МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПРОВЕРЕНА
Рецензент,
Должность и место работы
_____ М.Л. Зиновьев
«___»_____2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент
_____К.В. Осинцев
«_____» _____2019 г.

Реконструкция котла БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2019.089.05 ВКР

Консультант по разделу
«Безопасность жизнедеятельности»,
к.т.н., доцент
_____И.П. Палатинская
«___»_____2019 г.

Консультант по разделу
«Экономика и управление»,
старший преподаватель
_____Р.А. Алабугина
«___»_____2019 г.

Руководитель работы
к.т.н., доцент
_____С.В. Пашнин
«___»_____2019 г.

Автор работы,
студент группы П-480
_____Г.К. Каляпин
«___»_____2019 г.

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____Р.А. Алабугина
«___»_____2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Каляпин Г.К. Реконструкция котла БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2019, 101 с., 4 ил., библиогр. список – 41 наим., 5 листов чертежей ф.А1, 2 демонстрационных листа ф.А1.

После проведённого анализа существующего технологического процесса, мониторинга качества твёрдого топлива, поступающего на Челябинскую ТЭЦ-2 было организованно экспериментальное сжигание бурых углей Сарыкольского месторождения. Положительные результаты эксперимента позволяют начать использование данных углей. Для увеличения парка котельных установок работающих на твердом топливе принято решение о восстановление пылесистем котла БКЗ 210-140Ф ст.№5, с восстановлением проектного расположения горелочных устройств с их заменой.

Аэродинамический расчет котла, тепловой баланс системы пылеприготовления, расчет горелочного устройства котельного агрегата показал отсутствие необходимости в замене номенклатуры вспомогательного оборудования и тягодутьевых машин. В экономической части проведены расчеты капитальных и текущих затрат проекта, затраты связанные с выбросами загрязняющих веществ и определен срок окупаемости проекта.

Восстановление пылесистем дает возможность использовать котел ст.№5 полностью на твердом топливе, при возникновении аварийной ситуации и отключении газообразного топлива.

Пояснительная записка содержит 14 разделов, в которых рассмотрены вопросы экологии и безопасности жизнедеятельности при работе с теплоэнергетическим оборудованием, была разработана схема автоматизированного подхвата пылеугольного факела котельного агрегата.

					13.03.01.2019.089.05 ПЗ			
Изм.	*Лист*	*№ докум.*	*Подп.*	*Дата*				
Выполнил		*Каляпин Г.К.*			Реконструкция котла БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля.	*Лит.*	*Лист*	*Листов*
Руководитель		*Пашнин С.В.*				*В К Р*	*3*	*98*
						ЮУрГУ Кафедра «Промышленная Теплоэнергетика»		
Н. Конр.		*Алабугина Р.А.*						
Зав. Каф..		*Осинцев К.В.*						

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ВКР 6
2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ РАЗРАБОТОК ПО ТЕМЕ ВКР 8
3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 11
3.1 Характеристика оборудования котельного цеха ЧТЭЦ-2 11
3.2 Реконструкция системы сжигания котла 25
3.2.1 Характеристика горелочных устройств и воздушных сопел 25
3.2.2 Расчет горелки 26
3.3 Поверочный тепловой расчёт котельного агрегата БКЗ-210-140 Ф 29
3.4.1 Расчёт объёмов воздуха и продуктов сгорания 30
3.4.2 Характеристики и энтальпии продуктов сгорания и воздуха 30
3.4.3 Тепловой расчет 33
3.4.4 Поверочный расчет теплообмена в топке 34
3.4.5 Расчет пароперегревателя 37
3.4.6 Расчет водяного экономайзера 39
3.3.7 Поверочный расчет воздухоподогревателя 40
3.4.8 Расчет невязки теплового баланса парогенератора 43
3.5.1 Расчет тяги 44
3.5.2 Расчет дутья 51
4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ 62
4.1 Исходные данные для расчета 63
4.2 Статьи теплового баланса 63
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ 68
5.1 Мероприятия по энергосбережению на ЧТЭЦ-2 68
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ 70
6.1 Расчет проводим для летнего режима при работе котла на газе 70
6.2. Расчет проводим для летнего режима при работе котла 73
на Сарыкольском непроектном угле 73
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ 79
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ 85
8.1. Опасные производственные факторы котельного цеха. 85
8.2 Безопасность технологических процессов 85
8.2.1 Электробезопасность 85
8.2.2. Пожаровзрывобезопасность 87
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ 89
9.1 Определение экономической эффективности проекта реконструкции агрегата БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля 89
9.1.1 Смета капитальных затрат на реконструкцию горелок 89
9.3.4 Ленточный график Ганта 96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 98
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 99

ВВЕДЕНИЕ

Сильный промышленный рост города Челябинска в послевоенные годы обусловил необходимость строительства Челябинской ТЭЦ-2 (ЧТЭЦ-2), которая работала в соответствии с наиболее надежным и продвинутым циклом своего времени-пароводяным. Топливная нагрузка котельных агрегатов была связана с бурым углем на Челябинском угольном месторождении, при этом основное внимание уделялось рабочим характеристикам: Q = 15,0 15,9 МДж / кг; Wp = 13-16%; Ap <30%; Vg = 40 ÷ 43%, процесс сгорания нацелен на системы очистки пыли с прямым впрыском пыли из молотковых мельниц.

Котельные агрегаты БКЗ-210-140Ф, поставляемые Барнаульским котельным заводом, были предназначены для производства пара со скоростью Дн=210 т/ч (Дн=58,33 кг/с) при температуре пп=5700С (Тпп=843К) и давление Рпп=14,0 МПа. С формированием оборудования тепловых электростанций параметры регулирования были изменены и сегодня равны tпп=550 0С (Тпп=823К) и Рпп=13,0 МПа. Качество топлива значительно снизилось по сравнению с расчетными значениями ЧТП-2. Уголь очень сбалансирован с породой (Ardo 50%) и влажностью (W22 26%). Теплота сгорания этого топлива составляет Qrn = 9,2 ÷ 10,2 МДж / кг.

Сложная ситуация в производстве электроэнергии и тепла делает лучше приминение природного газа, который изначально реализовывался на ТЭЦ-2 в качестве избыточного топлива, в то время как котлы БКЗ-210-140Ф использовались в качестве буферных потребителей Процент газа был равен qг=15÷20 %, в настоящее время он равен qг=80÷85 %, при этом в теплое время года qг=100%, а в холодное падает до отметки 0-15%. Следовательно в критические моменты в работе ЧТЭЦ-2 основная нагрузка лежит на оборудовании для обработки и сжигания твердого топлива.

Использование твердого топлива ЧТЭЦ-2 стало причиной значительного ухудшение экологической ситуации в регионе по причине добавочных выбросов оксидов серы, летучей золы и увеличения площадей для хранения золы. В то же время увеличивается потребление энергии собственных нужд, которая направлена на подачу топлива, переработку целлюлозы, организацию сжигания и обработку золы.

При использовании некондиционном топлива нагрузка котельного агрегата ограничивается значением Дпп=(0,6÷0,7)•Дн. Уменьшение за счет образования на загрязненных участках шлаковых отложений во всех участках топки при сжигании угольной пыли. В следствии значительно уменьшается коэффициент термического КПД экранов, который напрямую связан со степенью загрязнения экранов и схемой сжигания топлива.

В качестве одной из мер по переводу ЧТЭЦ-2 на промышленное использование Сарыкольского угля необходимо увеличить чисто котельныхагрегатов, работающих на твердом топливе, путем реконструкции котла № 5 с восстановлением пылесистем и переходом на двухрядное размещение горелок.

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ВКР

Высокий уровень промышленных выбросов в Челябинской области обозначает снижение уровня загрязнений как основную цель. Уголь, производимый в Челябинске, по своим характеристикам давно уже перестал соответствовать проектным разработкам. Низкий уровень зольности является ключевым фактором в выборе твердого топлива для котла ЧТЭЦ-2. Именно поэтому мною был выбран непроектный уголь Сарыкольского месторождения.

Проблемы с поддержанием номинальной нагрузки появились из-за высокого уровня шлакообразования, что устанавливает границ для величины $Д_{пп}=0,6\div0,7Д_{н}$. Шлаки, откладывающиеся в топочной камере котла, влияют на снижение теплообмена. Наибольшее количество шлаковых образований замечено на задней стене топочной камеры, так как максимум тепловыделений расположен именно там. Это связано с расположением горелки, что ставит перед нами задачу о восстановлении проектного расположения горелок. Это приведет к снижению температуры дымовых газов, что существенно скажется на количестве выбросов в окружающую среду, снижение расхода топлива и повышение КПД котельного агрегата.

Опыт, по сжиганию углей Сарыкольского месторождения показал положительные результаты, поэтому решение о разработке совокупности мероприятий для перевода котлов на новое твердое топливо было принято сразу же. Использование Сарыкольского угля позволяет решить сразу две проблемы. Во-первых, выбросы, образующиеся при работе на Сарыколькоском угле, имеют лучшие характеристики, чем при работе на проектном Челябинском угле. Во-вторых, рост цен на газ заставляет подумать о поиске альтернативных решений, что приводит нас к Сарыкольскому месторождению.

И при сравнительно не больших изменениях в технологии сжигания можно достичь существенной экономии. Т.о. при переходе на промышленное сжигание непроектных углей встаёт необходимость в расширении парка котельных установок работающих на твердом топливе. Котел ст.5 Челябинской ТЭЦ-2 после сворачивания в 2003-м году опытной программы по реконструкции котла БКЗ с внедрение сжигания твердого топлива в кипящем слое «остался» без пылесистем. Пылесистемы на котле были в ходе опытов заменены на «предтопок», горелочные устройства были равномерно расположены по кругу между отм.9,3м-отм.12.00м. В 2003м году опытный «предтопок» был демонтирован, а холодная воронка перекрыта ниже уровня нижних коллекторов экранных блоков. Т.е. котел ст.№5 остался газовым, а горелки оставлены на прежнем месте. В 2011м году на котлах ЧТЭЦ-2 началось внедрение АСУГ «КВИНТ», котел же ст.№5 тоже был реконструирован но из-за кругового расположения горелок система управления горением работала только при 80% отключенных функций. При изменении топливной политике появилась необходимость восстановить сжигание твердого топлива на этом котле, а для организации полноценной работы АСУГ «КВИНТ» вернуться к заводскому двухрядному, фронтовому расположению горелок. Сущность работы состоит в том, что на котле демонтируются тыловые, боковые

и фронтовые горелки и ус восстановлением пылесистем устанавливаются 8-мь горелок в два ряда на фронт (по заводской компановке) при этом выполнена реконструкция подвода вторичного воздуха в горелке. Труба пылевоздушной смеси горелки смещена относительно оси улитки на нижнем ярусе горелок на 40 мм вверх, на верхнем ярусе на 40 мм вниз. В горелке между обечайкой и трубой пылевоздушной смеси выполнены перегородки, обеспечивающие прямоточную подачу вторичного воздуха через горелку. Данная конструкция ввода вторичного воздуха приводит к перераспределению воздушного потока с целью обеспечения ступенчатого сжигания топлива в топке котла.

