b>Воздействие на селитебную зону</b>- экологически опасная зона при аварии, требуется СЗЗ-от 500 м.</p> <p><b>Воздействие на литосферу</b>- изменение состояние грунта и загрязнение почвы, вследствие выпадения частиц отходов за пределами отвала при пылении с их поверхности, а также за счет выхода летучих соединений через дымовую трубу, уничтожение площади для организации хранения топлива.</p> <p><b>Воздействие на гидросферу</b>- изменение состояния грунтовых вод за счет фильтрации из намывных отвалов, сброс охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя озер, рек или прудов, сброс воды с реагентами после ликвидации процесса защиты от коррозии.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу</b> - компоненты продуктов сгорания органического топлива, которые, накапливаясь в атмосфере в больших количествах, приводят к нарушениям экологического равновесия и вызывают серьезные последствия. К ним относят: оксиды серы, азота, углерода и ванадия, сероводород и др.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС: разрыв трубопроводов, взрыв резервуаров.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б8Б	Беланова Кристина Павловна		

## **8 Социальная ответственность**

В выпускной квалификационной работе разрабатывается модернизация системы управления тягодутьевых механизмов котла Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием. Паровой котел установлен на ГРЭС ТОО «Kazakhmys Energy» п.Топар. Промплощадка ГРЭС расположена в Карагандинской области Абайского района к юго-западу от г. Караганды и к западу от поселка Топар на расстоянии 40 и 1,5 км от населенных пунктов.

За счет применения частотно-регулируемых приводов достигается повышение надежности работы котлоагрегата, экономия электроэнергии, увеличивается срок службы электродвигателя и трубопроводной арматуры.

Данный метод является перспективным и актуальным, так как необходимость в модернизации средств управления подтверждается ухудшением экономических и экологических показателей функционирования ГРЭС.

Тягодутьевые механизмы котла размещаются на улице и непосредственно в ячейке котла. В электротехнических помещениях РУСН-0,4 кВ и РУСН-6 кВ, в которых расположено силовое - электротехническое оборудование и шкафы управления. На групповом щите управления (ГрЩУ) котлоагрегата пульта управления котлом.

Непосредственное управление работой котла осуществляет машинист-оператор. Групповой щит управления котлоагрегатами расположен в производственном помещении котельного цеха, имеет размеры 20×30м. На ГрЩУ расположены пульта управления, в виде персональных компьютеров; экран коллективного пользования (ЭКП); шкаф аварийного управления котла (АПУ); шкафы оборудования программно-технического комплекса; средства связи.

Машинист-оператор котла получает информацию о ходе технологического процесса с видеокадров, в том числе видеокадр газовоздушного тракта, на котором выполняется контроль тяги, вывод

продуктов горения, обеспечение оптимальной разницы давлений внутри и снаружи топки, на мониторе компьютера или ЭКП. Управление выполняет манипулятором типа «мышь» или ключами на АПУ.

Компоновка пультов позволяет машинисту-оператору выполнять работу в течении всей смены на удобном вращающемся кресле и эргономичном столе. Все мониторы имеют хороший обзор, цветовые решения на видеокдрах не утомляют зрение. В помещении ГрЩУ организована приточно-вытяжная вентиляция, выполнены мероприятия по снижению шума и вибрации. Для исключения поражения электрическим током перед шкафами постелены резиновые диэлектрические коврики.

## **8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства**

Согласно трудовому кодексу РФ 30.12.2001 N 197, в котором содержатся основные положения отношений между сотрудником и организацией, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и др. [19].

Нормальная продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю. Следует отметить, что работа котельной установки осуществляется круглосуточно посменно. Ночная смена с 22 до 6 часов, дневная смена с 6 до 14 часов дня и вечерняя смена с 14 до 22 часов вечера

Для конкретного работника продолжительность рабочего времени устанавливается трудовым договором. Специальный порядок составления графиков работы (сменности) для машиниста-оператора котельной закон не установил. Применяются общие требования.

Если сотруднику установлен сменный режим работы, при составлении графика сменности нужно учесть следующее:

- продолжительность рабочего времени не должна быть выше нормы (ч. 2 ст. 91 ТК РФ).
- для отдельных категорий сотрудников рабочая смена не должна превышать установленный предел (ст. 94 ТК РФ);
- работать две смены подряд запрещено (ч. 5 ст. 103 ТК РФ); еженедельно непрерывно отдыхать нужно не менее 42 часов (ст. 110 ТК РФ);
- продолжительность ежедневного отдыха между сменами должна быть вдвое больше продолжительности работы (СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда").

Согласно (ст. 163 ТК РФ) [19] для выполнения работникам норм выработки, работодатель обязан обеспечить нормальные условия труда:

- исправное состояние помещений, сооружений и оборудования;
- качественные материалы, инструменты другие средства необходимых для работы;
- обеспечение необходимой документацией.

Порядок хранения и использования персональных данных работников устанавливается работодателем с соблюдением требований настоящего Кодекса и иных федеральных законов.

При обработке персональных данных работника в целях обеспечения прав и свобод человека работодатель должен получать все персональные данные у самого работника, при обрабатываемых персональных данных должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом.