При двухступенчатом сжигании топлива в топке котла улучшаются условия воспламенения пылевоздушной смеси.

2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ РАЗРАБОТОК ПО ТЕМЕ ВКР

Электроэнергетика в России представляет собой электростанции общей мощностью 220 млн. кВт. Около 58-60 % производятся на ТЭЦ и КЭС. За 2013 год на ТЭС было реализовано 220 млн. угля, что уже становится недостаточным, поэтому до 2030 года добычу угля планируется увеличить вдвое, для покрытия электроэнергии.

Разнообразия энергоблоков в нашей стране очень велико. Их мощность растет с небольших блоков развивающих 150-200 МВт, до энергоблоков конденсационных электростанций с мощностью до 800 МВт.

Использование новых и перспективных технология сжигания каменного у бурого угля, как основного топлива, позволяет добиться повышения кпд котельного агрегата и расширения возможностей использования различных углей. Так же наблюдается снижение уровня выбросов и шлакования. А невысокий уровень затрат на внедрения данных технология говорит о их перспективном будущем.

Говоря о различных технологических решениях, применяемых в странах Евросоюза и в России нельзя не упомянуть о технологии сжигания топлива в топках с циркулирующим кипящим слоем. Несмотря на все перечисленные свойства, денежные затраты в размере 8000-35000 руб./кВт не дают этой технологии широко развития в Европе. Для работы с ЦКС ученые разрабатывают новые котельные агрегаты.

Нельзя не упомянуть об Эксперементальной ГРЭС [6]. В нее входит котел, изготовленный специально для работы с ЦКС, но в планах у данной станции полное реконструирование котельного цеха, для сжигания шлаковых расплавов угля. Это повлияет на количество выбросов в атмосферу, что положительно скажется на экологическую обстановку региона. Так же опытное использование ВУС и ЭКОВУТ, что поможет снизить расходы на транспортировку топлива. Но из-за недостатки денежных средств и заинтересованности инвесторов, эта техология была реализована только на Беловской ГРЭС.

Для сравнения приведены показатели ТЭС России и зарубежных стран в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Показатели отечественных и зарубежных энергоблоков, %

Показатели	Россия		Мировой уровень	
	Среднее значение	Передовые образцы	Среднее значение	Передовые образцы
Абсолютный электрический КПД ТЭСна газе	38	н/д	40	47
Абсолютный электрический КПД ТЭС на угле	34	41	38	44

Одна из наиболее первостепенных целей на сегодняшний день – это поиск

возможности сжигания твердого топлива с увеличением КПД, но с уменьшением выбросов в окружающую среду. Одним из перспективнейших способов является сжигание в псевдоожиженном слое. Измельченная угольная пыль смешивается с измельченным известняком, далее, при помощи восходящего потока жидкости происходит взвешивание частиц над топкой котла. Смесь угольной и известняковой пыли при данном способе имеет схожие свойства с кипящей жидкостью. Этим способ и обеспечивается интенсивность горения топлива.

Кипящий слой реализуемого топлива находится в непосредственном контакте с водяными трубами котельного агрегата, что показывает более высокую эффективность передачи тепловой энергии, чем у котельных агрегатов с радиационным и конвективным переносом тепла.

Использование псеводоожиженного слоя позволяет снизить температуру в топке котельного агрегата, так как увеличивается площадь теплопередачи, что означает снижение образования окислов серы. А известняк, добавленный в уголь, связывает около 90% серы, образовавшейся при горении угля. Следовательно уменьшается образование вредных веществ, так как они нейтрализуются в самой топке котельного агрегата.

Снижение расходов может быть обусловлено использованием котельных агрегатов с псевдоожиженным слоем. Это достигается путем снижения температуры горения ниже температуры плавления шлака, что решает проблемы образования шлаковых отложений на теплопередающих поверхностях. Это делает котельный агрегат менее чувствительным к качеству топлива, что позволяет сэкономить эксплуатационные расходы.

Использования псевдоожиженного слоя позволяет экономить от 10 до 20 процентов на строительстве. Так как модульные котельные агрегаты использующие сжигание в псевдоожиженном слое небольшой паропроизводительности будут сравнимы с тепловой традиционной станцией такой же мощности. А увеличение электрической нагрузки на такой станции способствует увеличению мощности. Так же нельзя не отменить компактность модульных котельных и легкость их планирования

Энергетическая компания Northern States Power представила очень интересный проект. Котлоагрегаты с сжиганием в псевдоожиженном слое позволили повысить мощность всей станции на 40%, что является очень хорошим показателем. Топливом может стать даже местные отходы, благодаря меньшей чувствительности к его качеству.

Последние пятнадцать лет эволюция тепловых электростанций использующих псевдоожиженный слой позволила перейти от экспериментальных, до демонстрационных станций, одним из ярких примеров которых является строительство станции мощность 160 МВт компаниями Tennessee Valley Authority, Duke Power и Common wealth of Kentucky. Компания Colorado-Ute Electric Association запустила электрогенерирующую установку с выходной мощность 160 МВт. Фирма Southern California Edison на примере своей станции "Cool Water" доказала, что станция, работающая по комбинированному циклу на принципе газификации угля работает на различных углях, при этом имея такой

же уровень выбросов в атмосферу, как и соседние станции работающие на газу. В мае 1984 г. станция была сдана в эксплуатацию и имела мощность 100 МВт. Уровень окислов серы, содержащийся в уходящих газах этой станции был на уровне благодаря системе очистки серы, которая улавливала большую часть серы в исходном топливе. Далее чистая сера использовалась в промышленных целях.

Добавление к газу воды непосредственном перед процессом сжигания позволила предотвратить образование окислов серы. Остатки газа в газогенераторе переплавлялись с последующим охлаждением, что позволило вписаться в требования к твердым отходам штата Калифорния.

Нельзя не отметить гибкость строительства станций с комбинированным циклом. Они сооружаются в несколько очередей, что позволяет добиться уменьшения риска недостаточных или черезмерных капиталовложений.

3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Характеристика оборудования котельного цеха ЧТЭЦ-2

Характеристика оборудования IIой очереди котельного цеха представлена в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Характеристика оборудования IIой очереди котельного цеха

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Заводской номер	-	845
Регистрационный номер	-	К-5167
Тип котла	-	Б К З - 2 1 0 - 1 4 0 Ф
Паропроизводительность	т/час	210
Теплопроизводительность	Гкал/час	127
Давление в барабане	кг/см	156
Давление на выходе из котла	кг/см	140
Температура перегретого пара	°С	545
Температура питательной воды	°С	230
Температура горячего воздуха	°С	273
Температура уходящих газов	°С	142
Поверхность нагрева: -экранов (строительная) -экрана, радиационная -пароперегревателя -в/экономайзера -в/подогревателя	м	3800 655 1939 2544 13012

Конструктивные особенности барабана представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Конструктивные особенности барабана

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Внутренний диаметр	мм	1600
Толщина стенки цилиндрической части	мм	115
Длина цилиндрической части	мм	11291
Марка стали	ст	16 ГНМА

Характеристика выносных сепарационных циклонов представлена в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Выносные сепарационные циклоны

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Количество циклонов	шт	4
Диаметр	мм	426х35
Длина	мм	4725
Кол-во труб соединяющих каждую пару циклонов с паровым пространством барабана	шт	4
Кол-во труб соединяющих каждую пару циклонов с водяным пространством барабана	шт	1
Кол-во труб соединяющих каждую пару циклонов с нижним коллектором экрана соленого отсека	шт	4
Кол-во труб соединяющих каждую пару циклонов сверхним коллектором экрана соленого отсека	шт	4
В нижней части каждого циклона установлена антикавитационная крестовина	щт	1
В нижней части каждого циклона установлен дырчатый подпорный лист	щт	1
В одном из циклонов каждой пары установлен парообразный зонд	шт	1

Характеристики топочной камеры представлены в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Топочная камера

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Объем топочного пространства	м	992
Ширина топки в свету	мм	9476
Глубина топки в свету	мм	9596
Средняя высота топки	м	16,2

Тепловой баланс котельного агрегата БКЗ-210-140Ф представлен в таблице 3.5

Таблица 3.5 – Тепловой баланс

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
КПД котла (брутто) Бурый уголь; природный газ	%	91,7; 93,1
Часовой расход топлива бурый уголь природный газ	кг/час	40350 17250
Теплонапряжение топочного объема	ккал/час	137х10
Потеря с уходящими газами	%	6,8
Потеря с хим.недожогом	%	0,5
Потеря с механ.недожогом	%	0,5
Потери в окруж-ую среду	%	0,5

Характеристика экранных труб представлена в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Экраны

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Фронтовой экран блок Задний экран блок Боковой экран блок	 шт шт	 4 4
Общая строительная поверхность нагрева	м	3800
Диаметр экранных труб	мм	60х5,5
Кол-во подъемных труб фронтового и заднего экранов в каждом	шт	148(37х4)
Кол-во подъемных труб боковых экранов в каждом	шт	99
Кол-во водоподводящих труб фронтового и заднего экранов в каждом	шт	12
Кол-во водоподводящих труб фронтового и заднего экранов в каждом	шт	10
Диаметр водоподводящих труб	шт	133х10
Кол-во пароотводящих труб фронтового экранов	шт	16
Кол-во пароотводящих труб боковых экранов	шт	12х2
Кол-во пароотводящих труб заднего экранов	шт	23
Диаметр пароотводящих труб	мм	133х10

Характеристика перемещений нижних камер экранов представлена в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Перемещение нижних камер экранов

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Камеры фронтового и заднего экранов: -вниз -в сторону	 мм мм	 87 по 18
Камеры крайние боковых экранов: -вниз -в сторону	 мм мм	 83 по 12
Камеры средние боковых экранов: -вниз	 мм	 87
Тепловое расширение барабана -в боковую строну -на фронт	 мм мм	 20 8

Характеристика пароперегревателя представлена в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Характеристика пароперегревателя

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Потолочная часть		
Кол-во входных камер	шт	4
Диаметр камер	мм	219х25
Диаметр змеевиков	мм	32х4
Марка стали камер	ст	20
Марка стали змеевиков	ст	20
Общая поверхность нагрева	м	290
Холодный пакет		
Кол-во змеевиков сдвоенных	шт	118х2
Диаметр змеевиков	мм	34х4
Марка стали змеевиков	ст	20
Поверхность нагрева	м	88
Ширмовый пароперегреватель		
Количество ширм	шт	4х2
Кол-во змеевиков в каждой ширме	шт	20
Диаметр змеевиков	мм	32х4
Марка стали змеевиков	ст	12Х1МФ
Кол-во выходных камер	шт	2

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3
Диаметр камер	мм	273х35
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Перепускные камеры ширм с впрыскивающими устройствами ступени	шт	2
Диаметр камер	мм	273х20
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Кол-во входных камер	шт	2
Диаметр камер	мм	273х35
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Количество ширм	ши	8
Кол-во змеевиков	шт	160
Диаметр змеевиков	мм	32х4
Марка стали змеевиков	ст	12Х1МФ
Кол-во выходных камер	шт	2
Диаметр камер	мм	273х20
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Поверхность нагрева ширм	м	352

Характеристика горячего пакета III ступени представлена в таблице 3.9

Таблица 3.9 - Горячий пакет III ступень крайние пакеты

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Крайний пакет		
Кол-во входных пакетов	шт	2
Диаметр камер	мм	273х20
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Количество пакетов змеевиков	шт	62
Кол-во змеевиков	шт	3
Диаметр змеевиков	мм	32х4
Марка стали змеевиков	ст	12Х1МФ
Перепускные камеры горячего пакета с впрыскивающими устройствами II ступени	шт	2
Диаметр камер	мм	273х35
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Средний пакет		
Кол-во входных камер	шт	2
Диаметр камер	мм	273х35

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3
Марка стали камер	ст	12Х1МФ
Количество пакетов змеевиков	шт	56
Кол-во змеевиков	шт	3
Диаметр змеевиков	мм	32х5
Марка стали змеевиков	ст	12Х1МФ
Кол-во выходных камер	шт	2

Основные характеристики установки для получения собственного конденсата представлены в таблице 3.10

Таблица 3.10- Установка для получения собственного конденсата

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Конденсатор	шт	2
Диаметр камеры	мм	426х35
Длина камеры	мм	4690
Материал	ст	20
Поверхность охлаждения заднего конденсатора	м	15
Кол-во змеевиков одного конденсатора	шт	26
Диаметр змеевиков	мм	25х3
Материал змеевиков	ст	20
Производительность одного конденсатора	т/час	До 15
Кол-во труб, соединяющих конденсатор с паровым пространством барабана	шт	10
Кол-во труб, отводящих конденсат к сборному коллектору	шт	10
Диаметр труб	мм	60х6
Материал труб	ст	20
Кол-во труб, от сборных коллекторов к раздающей камере	шт	2
Диаметр труб	мм	75х7,5
Материал труб	ст	20
Раздающая камера	шт	1
Диаметр камеры	мм	219х25
Длина камеры	мм	512
Материал	ст	20

Продолжение таблицы 3.10

1	2	3
Кол-во линий к пароохладителю I ступени	шт	2
Диаметр линий	мм	60х7,5
Материал	ст	12Х1МФ
Кол-во линий к пароохладителю II ступени	шт	2
Диаметр линий	мм	38х4,5
Материал	ст	12Х1МФ

Характеристика впрыскивающего регулятора перегрева представлена в таблице 3.11

Таблица 3.11 – Впрыскивающие регуляторы перегрева, I и II ступень

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Диаметр камеры впрыска (I)	мм	273х35
Длина камеры	мм	7399
Материал	ст	12ХМФ
Кол-во отверстий в форсунке	шт	19
Кол-во форсунок в эжекторе	шт	3
Диаметр отверстий	мм	2
Температура пара на входе ширмы	°С	401
Температура пара на выходе ширмы	°С	487
Кол-во впрыскиваемого конденсата	Кг/час	7000
Диаметр камеры впрыска (II)	мм	273х35
Длина камеры	мм	8550
Материал	ст	12ХМФ
Кол-во отверстий в распылительном сопле	шт	9
Диаметр отверстий	мм	3
Температура пара до впрыска	°С	534
Температура пара после впрыска	°С	525
Кол-во впрыскиваемого конденсата	т/час	2,7(6)

Характеристика водяного экономайзера, верхнего и нижнего блоков представлена в таблице 3.12

Таблица 3.12 – Водяной экономайзер, верхний и нижний блоки

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Поверхность нагрева	м	1140
Диаметр труб	мм	32х4
Материал труб	ст	20
Количество змеевиков	шт	119х2
Количество рядов по ходу газа	шт	20
Шаг труб по глубине газохода	мм	55
Шаг труб по ширине газохода	мм	75
Сечение для прохода газа	м	24,8
Количество камер, верхний блок	шт	4
Диаметр камер	мм	219х25
Длина камер	мм	5200
Материал	ст	20
Поверхность нагрева	м	1404
Диаметр труб	мм	32х4
Материал труб	ст	20
Количество змеевиков	шт	86х4
Количество рядов по ходу газа	шт	32
Шаг труб по ширине газохода	мм	37
Шаг труб по глубине газохода	мм	46/75
Сечение для прохода газа	м	18,88
Количество камер, нижний блок	шт	8
Диаметр камер	мм	219х35
Длина камер верхних	мм	1980
Длина камер нижних	мм	1775
Материал	ст	20

Характеристики воздухоподогревателя представлены в таблице 3.13

Таблица 3.13 – Воздухоподогреватель

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Поверхность нагрева	м	13012
Диаметр труб	мм	40/37
Материал труб	ст	3
Общее число кубов	шт	32
Число кубов по ходу газа	шт	4
Число ходов воздуха	шт	7
Шаг труб по ширине газохода	мм	45

Продолжение таблицы 3.13

1	2	3
Шаг труб по глубине газохода	мм	70
Сечение для прохода воздуха	м	14,1
Сечение для прохода воздуха	м	10
Число рядов по ходу воздуха	шт	34

Характеристики мельницы представлены в таблице 3.14

Таблица 3.14– Мельницы

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Тип	-	ММТ-1300/2564
Диаметр ротора	мм	1300
Длина ротора	мм	2564
Число оборотов	Об/мин	735
Окружная скорость бил	м/сек	50
Количество бил	шт	81
Материал бил	ст	3
Вес одного била	кг	7
Производительность	т/ч	12-15
Температура аэросмеси	°С	80-90
Температура воздуха поступающего в мельницу	°С	250
Активное сечение ротора	м	3,34
Тип подшипников	-	Роликовые, двухрядные N 13630
Тип смазки	-	Густая
Тип электродвигателя	-	А3-12-52-8А
Мощность	кВт	320
Номинальная сила тока	ампер	39
Напряжение	вольт	6000
Число оборотов	Об/мин	740
Тип подшипников	-	качения

Дымосос — тягодутьевая машина, которая служит для удаления дымовых газов — продуктов сгорания топлива. Предназначен для применения в теплоэнергетике или для противопожарных мероприятий. Устаревшее название — эксгаустер.

Характеристика дымососов котла ст.№5 представлена в таблице 3.15

Таблица 3.15 – Дымососы

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Тип	-	Д20х2 с 2х сторонним всасом
Производительность	м	195000
Напор	мм.в.ст	258
Температура рабочей среды	°С	200
Число оборотов	Об/мин	580
Диаметр рабочего колеса	мм	2025
Количество лопаток	шт	32х2
Ширина лопаток	мм	336/500
Длина лопаток	мм	478
КПД	%	70
Максимально допустимая температура уход.газов	°С	200
Направляющий аппарат	-	шиберного тип 4-х створчатый по четыре шибера в каждом кармане
Тип подшипников	-	качения
Тип смазки	-	густая
Тип электродвигателя	-	АЗ-13- 42-10А

Характеристика дутьевых вентиляторов представлена в таблице 3.16

Таблица 3.16 – Дутьевые вентиляторы

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Количество	шт	2
Тип	-	ВДН-18-П
Производительность	м	130000/170000
Полный напор	мм.в.ст	230/390
Температура рабочей среды	°С	30
Число оборотов	Об/мин	750/1000
Диаметр рабочего колеса	мм	1800
Количество лопаток	шт	10
Ширина лопаток	мм	300-450
Длина лопаток	мм	350
Направляющий аппарат	-	радиального типа, 1400мм 8

Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
Диаметр направляющих аппаратов	мм	1490
Тип подшипников	-	Роликовые 2х рядные
Тип смазки	-	Густая
КПД	%	72
Тип электродвигателя	-	ДАЗО-14-49-6-8
Мощность	кВт	400/175
Номинальная сила тока	ампер	49,5/26
Напряжение	вольт	6000
Число оборотов	Об/мин	992/745
Тип подшипников	-	Качения

Характеристика питателей сырого угля представлена в таблице 3.17

Таблица 3.17 – Питатели сырого угля

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Тип	-	СПУ 700/9800
Ширина короба	мм	700
Расстояние между осями валов	мм	9800
Ширина скребков	мм	548
Высота слоя	мм	70,0-150
Производительность: max min	 т/час т/час	 33,5 5-6
Скорость движения цепи	м/сек	0,52
Привод регулирующего слой ножа	-	Винтовой
Тип подшипников	-	Шариковые
Тип электродвигателя	-	П-91 П-91(А,В)
Мощность	кВт	3,4
Число оборотов	Об/мин	500-1500
Номинальный ток	ампер	18/23
Род тока	-	Постоянный
Напряжение	вольт	220
Мощность	кВт	3,4

Характеристики мокрых золоуловителей (скрубберов) с трубами «вентури» представлена в таблице 3.18

Таблица 3.18 – Мокрые золоуловители (скруббера) с трубами «вентури»

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Количество золоуловителей	шт	4
Тип	-	МВ-УОРГРЭС dy 2500
Производительность	м	96,1
Температура газов до ЗУ	°С	132
Температура газов после ЗУ	°С	65
Общее сопротивление	мм.в.ст	130
Скорость газов на входе в конфузор труб "Вентури"	м/сек	20
Скорость газов в горловине труб "Вентури"	м/сек	74
Скорость газов на выходе из диффузора	м/сек	20
Скорость газов в цилиндре	м/сек	5,15
Сопротивление цилиндра	мм.в.ст	55-60
Температура оросительной воды на входе	°С	26
Температура золовой пульпы	°С	48
Давление воды перед соплами орошения цилиндрической части	атм	0,15-0,2
Расход воды на орошение цилиндра	м	4
Давление воды перед форсунками труб Вентури: при работе на угле при работе на газе	 атм атм	 3-4 1
Расход воды на трубу Вентури	м	8
Давление воды перед соплами	атм	3-3,5
Расход воды на гидрозатвор	м	2,5
Общий расход воды на золоуловитель	м	14,5
Допустимая норма присосов	%	5
КПД золоуловителя	%	95-96
Наружный диаметр ЗУ	мм	2600
Внутрений диаметр ЗУ	мм	2500
Общая высота ЗУ с гидрозатвором	мм	8600
Диаметр входа в конфузор	мм	1240
Диаметр горловины	мм	650
Диаметр выхода из диффузора	мм	1240

Продолжение таблицы 3.18

1	2	3
Диаметр выхода из диффузора	мм	1240
Длина конфузора	мм	510
Длина горловины	мм	200
Длина диффузора	мм	2900
Площадь живого сечения цилиндра	м	4,9
Кол-во сопел для создания пленки в корпусе цилиндра ЗУ	шт	20
Диаметр сопел цилиндра	мм	6
Кол-во побудительных сопел гидрозатвора	шт	1
Диаметр сопел гидрозатвора	шт	4
Кол-во форсунок для орошения труб Вентури	шт	1
Диаметр форсунки труб "Вентури"	шт	16