Заработная плата выплачивается непосредственно работнику, не реже чем каждые полмесяца. Дата выплаты устанавливается правилами внутреннего трудового распорядка, трудовым договором не позднее 15 календарных дней со дня окончания периода, за который она начислена.

При выполнении работником с повременной оплатой труда работ различной квалификации его труд оплачивается по работе более высокой

квалификации. Оплата в повышенном размере производится всем работникам в отработанные выходные или нерабочие праздничные дни

Согласно Трудовому Кодексу РФ (статья 219), лица, занятые на работах с вредными и опасными условиями труда, должны получать определенные гарантии и компенсации, которые устанавливаются Трудовым Кодексом РФ, коллективным договором, соглашением, локальными актами, трудовым договором с работодателем. Размер компенсации, порядок и условия прописаны в статьях 92, 117 и 147 ТК РФ [19].

Виды компенсаций:

- Повышенная оплата труда на не менее 4% - ст. 147 ТК.
- Выдача молока или других равноценные пищевые продукты – ст.222 ТК, приказ Минтруда № 291н от 12.05.2022.
- Досрочное назначение страховой пенсии - малый список постановления Правительства № 537.
- Сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю - ст. 92 ТК
- Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск не менее 7 дней -ст. 117ТК.

### **8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

Согласно ГОСТ 22269-76 [20] конструкция рабочего места машиниста-оператора и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места машиниста-оператора должны учитываться следующие условия:

- достаточное рабочее пространство для размещения человека-оператора;
- рабочую позу человека-оператора;

- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Главными элементами рабочего места машиниста-оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рабочее место для выполнения работ в положении сидя организуется в соответствии с ГОСТ 22269-76.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление машиниста-оператора. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Конструкция рабочего места должна обеспечивать оптимальное положение сотрудника, что достигается за счет регулирования высоты сиденья и подставки для ног.

## **8.2 Производственная безопасность**

За работой и обслуживанием котельных агрегатов, насосным оборудованием, трубопроводами пара и горячей воды смотрят машинист-оператор. Согласно Федеральному закону от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» условия труда оператора технологических установок относятся ко второму классу (допустимые условия труда).

Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при работе оператора технологических установок представлены в таблице 8.1.



Таблица 8.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы машиниста-оператора на ГрЩУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
<b>Опасные факторы</b>	
Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [21]
Тепловое воздействие	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [22]
Механическое воздействие	Приказ Минтруда РФ от 27.11.2020 N 833Н "Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования"[23]
<b>Вредные факторы</b>	
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [24]
Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [25]
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23- 05-95[26]
Повышенная запыленность и загазованность	ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. [27]
Длительное сосредоточенное наблюдение	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [28]

### **Поражение электрическим током**

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. Статистические данные показывают, что от 1 до 3 % от всех несчастных случаев приходится на поражения током. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [21].

Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 [21] при аварийном режиме работы электроустановок постоянного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения

прикосновения составляет 2 В, а силы тока - 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц соответственно - 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока- 8 В и 1 м (не более 10 мин в сутки).

Для предотвращения поражения током на все электросиловое оборудование предусмотрено заземление в соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [29].

### **Тепловое воздействие**

Во время работы с котлоагрегатом некоторые части оборудования сильно нагреваются. Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Для защиты от высоких температур при проведении профилактических мероприятий в непосредственной близости от котлоагрегата персоналу выдается специальная экипировка.

### **Механическое воздействие**

Возможность получить различного вида травму, возникает на всех этапах работ с оборудованием, но возрастание риска подвергнуться механическому воздействию.

Необходимо соблюдать меры предосторожности. [23]

Средства коллективной защиты включают в себя устройства: оградительные, автоматического контроля и сигнализации; предохранительные; дистанционного управления; тормозные; знаки безопасности.

Средства индивидуальной защиты: средства защиты головы (каска, шлемы и т. д.), одежда специальная защитная (тулупы, пальто и т. д.); средства защиты рук (рукавицы, перчатки и т. д.); средства защиты ног (сапоги, ботинки и т. д.); средства защиты глаз и лица (защитные очки, щитки лицевые и т. д.)

### **Повышенный уровень шума**

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений, является ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [24].

Допустимые уровни звука и звукового давления в октавных полосах частот на рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала сведены в таблицу 8.2 согласно ГОСТ 12.1.003-83 пункт 2.3.

Таблица 8.2 – Допустимые уровни звука и звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	75
103	91	83	77	73	70	68	66	64	

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловленная индивидуальными особенностями человека.

В качестве индивидуальных средств защиты необходимо использовать противозумные беруши и шумоподавляющие наушники.

Средствами коллективной защиты от избыточного шума включают устройства: оградительные, звукоизолирующие, звукопоглощающие; глушители шума; устройства автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления.

### **Повышенный уровень общей вибрации**

Такой вредный фактор как вибрация возникает в процессе эксплуатации котельного оборудования. Источниками вибрации являются вращающиеся части турбины, подвижные элементы электродвигателей. Для помещения машиниста-оператора котельной вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на машиниста-оператора на рабочих местах или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации [25].

Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при

длительности вибрационного воздействия 8ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют: по виброускорению  $0,145 \text{ м/сек}^2$  (100 дБ); - по виброскорости -  $0,12 \text{ м/с}$  (75 дБ).