Характеристики шнекового транспортера удаления шлака представлены в таблице 3.19

Таблица 3.19-Транспортер шнековый для удаления шлака

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Количество	шт	2
Производительность	Кг/сек	1,2
Диаметр шнека	мм	560
Число витков	шт	10
Шаг витка (S)	мм	500
Частота вращения	Об/мин	0,675 5С-1
Редуктор	-	КЦ-2-500-120-42Ц-УЗ
Тип Электродвигателя	-	4А-1222М-8УЗ
Мощность	кВт/час	5,5

В одновалковых дробилках (с зубчатыми валками) куски материала поступают в пространство между валком и неподвижной дробящей плитой спи измельчаются раздавливанием, раскалыванием и, частично, истиранием

Характеристика одновалковой дробилки представлена в таблице 3.20

Таблица 3.20- Дробилка одновалковая

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Редуктор	-	Ц-2У-25-40-12-УЗ
Тип Электродвигателя	-	А-138-54-УЗ
Мощность	кВт/час	7,5
Частота вращения	Об/мин	23,991 5С-10

Характеристика обдувочных аппаратов представлена в таблице 3.21

Таблица 3.21- Обдувочные аппараты

Наименование	Еденицы зим.	Котел №5
1	2	3
Тип	-	ОПР-5
Условное давление	Кгс/см	64
Радиус действия	м	3,5-2,5
Ход сопловой головки	мм	350
Скорость вращения сопловой головки	Об/мин	40
Скорость движения сопловой головки	м/мин	1,05
Количество сопел	шт	2
Диаметр сопел	мм	20
Расход пара	т/час	6
Условный проход	мм	50
Тип электродвигателя	-	АОЛ-31-4
Мощность	кВт/час	0,6
Напряжение	Вольт	220/380
Число оборотов	ампер	1410

Для Сарыкольского месторождения характерны относительная выдержанность горизонтов и сложное их строение на всей площади. Промышленную ценность имеют два пласта горизонта II (II-III_2 и II-III_4) шоптыкольской свиты и четыре пласта I (нижнего) горизонта талдыкольской свиты (I-$т_1$; I-$т_2$; I-$т_3$; I-$т_4$) мощностью 3-6 метров каждый. Разведанные запасы угля оцениваются -393 млн.т. Угольные горизонты на Сарыкольском месторождении сложены преимущественно полуматовым и полублестящим углем с преобладаем первого (61,5-94-0%).

Минеральные вещества в угле преимущественно глинистые, они либо равномерно распределены в угольном веществе, либо представляют собой послойные включения. Кроме глинистых веществ отмечены кварц, кальцит, полевой шпат и пирит.

Петрографический состав представлен преимущественно микрокомпонентами группы витринита:Vt=64-88%; Sv=7-15%; I=7-20%; L=1-4%. Уголь относится к бурому третьей группы, витринитовому (3БВ), характеристика в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Характеристика Сарыкольского угля

Показатель	Диапазон	Средние значения
Рабочая влажность W_t^r,%	20.8-26,9	23,6
Гигроскопическая влажность $W^{тм}$,%	6,1-10,2	8,1
Выход летучих веществ V^{dal}, %	36,1-45,6	39,6
Содержание серы S_t^d, %	0,4-1,0	1
Содержание карбонатов $(C0_2)^d_M$, %	0,2-0,7	0,4
Теплота сгорания низшая $Q^p_н$, ккал/кг	3470	
Элементный состав на сухую беззольную массу, %		
Углерод C	72,2-79,1	74,6
Водород H^{dat}	4,6-5,2	5,0
Сера S^{dar}	0,5-1,4	1,0
Азот N^{dal}	0,9-1,2	1,0
Кислород O^{dat}	14,4-20,8	18,4
Теплота сгорания летучих $Q_{лет}$, ккал/кг	4540	4520
Химический состав минеральной части (на бессульфатную массу), %		
$Si0_2$	43,7-62,4	61,0
$A1_20з$	18,7-24,5	22,1
тю2	0,6-1,6	1,0
Fe_20_3	2,6-8,6	5,8
CaO	0,2-8,3	2,9
MgO	0,9-5,2	2,8
K_20	2,0-3,7	3,3
Na_20	0,5-2,9	1,1

3.2 Реконструкция системы сжигания котла

3.2.1 Характеристика горелочных устройств и воздушных сопел

Устройство горелок:

Котельный агрегат ст.№5 ЧТЭЦ-2 предлагается оборудовать восемью пылегазовыми горелками, расположенных в два яруса на фронтальной стороне котла. Подвод воздуха осуществлять тангенциальным, при помощи улитки. Газ подводится через кольцевое отверстие в цилиндрической части горелки.

Для обеспечения лучшего смешения труба пылевоздушной смеси горелки смещена относительно оси улитки на нижнем ярусе горелок на 40 мм вверх, на верхнем ярусе на 40 мм вниз. Данная конструкция приводит к перераспределению воздушного потока с целью обеспечения ступенчатого сжигания топлива в топке котла [38].

Характеристика пылеугольной горелки котельного агрегата БКЗ-210-140Ф Челябиснкой ТЭЦ-2 представлена в таблице 3.23

Таблица 3.23 – Характеристики пылеугольной горелки

Характеристика	Значение	Единица измерения
1	2	3
Тпеловая мощность	16,8	Гкал/час
Низшая теплота сгорания	8008	ккал/м^3
Расход газа	2100	нм^3/ч
Расход воздуха	21000	н$м^3$/ч
Коэффициент избытка воздуха	0,65-1,08	–
Номинальное давление воздуха перед горелкой	140	кгс/с$м^2$
Давление аэросмеси перед горелкой	до 80	кгс/с$м^2$
Температура пылевоздушного потока	до 120	℃
Температура воздушных потоков в горелке	до 280	℃

3.2.2 Расчет горелки

Температура аэросмеси t_{ac}=102 ^{0}C.

Расход Сарыкольского угля на котел по результатам поверочного теплового расчета B_y = 9,07 т/ч.

Соответственно расход угля на мельницу и горелку (4 мельницы, 8 горелок): $B_м$ = 2,26 т/ч,

Расход первичного воздуха на мельницу в метрах кубических (приведенный к нормальным условиям): $Q_{пв}$ = 13000 м^3 определяем по формуле 3.1

$$Q_m = \frac{273+t_{ac}}{273} \quad (3.1)$$

$$Q_m = 2{,}024 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход первичного воздуха на горелку при физических условиях рассчитываем по формуле 3.2

$$Q_г = Q_m/(2 \cdot 3600) \quad (3.2)$$

$$Q_г = 2{,}811 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Влажность угля на рабочую массу W^P = 23,6 %.

Расход водяных паров на горелку (3.3):

$$Q_{гвп} = \frac{(W^p - W_u)\cdot(273+t_{ac})\cdot 2150}{(100-W_г)\cdot 0{,}804\cdot 273\cdot 3600} \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{гвп}} = 0{,}205 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход на горелку первичного воздуха и водяных паров при физических условиях (3.4):

$$Q = Q_{\text{гвп}} + Q_{\text{г}} \quad (3.4)$$

$$Q = 3{,}072 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Проходное сечение для аэросмеси, если ее скорость предварительно принять равной 17 м^3/ч (3.5):

$$F = \frac{Q}{17} \quad (3.5)$$

$$F = 0{,}171 \text{ м}^2$$

$$d = \sqrt{(0{,}542^2 - 4 \cdot \frac{0{,}178}{3{,}14})} = 0{,}268 \text{ мм}$$

Принимается стандартная труба 273х7 мм.

Скорость аэросмеси (3.6):

$$V = Q \cdot \frac{4}{3{,}14\cdot(0{,}542^2 - 0{,}273^2)} \quad (3.6)$$

$$V = 16{,}375 \text{ м/с}$$

Периметр наружной поверхности трубы:

$$3{,}14 \cdot 0{,}273 = 0{,}857 \text{ м} = 857{,}1 \text{ мм}.$$

По наружному периметру трубы устанавливается 16 лопаток из листовой стали толщиной 6 мм с шагом:

$$857{,}3/16 = 53{,}572 \text{ мм}$$

Диаметр круга, равновеликого сечению кольцевого канала:

$$D_{\text{ре}} = \sqrt{0{,}528^2 - 0{,}273^2}$$

$$D_{\text{ре}} = 0{,}451$$

Задаем параметр крутки аксиального лопаточного завихрителя равным 2 и находим угол отклонения лопаток от оси горелок (3.7):

$$\tan\beta = 2 \cdot D_{ре} / \sqrt{2 \cdot 0{,}542^2 - 0{,}273^2} \qquad (3.7)$$

$$\tan\beta = 1{,}260$$

Диаметр круга, равновеликого сечению кольц. канала для вторичного воздуха:

$$D_{\text{рву}} = \sqrt{0{,}85^2 - 0{,}542^2}$$

$$D_{\text{рву}} = 0{,}654 \text{ м}$$

$$\text{ln} = 0{,}98 \text{ м}$$

$$\text{bn} = 0{,}35 \text{ м}$$

$$\text{A} = 0{,}585 \text{ м}.$$

Проверяем параметр крутки улиточного завихрителя вторичного воздуха (3.8):

$$n = 3{,}14 \cdot A \cdot \left(\frac{D_{\text{рву}}}{ln \cdot bn}\right) \qquad (3.8)$$

$$n = 3{,}14 \cdot 0{,}585 \cdot \left(\frac{0{,}654}{0{,}98 \cdot 0{,}35}\right) = 3{,}502$$

Расход вторичного воздуха через горелку при нормальных условиях:

$$\frac{8{,}03 \cdot 1{,}15}{3600} \cdot 2150 - \frac{13000}{2 \cdot 3600} = 4{,}01 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход вторичного воздуха через горелку при физических условиях:

$$4{,}01 \cdot \frac{273 \cdot 318}{273} = 8{,}68 \text{ м}^3/\text{с}$$

Проходное сечение для вторичного воздуха на выходе из кольцевого канала:

$$F_{\text{в}} = \frac{3{,}14}{4} \cdot \sqrt{0{,}74^2 - 0{,}542^2} = 0{,}396 \text{ м}^2$$

Скорость вторичного воздуха:

$$V_{вв} = \frac{8,68}{0,936} = 23,97 \text{ м/с}$$

Отношение скоростей вторичного и первичного воздуха:
23,97 / 15,97 = 1,501, что близко к рекомендуемой величине.

3.3 Поверочный тепловой расчёт котельного агрегата БКЗ-210-140 Ф

Основная задача теплового расчета - сравнение эффективности работы котельного агрегата на Сарыкольском и проектном угле.

Исходные данные котельного агрегата:

1.Котёл БКЗ–210–140 Ф по ГОСТ Е 210/140Ф
2.Паропроизводительность $D_н$ = 210 т/ч
3.Давление в барабане $P_б$ = 14,0 МПа
4.Давление перегретого пара P п.п. = 13,2 МПа
5.Температура перегретого пара t п.п. = 550 °С
6.Температура питательной воды t п.в. = 230 °С
7.Топливо Сарыкольский уголь среднего качества:

$Q^р_н$ = 14,518 МДж/кг
$W^р$ = 18,5 %
$A^р$ = 19,5 %
$C^р$ = 21 %
$S^р$ = 1 %
$H^р$ = 5 %
$N^р$ = 1 %
$O^р$ = 18,4 %
$V^г$ = 39,6 %

Выбор коэффициента избытка воздуха на входе в топку αт и присосы воздуха по газоходам Δα и нахождение коэффициента избытка воздуха в газоходах α" (таблица 3.24).

Таблица 3.24 – Присосы воздуха по газоходам Δα и расчётные коэффициенты избытка воздуха α``

Участок газового тракта	Δα	α"
Топка	0,05	1,2
Пароперегреватель 2ст.	0,025	1,25
Пароперегреватель 3 и 4 ст.	0,025	1,275
Пароперегреватель1 ст.	0,03	1,3
Водяной экономайзер	0,15	1,315
Водяной экономайзер	0,15	1,33
Воздухоподогреватель	0,05	1,38

3.4.1 Расчёт объёмов воздуха и продуктов сгорания

Теоретический объём воздуха, необходимый для сжигания 1 кг топлива (3.9):

$$V_в^0 = 0{,}0889(Ср + 0{,}375\,Sр) + 0{,}265\,Hр - 0{,}0333 \cdot ОР \quad (3.9)$$

$$V_в^0 = 0{,}0889(21 + 0{,}375 \cdot 1) + 0{,}265 \cdot 5 - 0{,}0333 \cdot 18{,}4 = 2{,}612\ м3/кг$$

Объём трёхатомных газов (3.10):

$$V_{RO2} = 0{,}0186\,(Ср + 0{,}375\,Sр) \quad (3.10)$$

$$V_{RO2} = 0{,}0186\,(21 + 0{,}375 \cdot 1) = 0{,}398\ м3/к$$

Теоретический объём азота (3.11):

$$V_{N2}^0 = 0{,}79\,Vов + 0{,}008\,Nр \quad (3.11)$$

$$V_{N2}^0 = 0{,}79 \cdot 2{,}612 + 0{,}008 \cdot 1 = 0{,}214\ м3/кг$$

Объём водяных паров (3.12):

$$V_{H2O}^0 = 0{,}111\,Нр + 0{,}0124\,Wр + 0{,}0161\,Vов \quad (3.12)$$

$$V_{H2O}^0 = 0{,}111 \cdot 5 + 0{,}0124 \cdot 18{,}5 + 0{,}0161 \cdot 2{,}612 = 0{,}887\ м3/кг$$

3.4.2 Характеристики и энтальпии продуктов сгорания и воздуха

Рассчитываем объёмы газов по газоходам, объёмные доли газов r, концентрацию золы в газах μ и полученные результаты в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Характеристика продуктов сгорания по газоходам

Величина	Размерность	Газоходы					
		Топочная камера	П/П 2ст	П/П 3 и 4 ст	П/П 1ст	ВЭ	ВП
1	2	3	4	5	6	7	8
Расчётный коэффициент избытка воздуха в газоходе	-	1,2	1,25	1,275	1,3	1,33	1,38

Продолжение таблицы 3.25

1	2	3	4	5	6	7	8
V_{RO2}	$м^3/кг$	0,3988	0,399	0,399	0,399	0,399	0,399
$V_{R2}=V^0_{N2}+(\alpha - 1)V^0$	$м^3/кг$	0,7368	0,868	0,933	0,998	1,077	1,207
$V_{H2O}=V^0_{H2O}+0.0161(\alpha - 1)V^0$	$м^3/кг$	0,8957	0,898	0,899	0,900	0,901	0,903
$V_Г= V_{RO2}+ V_{R2}+ V_{H2O}$	-	2,0315	2,164	2,231	2,297	2,377	2,509
$r_{R2O}=V_{R2O}/V_Г$	-	0,196	0,184	0,179	0,174	0,168	0,159
$r_{H2O}=V_{H2O}/V_Г$	-	0,440	0,415	0,403	0,392	0,379	0,360
$r_n= r_{R2O}+ r_{H2O}$	-	0,637	0,599	0,582	0,565	0,547	0,519
Расчётный коэффициент избытка воздуха в газоходе	-	1,2	1,25	1,275	1,3	1,33	1,38

Используя данные таблицы 3.25 определяем удельные энтальпии теоретического объёма воздуха и продуктов сгорания топлива. Результаты сводим в таблицу 3.26.

Таблица 3.26 – Энтальпия теоретического объёма воздуха и продуктов сгорания, кДж/кг

$\upsilon, {}^0C$	$I^0_B=V^0(ct)_B$	$I_{R2O}= V_{R2O}(c\upsilon)_{R2O}$	$I^0_{N2}= V^0_{N2}(c\upsilon)_{N2}$	$I^0_{H2O}= V^0_{H2O}(c\upsilon)_{H2O}$	$I^0_г= I_{R2O}+ + I^0_{N2}+ I^0_{H2O}$
1	2	3	4	5	6
30	101,9	-	-	-	-
100	344,9	67,4	27,9	134,0	229,3
200	694,9	142,4	55,7	269,8	467,9
300	1052,8	223,0	84,0	410,8	717,8
400	1416,0	307,9	113,0	555,5	976,4
500	1787,0	397,3	142,4	704,5	1244,2
600	2168,4	487,4	172,4	858,1	1517,8
700	2557,7	582,7	202,8	1017,8	1803,3
800	2952,1	679,7	234,3	1184,6	2098,6
900	3346,6	778,2	266,5	1352,3	2397,0
1000	3751,6	878,3	298,9	1530,7	2707,8
1100	4167,0	980,0	331,2	1709,0	3020,2
1200	4582,4	1083,7	363,4	1890,9	3338,0
1400	5423,6	1292,3	430,7	2269,8	3992,8
1600	6277,9	1502,5	498,0	2662,9	4663,4

Продолжение таблицы 3.26

1	2	3	4	5	6
2000	8004,8	1931,7	635,4	3483,7	6050,8
2200	8879,9	2148,6	705,3	3903,4	6757,4

Энтальпия продуктов сгорания при $\alpha > 1$ (3.13):

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^{0} + (a - 1) \cdot I_{B}^{0} \quad (3.13)$$

Так как приведённое значение уноса золы из топочной камеры (3.14):

$$\frac{a_{YH} \cdot A^{P}}{Q_{H}^{P}} \cdot 10^{3} \quad (3.14)$$

$$\frac{0,95 \cdot 19,5}{14,518} \cdot 10^{3} = 0,27 < 1,5$$

При расчёте I_{Γ}^{0} не учитываем энтальпию золы.
Полученные результаты вычислений сводим в таблицу 3.27

Таблица 3.27 – Энтальпия продуктов сгорания в газоходах

v, ℃	I_B^0	I_Γ^0	Участки газового тракта											
			Топочная камера (α=1,2)		Перегреватель IIст. ($\alpha_т$=1,25)		Перегреватель III, IVст. ($\alpha_т$=1,275)		Перег-реватель Iст. ($\alpha_т$=1,3)		Водяной эконо-майзер ($\alpha_т$=1,33)		Воздухо-подогре-ватель ($\alpha_т$=1,38)	
			I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
100	1047	236											634	
200	2111	498									1194		1300	666
300	3198	779							1739		1835	640	1994	695
400	4301	1076					2259		2366	628	2495	661	2710	716
500	5428	1388			2745		2881	622	3017	650	3180	684	3451	740
600	6586	1703			3350	605	3515	634	3679	663	3877	697		
700	7768	2037	3590		3979	629	4173	658	4367	688	4600	723		
800	8967	2375	4169	578	4617	638	4841	668	5065	698				
900	10165	2720	4753	584	5261	644	5515	674	5769	704				

Продолжение таблицы 3.27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				596		657		688						
1000	11395	3070	5349		5918		6203							
				608		671								
1100	12656	3425	5956		6589									
				615		678								
1200	13918	3787	6571		7267									
				1240										
1400	16473	4517	7811											
				1254										
1600	19068	5251	9065											
				1264										
1800	21655	5998	10329											
				1285										
2000	24313	6751	11614											
				1290										
2200	26971	7509	12904											

3.4.3 Тепловой расчет

Тепловой баланс в расчёте на 1 кг располагаемой теплоты топлива Q_P^P будет определятся по следующей формуле 3.15:

$$Q_P^P = Q_H^P + Q_{B.BH} + i_{\text{ТЛ}} \quad (3.15)$$

Из-за отсутствия предварительного нагрева воздуха и подаваемого топлива $Q_{B.BH} = 0$ и $i_{\text{ТЛ}} = 0$. Расчёты выполнены в соответствии с таблицей 3.28

Таблица 3.28 – Расчёт теплового баланса парогенератора и расход топлива

Величина			Единица	Расчёт
Наименование	Обохначе не	Расчётная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота топлива	Q_P^P	$Q_H^P + Q_{B.BH} + i_{\text{ТЛ}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	20,585
Потеря теплоты от хим. неполноты сгорания топлива	q_3	По таблица 4-3[1]	%	0,5
Потеря теплоты от механического недожога	q_4	По таблица 4-3[1]	%	0,5
Температура уходящих газов	$v_{ух}$	задаемся	℃	140
Энтальпия уходящих газов	$I_{ух}$	По Iv- таблице	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1264,2

Продолжение таблицы 3.28

1	2	3	4	5
Температура воздуха в котельной	$t_{X.B}$	По выбору	℃	45
Энтальпия воздуха в котельной	$I_{X.B}$	По Iv - таблице	$\frac{кДж}{кг}$	254
Потеря теплоты с уходящими газами	q_2	$\frac{(I_{УХ}-\alpha_{УХ}I_{ХВ})(100-q_4)}{Q_P^P}$	%	4,42
Потеря теплоты от наружного охлаждения	q_5	по рис. 3-1[1]	%	0,5
Потеря теплоты шлаком	q_6	[1]	%	0,135
Сумма тепловых потерь	Σq	$q_2+q_3+q_4+q_5+q_6$	%	6,05
КПД парогенератора	$\eta_{ПР}$	$100-\Sigma q$	%	93,95
Коэффициент сохранения теплоты	φ	$1-\frac{q_5}{\eta_{ПР}+q_5}$	–	0,995
Паропроизводительность	D	По заданию	кг/с	58,3
Давление перегретого пара за котельным агрегатом	$P_{П.П.}$	По заданию	МПа	13,2
Температура перегретого пара	$t_{П.П.}$.	По заданию	℃	550
Температура питательной воды	$t_{П.В.}$	По заданию	℃	230
Удельная энтальпия перегретого пара	$i_{П.П.}$	По таблица VI-8[1]	$\frac{кДж}{кг}$	3466,54
Удельная энтальпия питательной воды	$i_{П.В.}$	По таблица 6-8[1]	$\frac{кДж}{кг}$	990,3
Значение продувки	p	По выбору	%	3
Расход воды на про-дувку в пароген.	$D_{пр}$	$\frac{p\cdot D}{100}$	кг/с	1,75
Теплота полезно-использованная в котельном агрегате	$Q_{ка}$	$D\cdot(i_{пп}-i_{пв})+D_{пр}\cdot(i_{КИП}-i_{пв})$	кВт	145486,71
Полный расход топлива	B	$\frac{Q_{ка}\cdot 100}{Q_P^P\cdot\eta_{ПР}}$	кг/с	7,52
Расчётный расход топочной камеры	B_p	$B\cdot\frac{100-q_4}{100}$	кг/с	7,49

3.4.4 Поверочный расчет теплообмена в топке

Расчет теплообмена в топке - это определение температуры продуктов сгорания ка выходе из топки при заданных ее конструкции и условиях работы или определение площадей тепловоспринимающих поверхностей нагрева.