Мерами защиты являются: виброизоляторы или вибропоглощающие защитные материалы, использование защитной обуви, перчатки.

### **Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Возникает вследствие плохой работы осветительных приборов и затененностью оборудования, конструкций. Недостаточное освещение в помещении котельной может привести к повышению травматизма ремонтного и эксплуатационного персонала, а в помещении щитовой - к ухудшению остроты зрения, нервному напряжению. Действующим нормативным документом является СНиП 23-05-95\* [30]. Согласно нормам искусственного освещения, нормируемая освещенность в котельных должна составлять 100 лк. Помещение, согласно СНиП должно быть оснащено таким образом, чтобы обеспечить качественный монтаж котла, а при эксплуатации, возможность правильной работы. В помещении операторной в качестве искусственного освещения используются светильники с люминесцентными лампами.

### **Повышенная запыленность и загазованность**

При работе котлов использующих жидкое, твердое или газообразное топливо в воздухе производственных помещений может возникнуть избыточная концентрация оксида углерода CO -  $20 \text{ мг/м}^3$ : азота диоксид –  $2 \text{ мг/м}^3$  , бензол –  $10 \text{ мг/м}^3$ . Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены согласно ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Приложение 2. [27].

Повышенная запыленность и загазованность может привести к отравлениям персонала, по одной из причин нарушения в работе топливо-сжигающих агрегатов.

Широкое распространение в системах контроля загазованности и запыленности получили датчики, определяющие концентрацию вредных

веществ в помещении. При этом, такие датчики оснащаются средствами сигнализации для оповещения персонала. Для уменьшения запыленности и загазованности помещение оборудуют естественной и искусственной вентиляцией.

К индивидуальным средствам защиты от загазованности воздуха относятся фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания-защитные маски.

### **Длительное сосредоточенное наблюдение**

В основе работы машиниста-оператора, характеризующего напряженность труда, лежит сосредоточение, или концентрации внимания за показателями работы парового котла, что вызывает неблагоприятные последствия как снижение работоспособности.

По окончании рабочего дня зачастую машинисты-операторы испытывают такие ощущения, как: головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания. Для предотвращения данных факторов в течение всей рабочей смены следует соблюдать установленный администрацией режим труда и отдыха.

## **8.3 Экологическая безопасность**

### **Защита атмосферы**

Эксплуатация паровых котлов (ПК) неразрывно связана с вредными выбросами, образующимися при сжигании твердых топлив, которые являются одной из главных причин загрязнения атмосферы. Удельные содержания NOx в уходящих газах – не более 470 мг/м<sup>3</sup> при  $\alpha = 1,4$ .

Дымовые трубы котельной являются основными, постоянно действующими источниками загрязнения. Можно сделать вывод о том, что данный объект будет относиться к I категории объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду.

К основным методам обеспечения экологической безопасности можно отнести методы контроля качества окружающей среды, комбинированные

методы, например, эколого-токсикологические методы, включающие различные группы методов (физико-химических, биологических, токсикологических и др.), методы управления качеством окружающей среды.

### **Защита селитебной зоны**

ЧС на станции сопровождается повреждением и разрушением материальных ценностей, нанесением ущерба окружающей среде. Селитебная зона должна располагаться далеко за пределами промышленной зоны.

Согласно «Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий» [31] для объектов осуществляющих теплоснабжение населения, а также иных опасных производственных объектов, на которых применяется оборудование, работающие под избыточным давлением 1,6 МПа и более и при температуре рабочей среды 250 градусов Цельсия и более, должна существовать санитарно-защитная зона - 500 м.

Необходим постоянный контроль за их соблюдением на основе комплексного мониторинга. Основными мерами по защите населения являются: своевременное оповещение населения, организованная эвакуация населения, оказание помощи пострадавшим.

### **Защита литосферы**

В процессе работы парового котла, при сжигании топлива образуется зола и шлак которые удаляются из топки и в дальнейшем происходит образование золошлакоотвалов, которые изменяют состояние грунта и загрязняют почву, вследствие уноса ветром разносится. Так же загрязнение литосферы происходит за счет выхода летучих соединений через дымовую трубу и при хранении твердого топлива.

Наиболее рациональным способом защиты литосферы является освоение специальных технологий по сбору и переработке отходов, применение сероочистительных установок. При соблюдении методов накопления, временного хранения на станции и размещении отходов, а также при своевременном вывозе отходов производства и потреблении с территории

промышленной площадки не произойдет нарушения и загрязнения почвенного покрова рассматриваемого района.

### **Защита гидросферы**

Изменение состояния грунтовых вод происходит за счет фильтрации из намывных отвалов, сброса охлаждающей воды в качестве охладителя озер, рек а также сброса воды с химическими реагентами.

Для защиты гидросферы применяют следующие методы: рациональное размещение сброса и водозабора, разбавление вредных концентраций до допустимых параметров, современные малореагентные технологии подготовки воды.

### **8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Возможные чрезвычайные ситуации, которые могут произойти на данном объекте: разрыв трубопроводов, взрыв резервуаров, возгорание угольной пыли, перепитка и недожог котла.