Поверочный расчет теплообмена в топочной камере приведен в таблице 3.29

Таблица 3.29 – Поверочный расчет теплообмена в топке

Наименование	Обозначение	Формула	Единица	Расчёт
1	2	3	4	5
Суммарная площадь лучевоспр. поверхности	$H_{л}$	По имеющимся величинам	$м^2$	655
Коэф. тепловой эффективности луч. поверхности	$\Psi_{ср}$	$\frac{\zeta_{от} \cdot H_{л.лт}}{F_{ст}}$	–	0,43
Полная площадь стен топочной камеры	$F_{ст}$	По имеющимся величинам	$м^2$	683
Полная высота топочной камеры	$H_{т}$	По имеющимся величинам	м	15,3
Высота расположения горелок	$h_{л}$	По имеющимся величинам	м	4,3
Относительный уровень расположения горелок	$X_{т}$	$\frac{h_{г}}{H_{т}}$	–	0,281
Параметр, учит. характер распределения температуры в топке	M	$0{,}59 - 0{,}5 \cdot X_{т}$	–	0,4495
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топочной камеры	$a_{Т}$	Таблица 3.8	–	1,2
Присос воздуха в систему пылеприготовления	$\Delta a_{плу}$	По заданию	–	0,08
Температура горячего воздуха	$t_{гв}$	По заданию	℃	278
Энтальпия горячего воздуха	$I^{o}_{гв}$	Таблица 3.10	$\frac{кДж}{кг}$	2932,9
Температура холодного воздуха	$t_{хв}$	По выбору	℃	45
Энтальпия присосов воздуха	$I^{o}_{прс}$	Таблица 3.10	$\frac{кДж}{кг}$	309,47
Кол-во теплоты, вносимое в топку воздухом	$Q_{В}$	$I^{o}_{гв} \cdot (\alpha_{т} - \Delta\alpha_{т} - \Delta a_{плу}) + I^{o}_{прс} \cdot (\Delta\alpha_{плу} + \Delta\alpha_{т})$	$\frac{кДж}{кг}$	3178,43

Продолжение таблицы 3.29

1	2	3	4	5
Полезное тепловыделение в топочной камере	Q_T	$Q_P^P \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_B$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	23632
Адиабатическая температура горения	v_a	Таблица 3.11	°С	1675
Температура газов на выходе из топки	$v_T^{``}$	По выбору, таблица 5–3 [2]	°С	1000
Энтальпия газов на выходе из топочной камеры	$I_T^{``}$	Таблица 3.11	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	5349
Средняя суммарная тепло-емкость продук. сгорания	$V_{C_{CP}}$	$\frac{Q_T - I_T^{``}}{v_a - v_T^{``}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	27,08
Объемная доля: Водяных паров Трехатомных газов	 r_{H_2O} r_{RO_2}	 Таблица 3.9 Таблица 3.9	 – –	 0,138 0,098
Суммарная объемная доля трехатомных газов	r_n	Таблица 3.9	–	0,333
Произведение	pr_ns	$p \cdot r_n \cdot s$	м · Мпа	0,175
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами частицами кокса золовыми частицами	k_r $k_{\text{кокс}}$ $k_{\text{зл}}$	Рис. 5–5 [2] Стр. 31 [2]	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{Мпа}}$	4,2 11 0,063
Безразмерные параметры	χ_1 χ_2	Стр. 31 [2] Стр. 31 [2]	– –	0,5 0,1
Коэффициент ослабления лучей топочной средой	k	$k_r \cdot r_n + k_{\text{зл}} \cdot \mu_{\text{зл}} + k_{\text{кокс}} \cdot \chi_1 \cdot \chi_2$	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{Мпа}}$	1,95
Суммарная сила поглощения топочного объема	kps	$k \cdot p \cdot s$	–	1,02
Степень черноты факела	$\text{a}_\text{ф}$	$1 - e^{-kps}$	–	0,64
Степень черноты топочной камеры	$\text{a}_\text{т}$	$\frac{\text{a}_\text{ф}}{\text{a}_\text{ф} + (1 - \text{a}_\text{ф}) \cdot \Psi_{\text{ср}}}$	–	0,805

Продолжение таблицы 3.29

1	2	3	4	5
Тепловая нагрузка стен топочной камеры	q_F	$\frac{B_p \cdot Q_T}{F_{CT}}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$	205,1
Температура газов на выходе из топочной камеры	$v_T^{``}$	$\frac{T_a}{M \cdot (\frac{5{,}67 \cdot \Psi_{\text{ср}} \cdot F_{CT} \cdot a_{\text{т}} \cdot T}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot VC_{cp}}}$	°С	1032
Энтальпия газов на выходе из топочной камеры	$I''_{\text{т}}$	Таблица 3.11	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	5520
Общее тепловосприятие топочной камеры	$Q_T^{\text{Л}}$	$\varphi \cdot (Q_T - I_T^{``})$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	18021
Средняя тепловая нагрузка лучевосприятие. поверхности топочной камеры	$q_{\text{Л}}^{\text{ср}}$	$\frac{B_p \cdot Q_{\text{Т}}^{\text{Л}}}{H_{\text{Л}}}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	206
Коэффициент распределения тепловой нагрузки по высоте между стенами	η_B η_{CT}	По рис. 5.9 (1) По рис. 5.7 (1)	– –	1,2 1,0
Удельная тепловая нагрузка по высоте и стенам	$q_{\text{Л}}^{\text{ср}}$	$\eta_B \cdot \eta_{CT} \cdot q_{\text{Л}}^{\text{ср}}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$	247,2

В результате была получена температура, удовлетворяющая условиям , а именно не отличающаяся от раннее принятой на ∓ 100 ℃, то есть дальнейшего расчёта теплообмена не потребуется. Данная температура будет использована далее в связи с удовлетворения норм эксплуатации.

3.4.5 Расчет пароперегревателя

Расчет пароперегревателя представлен в таблице 3.30

Таблица 3.30 – Расчёт теплового баланса парогенератора и расход топлива

Величина			Расчет	Единица
Наименование	обозначение	Расчётная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Располагаемая теплота топлива	$Q^{\text{Р}}_{\text{Р}}$	$Q\text{РН} + Q\text{В.ВН} + i\text{ТЛ}$	14518	кДж/кг
Потеря теплоты от хим. неполноты сгорания топлива	q_3	По табл. 4-3[1]	0,5	%

Продолжение таблицы 3.30

1	2	3	4	5
потеря теплоты от механического недожога	q_4	По табл. 4-3[1]	0,5	%
Температура уходящих газов	$\upsilon_{УХ}$	задаемся	140	^{0}C
Энтальпия уходящих газов	$I_{ух}$	По Iυ- таблице	508,97	кДж/кг
Температура воздуха в котельной	$t_{Х.В.}$	По выбору	45	^{0}C
Энтальпия воздуха в котельной	$I_{Х.В.}$	По Iυ- таблице	254	кДж/кг
Потеря теплоты с уходящими газами	q_2	$\frac{(I_{УХ}-\alpha_{УХ}I_{ХВ})(100-q_4)}{Q_P^P}$	5,9	%
Потеря теплоты от наружного охлаждения	q_5	по рис. 3-1[1]	0,5	%
Потеря теплоты со шлаком	q_6	[1]	0,135	%
Сумма тепловых потерь	Σq	$q2+q3+q4+q5+q6$	7,435	%
КПД парогенератора	$\eta_{ПР}$	$100-\Sigma q$	92,75	%
Коэффициент сохранения теплоты	φ	$1-\frac{q_5}{\eta_{ПР}+q_5}$	0,995	-
Паропроизводительность агрегата	D	По заданию	58,3	кг/с
Давление перегретого пара за котельным агрегатом	$P_{п.п}$	По заданию	13,2	МПа
Температура перегретого пара	$t_{П.П.}$	По заданию	550	^{0}C
Температура питательной воды	$t_{ПВ}$	По заданию	230	^{0}C
Удельная энтальпия перегретого пара	$i_{ПП}$	По табл. VI-8[1]	3466,54	кДж/кг
Удельная энтальпия питательной воды	$i_{ПВ}$	По табл. 6-8[1]	990,3	кДж/кг
Значение продувки	p	По выбору	3	%
Удельная энтальпия воды при тем-ре кипения и давлении в барабане	$I_{кип.}$	По табл. VI-7[1]	1631,4	кДж/кг
Расход воды на продувку в пароген.	$D_{пр.}$	$p*D/100$	1,749	кг/с
Полезно используемая теплота в агрегате	$Q_{ка}$	$D(i\text{ПП}-i\text{ПВ})+$ $D\text{пр}\,(i\text{КИП}-i\text{ПВ})$	144376	кВт
Полный расход топлива	B	$\frac{Q_{ка}*100}{Q_P^P*\eta_{ПГ}}$	10,22	кг/с
Расчётный расход топки	B_P	$B\cdot\frac{100-q_4}{100}$	10,17	кг/с

3.4.6 Расчет водяного экономайзера

Расчет водяного экономайзера приведен в таблице 3.31

Таблица 3.31 - Поверочный расчет водяного экономайзера II ступени

Величина	Обозначение	Формула или способ определения	Единица	Расчет
1	2	3	4	5
Температура газов на входе	υ'	Из расчета Iст. пп	°С	616
Энтальпия газов на входе во II ст. эк.	I'	Из расчета Iст. пп	кДж/кг	5613,1
Температура газов на выходе из II ст. эк.	υ''	приняли	°С	400
Энтальпия газов на выходе изII ст. эк.	I''	Табл 4	кДж/кг	3612
Тепловосприятие ступени	$Q_г$	$\varphi(I' - I'' + \Delta\alpha \cdot I^0_{прс})$	кДж/кг	1726,2
Температура воды на входе в ступень	t'	задана	°С	230
Удельная энтальпия воды на входе в ступень	i'	Табл. VI–6[2]	кДж/кг	992,83
Расход продувочной воды	$D_{пр}$	$Dпр = (0{,}005 - 0{,}02)\ Dпе$	кг/с	0,75
Удельная энтальпия воды на выходе из ступени	i''	$i' + \frac{Q_б B_р}{D - \sum D_{вп} + D_{пр}}$	°С	1389,9
Температура воды на выходе из ступени	t''	Табл. VI–6[2]	кДж/кг	308
Средняя температура воды	$t_{ср}$	$0{,}5 \cdot (t'+t'')$	°С	269
Объем воды при средней температуре	$\upsilon_в$	Табл. VI–6[2]	$м^3$/кг	0,0013
Средняя скорость воды	$w_в$	$\frac{D \cdot \upsilon_в}{f}$	м/с	0,83
Средняя температура газов в ступени	$\upsilon_{ср}$	$0{,}5 \cdot (\upsilon' + \upsilon'')$	°С	508
Средняя скорость газов в ступени	$w_г$	$\frac{B_р \cdot V_г \cdot (273 + \upsilon_{ср})}{273 \cdot F}$	м/с	6,62
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_к$	αнк·Cz·Cs·Cф	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	71
Эффективная толщина излучающего слоя	s	$0{,}9\left(\frac{4S_1 \cdot S_2}{\pi \cdot d^2} - 1\right) \cdot d$	м	0,12