Наиболее характерной для данной системы является техногенная ЧС-пожар. Возможные причины пожара в данной системе: несоблюдение правил эксплуатации технологическим процессом; несоблюдение техники безопасности.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому обслуживающий персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

Мероприятия для предотвращения пожаров:

- контроль состояния устройств коммуникации путем внешнего осмотра, измерения температуры и выявление проблемных участков;
- проведение инструктажа и тренировок эвакуации с сотрудниками;
- установка средств противопожарной безопасности (распылители, огнетушители, противопожарный водовод, ящики с песком);
- обучение сотрудников использовать средства пожаротушения.

Своевременное обнаружение пожара может быть достигнуто использованием в производственных и бытовых помещениях система автоматической пожарной сигнализации.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" <https://docs.cntd.ru/document/902111644>, возможный пожар в котельном цеху относится к классам А, В, Е. Возможный пожар в котельном цеху угля и угольный пыли, топливного мазута и масла а так же электроустановок, находящихся под напряжением.

Необходимо обеспечение первичных средств пожаротушения-пожарный инвентарь, переносные и передвижные огнетушители, пожарные краны и средства обеспечения их использования.

#### **Вывод по разделу «Социальная ответственность»**

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях.

В соответствии фактических значений потенциально возможных факторов нормативным значениям, разработаны мероприятия по уменьшению их воздействия на людей и окружающую среду.

Категория помещений по электробезопасности согласно ПУЭ: II группа - «Помещения с повышенной опасностью».

Группа персонала по электробезопасности, согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок, не ниже II группы.

Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 [22] является ПБ.

Данный объект относится к I категории объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду.

По пожаровзрывоопасности и взрывоопасности котельных цех относится к категории «Г» - степень огнестойкости несущих конструкций II степени СП 12.13130- 2009г.



## Заключение

В ходе выполнения работы был рассмотрен проект модернизация системы управления тягодутьевых механизмов (дымососов и дутьевых вентиляторов) котлоагрегата Е-250-9,8-545 КТ путём оснащения частотным регулированием для участия в системе автоматического регулирования котла процессами горения.

В ходе выполнения теплового расчета котла при сжигании каменного угля Борлинского месторождения были получены температуры по ходу движения газов, определены конструктивные характеристики поверхностей нагрева.

Результаты теплового расчета были использованы при проведении аэродинамического расчета газового и воздушного тракта котла. На основании расчетных гидравлических сопротивлений трактов и расходов воздуха и газов выполнен подбор дымососов ДН-22х2ФК и дутьевых вентиляторов ВДН-18К.

Рассмотрены факторы, влияющие на маневренные характеристики котла, а также схемы регулирования производительностью тягодутьевых механизмов. Максимальное распространение имеют схемы регулирования с использованием направляющих аппаратов из своей простоты и лучших эксплуатационных характеристик. Но предложенный вариант применения частотно-регулируемого привода является более экономичен, улучшает качество регулирования, надежность, уменьшает потребление электрической энергии приводом, что в конечном итоге увеличивает КПД нетто котла.

Для определения экономичности внедрения частотно-регулируемого привода по сравнению регулированием направляющим аппаратом был проведен расчет в различных режимах работы котла, который показал экономию электроэнергии до 45% при нагрузке котла  $0,834 \cdot D_n$ .

Одним из факторов, сдерживающих внедрение управления приводом тягодутьевых механизмов котла, являются большие первоначальные инвестиции при проведении модернизации с питающим напряжением 6кВ.

Исследование показало, что в настоящее время на рынке присутствует не малое количество предложений, в том числе отечественного производства, схемных решений – с входным и выходным трансформаторами и низковольтным ПЧ, высоковольтные транзисторные и тиристорные преобразователи частоты. Каждое решение отличается по стоимости.

Однако экономический расчет показывает окупаемость проекта от 2 до 5 лет. Помимо экономии электроэнергии применение частотно-регулируемого привода улучшает эксплуатационные характеристики, улучшает качество регулирования, надежность и экологические характеристики.

Рассмотрены вопросы внедрения АСУТП и реализации регулятора тепловой нагрузки, регулятора общего воздуха и регулятора разрежения. Реализация сложных алгоритмов управления и САР, совместно с внедрением частотно-регулируемого привода позволяет улучшить показатели маневренности котла в регулирующем и базовом режимах.

Разработаны разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

Данная выпускная квалификационная работа показала актуальность реализации проекта по модернизации системы управления тягодутьевых механизмов энергетических котлов путём оснащения частотным регулированием, как и для вновь вводимых котлоагрегатов, так и для эксплуатируемых в настоящее время.

## Список использованных источников

- 1 Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). – издание 3-е, перераб. и дополн. – С.-Пб.:НПО ЦКТИ, 1998. – 259 с.: ил.
- 2 Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). / Под ред. С.И. Мочана. Л.: Энергия, 1977. 256 с.
- 3 Котельные установки и парогенераторы. Тепловой расчет котлов: учебное пособие/ Карякин С.К.; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010.- 156с.
- 4 Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС: учеб. / В.С. Андык – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.
- 5 Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике/ Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с
- 6 Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
- 7 Слесаренко В.В. Насосы и тягодутьевые машины тепловых электростанций: Учебное пособие. - Владивосток: Издательство ДВГТУ, 2002. - 84 с.
- 8 79.00.000 РЭ Котельная установка с котлом Е-250-9,8-545 КТ. Руководство по эксплуатации / ОАО ТКЗ «Красный котельщик»
- 9 Тягодутьевые машины: Технический каталог. – Барнаул: ОАО «Сибэнергомаш», 2011. – 189 с.
- 10 Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. – 244 с.
- 11 Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промпредприятий: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.

12 Галашов Н.Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. – 90 с.

13 Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котельных установок): Учебное пособие/ Е.А. Бойко, П.В. Шишмарев, Л.Н. Подборский, Т.И. Охорзина // - Красноярск: СФУ, 2008. – 71 с.

14 Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие/ Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – М: Энергоатомиздат, 1997. – 216с.

15 Кибарин А.А. Режимы работы и эксплуатации котельных установок: Учебное пособие/ А.А. Кибарин – Алматы: АИЭС, 2008. – 85с.

16 Выбор частотного преобразователя для дымососа и оптимизация энергопотребления [электронный ресурс]// Режим доступа - Компания ВЕДА МК. URL: <https://drives.ru/stati/vybor-chastotnogo-preobrazovatelya-dlya-dymososa-i-optimizaciya-ehnergotrebleniya/> (дата обращения 05.05.2023)

17 Применение преобразователей частоты в энергетике [электронный ресурс]// Режим доступа - Компания ВЕДА МК. URL: <https://drives.ru/po-otraslyam/energetika/> (дата обращения 05.05.2023)

18 Высоковольтные электродвигатели [электронный ресурс]// Режим доступа - Группа компаний «ЭЛКОМ», URL: [https://www.elcomspb.ru/retail/electric\\_engines/hi-voltage\\_engines/](https://www.elcomspb.ru/retail/electric_engines/hi-voltage_engines/) (дата обращения 20.05.2023)

19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (Дата обращения: 29.05.2022).

20. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие

эргономические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834> (Дата обращения: 29.05.2022).

21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

22. ТЕХЭСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

23. Приказ Минтруда РФ от 27.11.2020 N 833Н "Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования.

24. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

25. ТЕХЭСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный. – Загл. с экрана.

26. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

27. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

28. 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрав России, 1999.

29. ГОСТ 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

30. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

31. Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий. Издательство Российского экологического Федерального информационного агентства. Москва – 1998

32. Ильясов А.З. Создание централизованной системы автоматического регулирования частоты и перетоков мощности в единой энергосистеме Казахстана / А.З. Ильясов, А.А. Саухимов, Е.В. Дидоренко// Вестник АУЭИС. - 2022.-№ 1. -с. 6-16

33. Крылов Ю.А. Проблемы применения энергосберегающего электропривода на дымососах котлоагрегатов / Ю.А. Крылов, С.С. Сапожников// Известия ТулГУ. Технические науки. - 2010.-вып. 3.- с. 52-57

34. Усынин Ю.С. Энергосбережение в электроприводах тягодутьевых механизмов многосвязных объектов/ Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н.Шишков // Вестник ЮУрГУ. - 2011.-№15.- с. 40-45

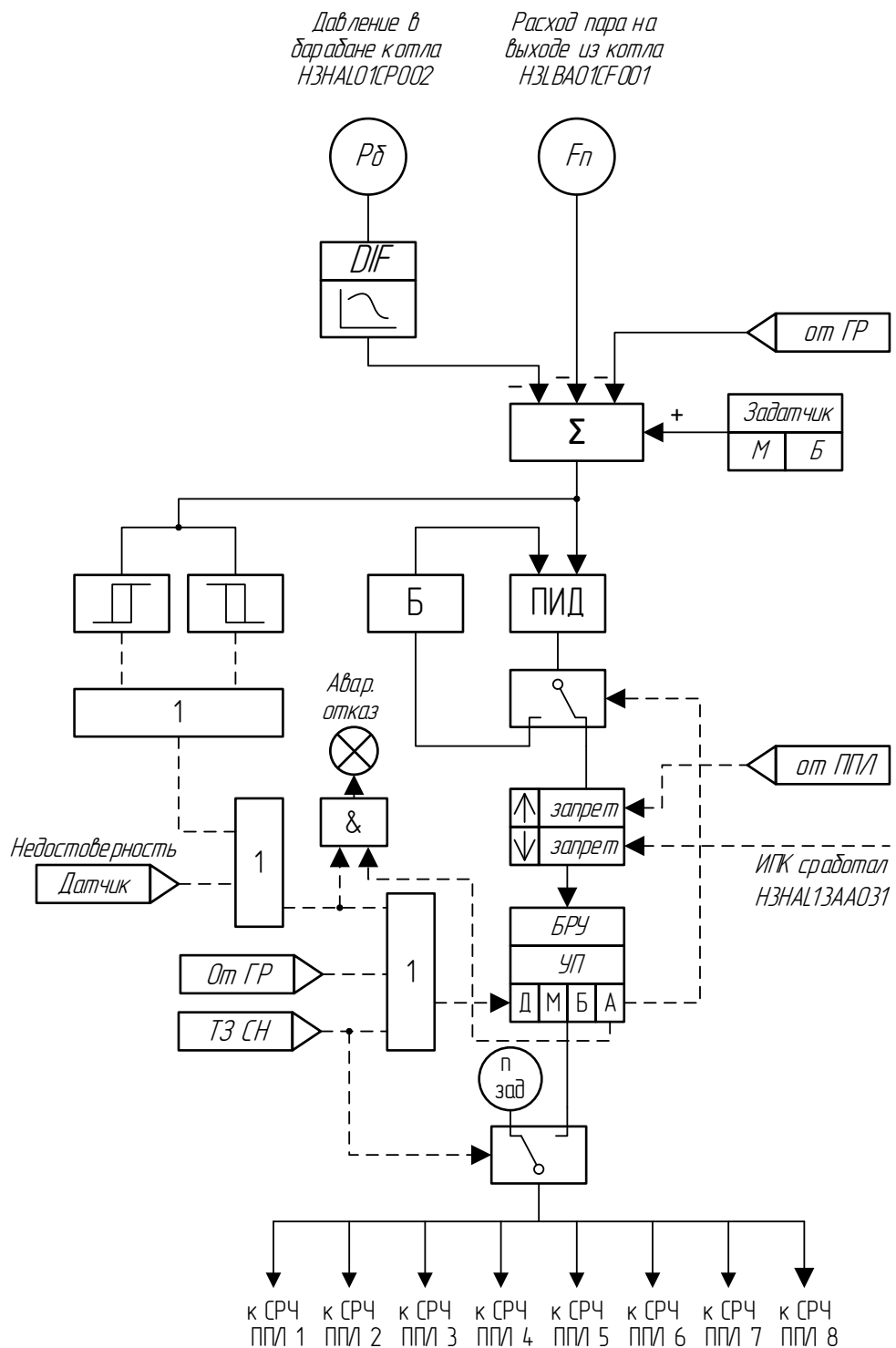
35 Иванцов В.В. Цены и сроки окупаемости высоковольтных частотно-регулируемых электроприводов тягодутьевых машин (дымососов и вентиляторов) [электронный ресурс]// Режим доступа - ЗАО «ЭРАСИБ», URL: <https://erasib.ru/staty/price-ROI-cement-fan/> (дата обращения 07.05.2023)