Продолжение таблицы 3.31

1	2	3	4	5
Суммарная поглощательная способность трехат. газов	$pr_n s$	$p \cdot rn \cdot s$	м·МПа	0,0031
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_г$	Рис. 5–5 [2]	1/ м·МПа	38
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зл}$	Рис. 5–6 [2]	1/ м·МПа	0,08
Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока	kps	$(kг \cdot rn + kзл \cdot \mu зл) \cdot p \cdot s$	–	0,14
Температура загрязненной стенки трубы	$t_{ст}$	tср $+ \Delta t$	°С	329
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_л$	Рис. 6–12 [2]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	13
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	$\xi(\alpha к + \alpha' л)$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	84
Коэффициент загрязнения	ε	$\varepsilon 0 \cdot Cd \cdot C$фр $+ \Delta\varepsilon$	$\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	0,0036
Коэффициент теплопередачи	k	$\frac{\alpha_1}{1+\varepsilon \cdot \alpha_1}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	61,5
Наибольшая разность температур	$\Delta t_б$	$\upsilon' - t''$	°С	308
Наименьшая разность температур	$\Delta t_м$	$\upsilon'' - t'$	°С	170
Температурный напор при противотоке	$\Delta t_{прт}$	$\frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln(\Delta t_б / \Delta t_м)}$	°С	232,2
Тепловосприятие фестона по уравнению теплопередачи	$Q_т$	$\frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}$	кДж/кг	1755,57
Расхождение расчетных тепловосприятий	ΔQ	$\frac{Q_т - Q_к}{Q_т} \cdot 100$	%	1,6

Погрешность не превышает 2%, расчёт точен.

3.3.7 Поверочный расчет воздухоподогревателя

Воздухоподогреватель - устройство, предназначенное для подогрева воздуха, направляемого в топку котельного агрегата, с целью повышения эффективности горения топлива за счёт тепла уходящих газов. Он помогает снизить температуру дымовых газов примерно на 120-160°С, а так же помогает поднять общее КПД котельной установки, что приводит к снижению стоимости одной Гкал тепла, производимой на ТЭЦ-2

Расчет воздухоподогревателя приведен в таблице 3.32.

Таблица 3.32-Поверочный расчет воздухоподогревателя

Величина	Обозначение	Формула или способ определения	Единица	Расчет
1	2	3	4	5
Температура газов на выходе из вп	υ''	υух	°С	140
Энтальпия газов на выходе из вп	I''	Табл. 1–4	кДж/кг	1264,2
Температура воздуха на входе в вп	t'	характеристика	°С	45
Удельная энтальпия воздуха на входе в ступень	$I^{0\prime}_{в}$	Табл. 1–3	кДж/кг	253,9
Температура воздуха на выходе из ступени	t''	задана	°С	318
Энтальпия воздуха на выходе из ступени	$I^{0\prime\prime}_{в}$	Табл. 1–3	кДж/кг	1846
Отношение	β''	$\alpha'' - \Delta\alpha$т $- \Delta\alpha$плу	–	1,25
Тепловосприятие ступени	Q	$(\beta'' + \Delta\alpha/2)\cdot(I^{0\prime\prime}_{в} - I^{0\prime}_{в})$	кДж/кг	2029,93
Коэффициент использования поверхности нагрева	$\xi_{вп}$	Табл.6–3[2]	–	0,7
Средняя температура воздуха	$t_{ср}$	$0{,}5\cdot(t' + t'')$	°С	181,5
Удельная энтальпия воздуха при средней температуре	$I^{0}_{прс}$	Табл. 1–3	кДж/кг	1040,1
Удельная энтальпия газов на входе в ступень	I'	$I'' + \frac{Q}{\varphi} - \Delta\alpha\cdot I^{0}_{прс}$	кДж/кг	3251,4
Температура газов на входе в ступень	υ'	Табл. 1–4	°С	351
Средняя температура газов	$\upsilon_{ср}$	$0{,}5\cdot(\upsilon' + \upsilon'')$	°С	245,5
Средняя скорость газов	$w_г$	$\frac{B_р\cdot V_г\cdot(273+\upsilon_{ср})}{273\cdot F_г}$	м/с	11,14
Коэффициент теплоотдачи с газовой стороны	α_1	αн1$\cdot C$l1$\cdot C$ф1	$\frac{Вт}{м^2\cdot К}$	82,38

Продолжение таблицы 3.32

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи с воздушной стороны	α_2	αн2·Cz2·Cs2·Cф2	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	58
Температура газов на выходе из вп	υ''	υух	°С	140
Энтальпия газов на выходе из вп	I''	Табл. 1–4	кДж/кг	1264,2
Температура газов на выходе из вп	υ''	υух	°С	140
Температура воздуха на входе в вп	t'	характеристика	°С	45
Энтальпия газов на выходе из вп	I''	Табл. 1–4	кДж/кг	1264,2
Температура воздуха на входе в вп	t'	характеристика	°С	45
Удельная энтальпия воздуха на входе в ступень	$I^{0\prime}_{в}$	Табл. 1–3	кДж/кг	253,9
Температура воздуха на входе в вп	t'	характеристика	°С	45
Энтальпия воздуха на выходе из ступени	$I^{0\prime\prime}_{в}$	Табл. 1–3	кДж/кг	1846
Коэффициент использования поверхности нагрева	$\xi_{вп}$	Табл.6–3[2]	–	0,7
Коэффициент теплопередачи	k	$\xi_{вп}\frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	23,82
Наибольшая разность температур	$\Delta t_б$	$\upsilon'' - t'$	°С	95
Наименьшая разность температур	$\Delta t_м$	$\upsilon' - t''$	°С	33
Температурный напор	Δt	$\frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln(\Delta t_б / \Delta t_м)}$	°С	58,63
Тепловосприятие фестона по уравнению	$Q_т$	$\frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}$	кДж/кг	2003,54
Расхождение расчетных тепловосприятий	ΔQ	$\frac{Q_т - Q_к}{Q_т} \cdot 100$	%	1,3

Погрешность не превышает 2%, расчёт точен

3.4.8 Расчет невязки теплового баланса парогенератора

Невязка теплового баланса приведена в таблице 3.33.

Таблица 3.33-Расчет невязки теплового баланса парогенератора

Величина	Обозначение	Формула или способ определения	Единица	Расчет после рекон.
1	2	3	4	5
КПД парогенератора	$\eta_{ПГ}$	$100 - q2 - q3 - q4 - q5$	%	92,75
Располагаемая теплота топлива	Q^{P}_{P}	Табл 5	кДж/кг	14518,3
Общее тепловосприятие топки	$Q_т$	Табл 6	кДж/кг	7295,2
Количество теплоты, отданное газами ширмовому п/п из межтрубного пространства	$Q_б^{ш}$	Табл 7	кДж/кг	1197,4
Тепловосприятие ступени по уровнению теплового баланса	$Q^{б}$	Табл 8	кДж/кг	697,3
Тепловосприятие ступени по уровнению теплового баланса	$Q^{б}$	Табл 9	кДж/кг	686,32
Тепловосприятие потолочного перегревателя	$Q_{пп}^{л}$	Табл 10	кДж/кг	272,9
Тепловосприятие ступени по уровнению теплового баланса	$Q^{б}$	Табл 11	кДж/кг	1158,5
Тепловосприятие ступени	$Q_г$	Табл 12	кДж/кг	1726,2

Расчётная относительная невязка не превышает 0,5%, расчет точен.

Вывод: Поверочный тепловой расчёт на Сарыкольксокм буром угле показывает, что после восстановления двухрядного расположения горелок и с восстановлением пылесистем котельная установка обеспечивает несение максимальной тепловой нагрузки котла. Снижаются потери тепла от химического, механическогонедожога и потери тепла с уходящими газами. Увеличивается КПД котла до 0,93%.

3.5 Расчёт вспомогательного оборудования

3.5.1 Расчет тяги

На котельном агрегате установлен дымосос Д-20х2, в связи с заменой топлива необходимо произвести расчёт вспомогательного оборудования.Результаты в таблице 3.34.

Таблица 3.34 – Сопротивление газового тракта от топки до выхода газов из воздухоподогревателя

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула	Величина
1	2	3	4	5
Вторая ступень пароперегревателя				
Сопротивление ширм	$\Delta h_{ш}$	кг/м^2	Принимаем	1,0
Отводящие трубы заднего экрана				
Сопротивление отводящих труб заднего экрана	$\Delta h_{тр}$	кг/м^2	Принимаем	0,3
Конвективный пароперегреватель горячая ступени пароперегревателя				
Коэффициент сопротивления пучка	$\xi_{п}$	–	$\xi \cdot C_s \cdot C_{re} \cdot Z_2$	2,26
Скорость газов	W	м/с	Из теплового расчёта	3,51
Температура	t	°С	Из теплового расчёта	850
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot ({}^{T_0}/_{T_H})$	0,33
Динамический напор	$Н_{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,825
Сопротивление третей и четвёртой ступени	$\Delta h_{гпп}$	–	$\xi_{П} \cdot Н_{Д}$	1,86
Холодная ступень пароперегревателя				
Коэффициент сопротивления пучка	$\xi_{п}$	–	$\xi \cdot C_s \cdot C_{re} \cdot Z_2$	3,1
Скорость газов	W	м/с	Из теплового расчёта	6,62
Температура	t	°С	Из теплового расчёта	623
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot ({}^{T_0}/_{T_H})$	0,415
Динамический напор	$Н_{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	1,23
Сопротивление холодной ступени	$\Delta h_{хпп}$	кг/м^2	$\xi_{П} \cdot Н_{Д}$	4,7
Поворот на 90^o за пароперегревателем				
Динамический напор	$Н_{д}$	кг/м^2	Принимаем	1,8
Сопротивление поворота на 90^o	Δh_{90}	кг/м^2	$\xi_{П} \cdot Н_{Д}$	1,8