36 ИНСТРУКЦИЯ по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. - АО ВНИИЭ. – Москва, 1997

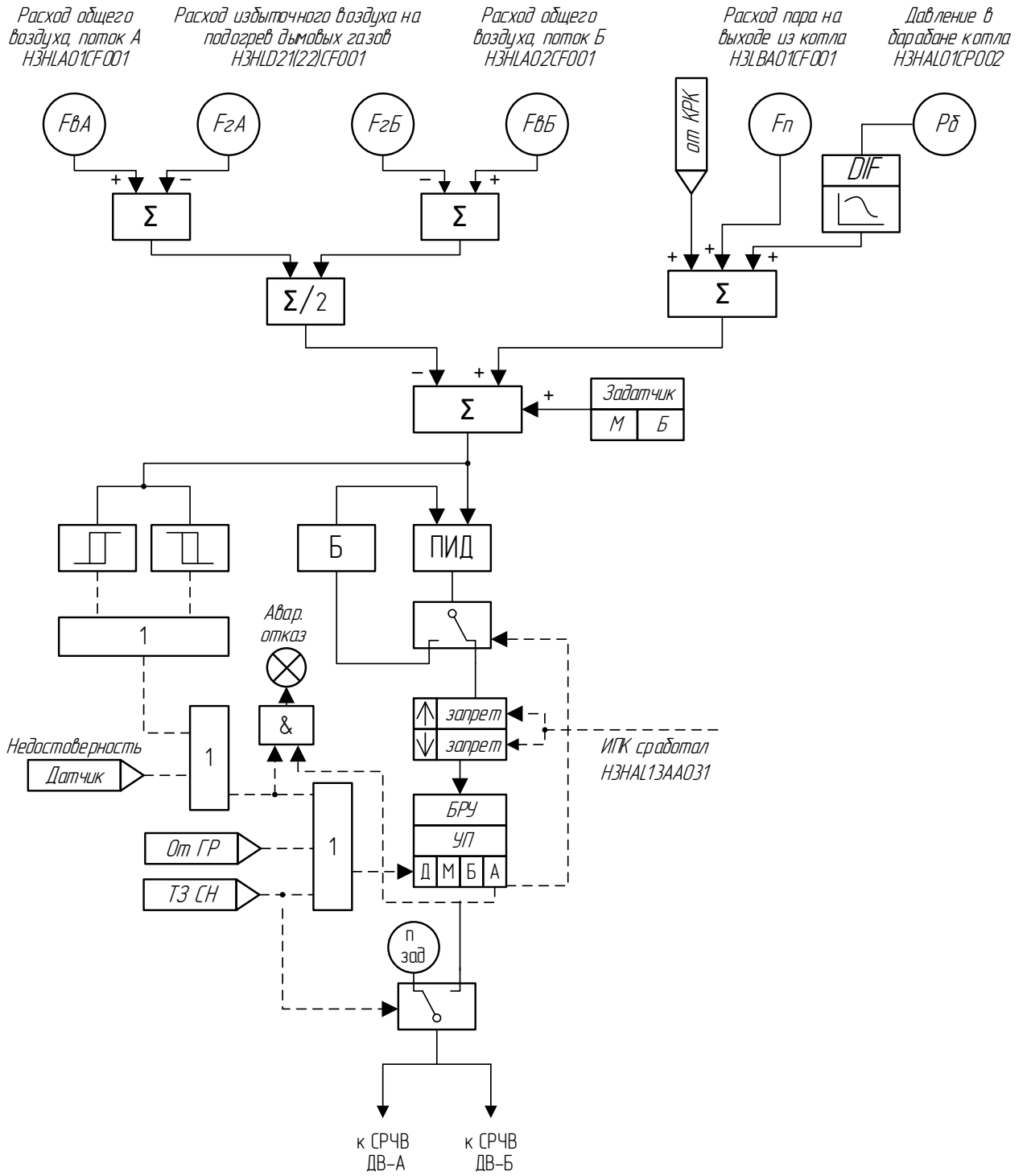
37 С.Б. Алексеев. Частотно-регулируемый электропривод в автоматизированных системах управления технологическими процессами: Конспект лекций. - Алматы: АУЭС, 2013. – 37 с

38 Модульные Системы Торнадо: официальный сайт. - Новосибирск// Режим доступа - URL: <https://tornado.nsk.ru/> (дата обращения: 29.05.2023). - Текст: электронный.

# Приложение А – Структурная схема регулятора тепловой нагрузки

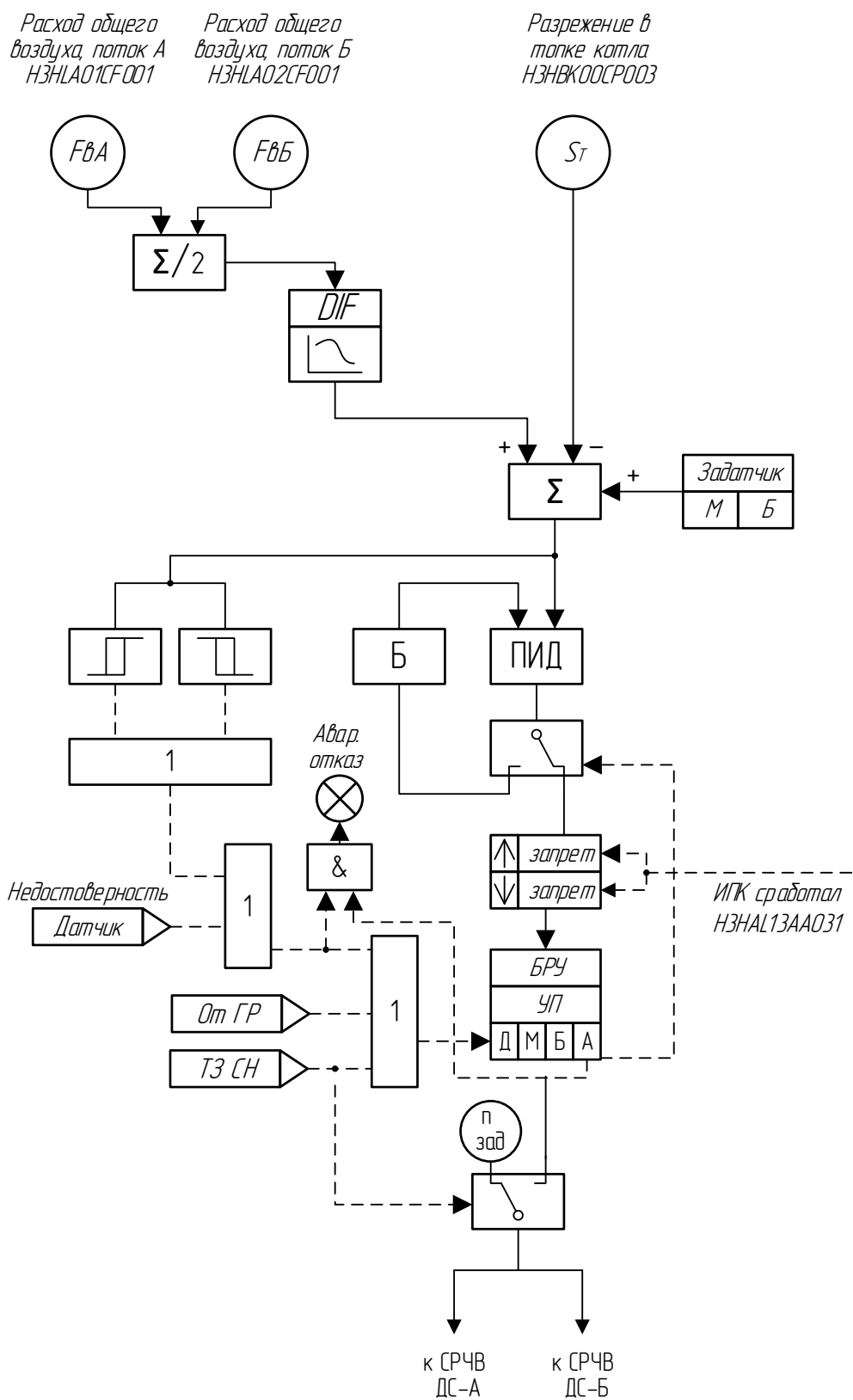


## Приложение Б – Структурная схема регулятора общего воздуха

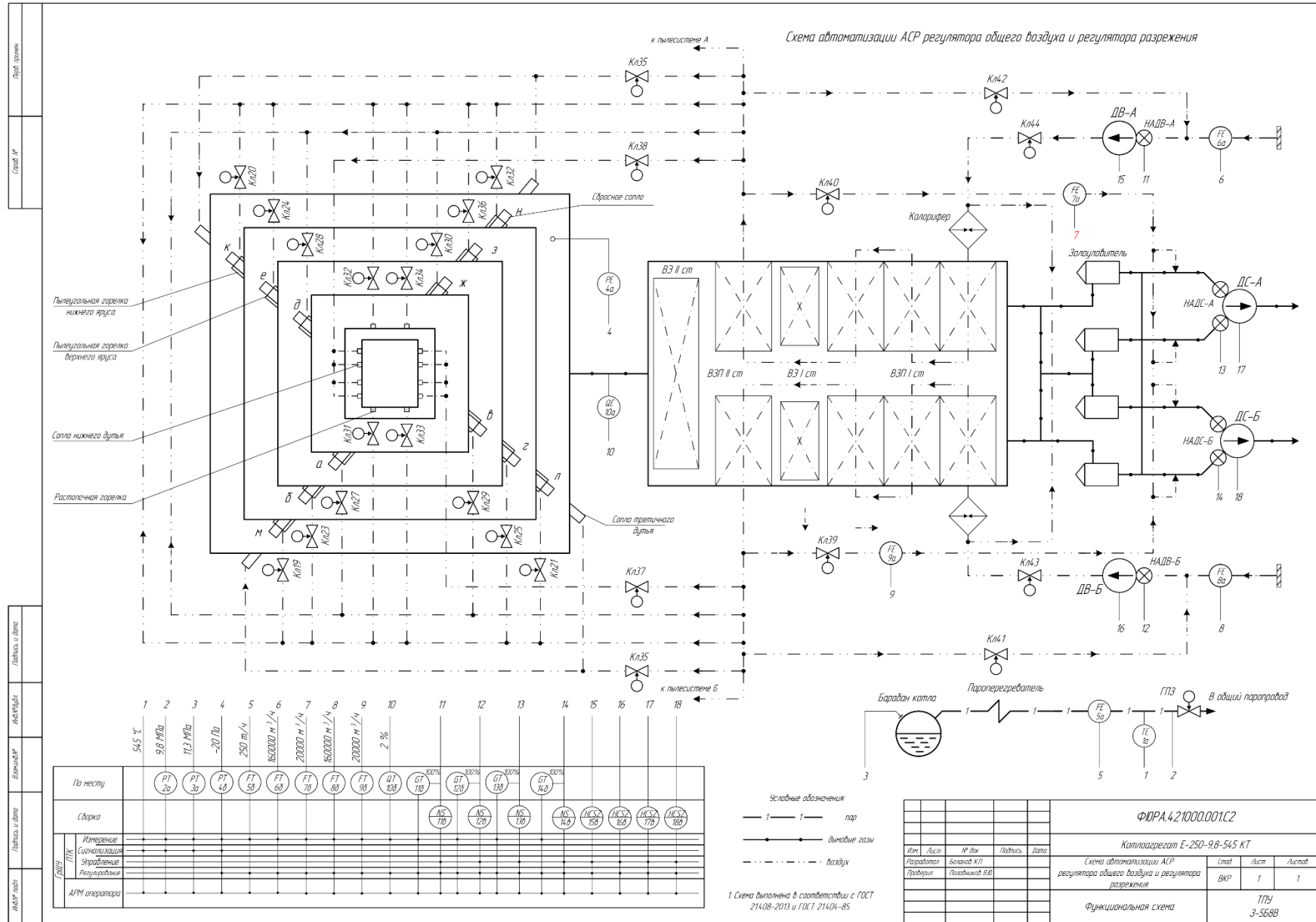




## Приложение В – Структурная схема регулятора разрежения



# Приложение Г – Схема автоматизации системы автоматического регулирования котла



## Приложение Д – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнитель	Кол-во кал. дн. T <sub>ki</sub>	Продолжительность выполнения работ																		
				февраль			март			апрель			май			июнь						
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Составление и утверждение технического задания	Рук-ль	4	■																		
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10	■	■																	
3	Календарное планирование по теме	Рук-ль	3		■																	
4	Сбор исходных данных	Инженер	12			■	■															
5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Инженер	8				■	■														
6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков	Инженер	4					■														
7	Анализ рынка производителей высокотехнологичного оборудования	Инженер	7						■	■												
8	Оценка эффективности полученных результатов	Рук-ль	4							■												
9	Определение целесообразности проведения опытно-конструкторской разработки	Рук-ль	4								■											
10	Разработка проектной, конструкторской документации	Рук-ль, инженер	69								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
11	Подбор оборудования и составление спецификации	Рук-ль, инженер	9																■	■		
12	Оценка коммерческого потенциала, экономичности и энергоэффективности	Рук-ль, инженер	12																■	■		
13	Составление пояснительной записки	Инженер	10																	■		