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Общее сопротивление с поправкой на эксплуатационные условия	$\Delta h_{\text{пп}}$	кг/м^2	$(\Delta h_{\text{ш}} + \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{гпп}} + \Delta h_{\text{хпп}}) \cdot k + \Delta h_{90}$	11,2
Верхний пакет водяного экономайзера				
Скорость набегающего потока	W	м/с	Из теплового расчёта	5,67
Температура	t	℃	Из теплового расчёта	623
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot ({}^{T_0}/_{T_H})$	0,415
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,68
Сопротивление верхнего пакета экономайзера с поправкой на эксплуатационные условия	Δh_{IV}	кг/м^2	к $\cdot \Delta h_{\text{гр}} \cdot C_s \cdot C_d \cdot (Z_z + 1)$	9,7
Воздухоподогреватель сопротивление шестого и седьмого ходов воздухоподогревателя				
Отношение сечений	$\xi_{\text{вх}}$	–	$\frac{F_2}{F_1} = \frac{F_2}{F_3}$	0,31
Средняя скорость газов	W_{cp}	м/с	Из теплового расчёта	11,14
Коэффициент сопротивления входа и выхода	$\xi_{\text{п}}$	–	$1 \cdot \xi_{\text{вх}} + 1 \cdot \xi_{\text{вых}}$	0,80
Температура	t	℃	Из теплового расчёта	326
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,62
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,55
Сопротивление входа и выхода	Δh_1	–	$\xi_{\text{П}} \cdot \text{Н}_\text{Д}$	4,4
Сопротивление сил трения				
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	5,5
Сопротивление сил трения шестого и седьмого ходов воздухоподогревателя	Δh_2	кг/м^2	$\text{Н}_\text{Д} \cdot C_{\text{ш}} \cdot l$	18,7
Нижний пакет водяного экономайзера				
Скорость потока	W	м/с	Из теплового расчёта	7,15
Температура	t	℃	Из теплового расчёта	338
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,608
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,7

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Сопротивление нижнего пакета экономайзера с поправкой на эксплуатационные условия	Δh_V	кг/м^2	к $\cdot H_Д \cdot C_s \cdot C_d \cdot (Z_z + 1)$	17,5
Сопротивление 1 – 5 ходов воздухоподогревателя, сопротивление входа и выхода				
Отношение сечений	–	–	$\frac{F_2}{F_1} = \frac{F_2}{F_3}$	0,302
Средняя скорость газов	$W_{ср}$	м/с	Из теплового расчёта	11,14
Коэффициент сопротивления входа и выхода	$\xi_п$	–	$3 \cdot \xi_{вх} + 3 \cdot \xi_{вых}$	2,58
Температура	t	℃	Из теплового расчёта	186
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,808
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	5,01
Сопротивление входа и выхода	Δh_3	–	$\xi_П \cdot Н_Д$	13
Сопротивление трения 1 – 5 ходов воздухоподогревателя				
Сопротивление трения на один погонный метр трубы	$\Delta h_{гр}$	кг/м^{2}м	Принимаем	4,7
Сопротивление трения 5 ходов воздухоподогревателя	Δh_4	кг/м^2	$\Delta h_{гр} \cdot C_ш \cdot l$	31,5
Общее сопротивление всего воздухоподогревателя с поправкой на эксплуатационные условия	$\Delta h_{взп}$	–	$(\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4) \cdot 1{,}1$	66,4
Самотяга в опускном газоходе				
Средняя температура газов	t	℃	$(t_{пе} + t_{ух})/2$	325,5
Самотяга в опускном газоходе	$h_с$	кг/м^2	$h_c \cdot H$	15,64
Разрежение в конце топки	Δh_m	кг/м^2	Принимаем	2,0
Общее сопротивление собственно котла с поправкой на удельный вес	$\Delta h_к$	кг/м^2	$\Delta h_Т + \Delta h_c + \Delta h_{пп} + \Delta h_{э1} + \Delta h_{э2} + \Delta h_{взп}$	119,7
Сопротивление газового тракта за котлом, сопротивление газового тракта от выхода из воздухоподогревателя до золоуловителя				
Температура уходящих газов	$t_{ух}$	℃	–	140
Плотность газов	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,93

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Секундный объем газов за котлом	V_{cek}	м^3/с	$B_p \cdot V_r \cdot (273 + t_{yx}) \cdot 3{,}6 \cdot 273$	73,5
Резкий поворот на 90^0 с изменением сечения				
Сечение в начале поворота	F_1	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$	39,9
Сечение в конце поворота	F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$	11,9
Отношение сечений	F_1/F_2	–	F_1/F_2	0,299
Скорость в меньшем сечении	N_2	м/с	V_{cek}/F_2	6,2
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,48
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	2,13
Сопротивление поворота	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot Н_Д$	1,022
Резкий поворот на 35° с изменением сечения				
Сечение в начале поворота	F_1	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$	11,9
Сечение в конце поворота	F_2	м^2	$4 \cdot a_2 \cdot b_2$	7
Отношение сечений	F_1/F_2	–	F_2/F_1	0,588
Скорость в сечении	W_2	м/с	V_{cek}/F_2	10,5
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,173
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	5,72
Сопротивление поворота	Δh_2	кг/м^2	$\xi \cdot Н_Д$	1,04
Плавный поворот на 43°				
Сечение	F	м^2	$4 \cdot a \cdot b$	7,0
Скорость	W	м/с	V/F	10,5
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	5,72
Сопротивление поворота	Δh_3	кг/м^2	$\xi \cdot Н_Д$	2
Общее сопротивление тракта от котла до золоуловителя	Δh_{VIII}	кг/м^2	$\sum \Delta h_{1-3}$	4,062
Сопротивление мокрого золоуловителя типа МВ УООРГРЭС				
Сопротивление золоуловителя	Δh_8	кг/м^2		62
Сопротивление газового тракта от золоуловителя до дымососа				
Температура газов	t	℃	Из теплового расчёта	95

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Плотность газов	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	1,01
Секундный объем газов	$V_{сек}$	м^2/сек	$B_p \cdot V_г \cdot (273 + t)/273$	67,82
Плавный поворот на 90°				
Сечение	F	м^2	$4 \cdot a \cdot b$	7,2
Скорость газов в сечении	W	м/с	V/F	9,42
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,39
Динамический напор	Н$_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	4,48
Сопротивление поворота	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot$ Н$_Д$	1,75
Диффузор (l=2м)				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$4 \cdot a_1 \cdot b_1$ $4 \cdot a_2 \cdot b_2$	7,2 9,2
Отношение сечений	F_1/F_2	м/с		0,78
Скорость в меньшем сечении	W_1	м/с	V/F	9,42
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,03
Сопротивление диффузора	Δh_2	кг/м^2	$\frac{W^2 \cdot \xi}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,15
Плавный поворот на 45°				
Сечение поворота	F	м^2	$4 \cdot a \cdot b$	9,2
Скорость газов	W	м/с	V/F	7,87
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,29
Динамический напор	Н$_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	3,25
Сопротивление поворота	Δh_3	кг/м^2	$\xi \cdot$ Н$_Д$	0,94
Общее сопротивление тракта от золоуловителя до дымососа	Δh_{IX}	кг/м^2	$\sum \Delta h_{1-3}$	2,13
Сопротивление тракта от дымососа до дымовой трубы, диффузор за дымососом (l = 4 м)				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$4 \cdot a_1 \cdot b_1$ $4 \cdot a_2 \cdot b_2$	3,6 8,8
Скорость в меньшем сечении	W_1	м/с	$V_{сек}/F$	18,8
Динамический напор	Н$_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	17,5
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[ ]	0,18
Сопротивление диффузора	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot$ Н$_Д$	3,15

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Плавный поворот на 45° с изменением сечения				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$4 \cdot a_1 \cdot b_1$ $4 \cdot a_2 \cdot b_2$	8,8 11,7
Скорость газов в сечении F_1	W_1	м/с	V/F	7,63
Коэффициент сопротив-ления	ξ	–	[ ]	0,407
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	2,94
Сопротивление диффу-зора	Δh_2	кг/м^2	$\xi \cdot Н_Д$	1,2
2 резких поворота на 45°				
Сечение	F	м^2	$4 \cdot a \cdot b$	11,7
Скорость газов	W	м/с	V/F	5,8
Коэффициент сопротив-ления	ξ	–	$K \cdot \Delta\xi_0 \cdot BC$	0,35
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	2,02
Сопротивление поворо-тов	Δh_3	кг/м^2	$2 \cdot \xi \cdot Н_д$	1,69
Общее сопротивление тракта от дымососа до дымовой трубы	Δh	кг/м^2	$\sum \Delta h_{1-3} \mu$	6,04
Дымовая труба (железобетонная, одна на четыре котлов), сопротивление входа в дымовую трубу				
Сечение короба	F	м^2	$4 \cdot a \cdot b$	32
Скорость газов в коробе	W	м/с	$3 \cdot V/F$	6,36
Коэффициент сопротив-ления	ξ	–	«Нормы…» стр.70	0,9
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	2,04
Сопротивление входа	Δh_3	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	1,84
Сопротивление трения и выхода из трубы				
Высота дымовой трубы	H	м	$H - \Delta H$	144
Уклон трубы	i	–	$\frac{d_H - d_y}{2 \cdot H}$	0,0186
Общий расход газов	V_{cek}	м^3/с	$5 \cdot V_{cek}$	339,1
Скорость газов на выхо-де	$W_{вых}$	м/с	$V_{cek}/F_{вых}$	10,6
Сопротивление трения и выхода из дым. трубы	$\Delta h_г$	кг/м^2	$(\left(\frac{0{,}004}{i}\right) + 1{,}1) \cdot Н_д$	4,76

Продолжение таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Общее сопротивление дымовой трубы без учета самотяги	Δh_c	кг/м^2	$\Delta h_{1-2} \cdot \mu_y$	6,23
Общее сопротивление газового тракта котельной установки	Δh_k	кг/м^2	$\sum h_{I-XI} + \Delta h_{34}$	225
Выбор дымососа (два дымососа)				
Расчетная производительность дымососа с запасом 5%	$Q_{\text{расч}}$	м^3/час	$0{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot V_{cek} \cdot 3600 \cdot (760 / h_{\text{бар}})$	$168 \cdot 10^3$
Расчетное сопротивление с запасом 10%	$H_{\text{расч}}$	кг/м^2	$1{,}1 \cdot \Delta H_k$	247
Поправочный коэффициент	K_y	–	$\left(\frac{y_0^{\text{б}}}{y_0^{\text{г}}}\right) \cdot \left(\frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{хар}}}\right) \cdot \left(\frac{760}{H_{\text{бар}}}\right)$	0,802
Приведенный напор	$H_{\text{расч}}^{\text{пр}}$	кг/м^2	$K_y \cdot H_{\text{расч}}$	201
Тип дымососа	–	–	По каталогу Подольского завода	Д-20х2
Число оборотов	n	об/мин	–	580
Расчетный режим каждого дымососа				
Производительность	$Q_{\text{расч}}$	м^3/час	–	$168 \cdot 10^3$
Напор	$H_{\text{расч}}$	кг/м^2	–	247
КПД	η	%	–	65
Мощность на валу	N_B	кВт	$\frac{Q_P \cdot H_P}{(3670 \cdot \eta)}$	186
Мощность мотора	N_M	кВт	$1{,}15 \cdot N_B$	214
Запасы: по производительности по напору по мощности электродвигателя			 β = 1,05 β = 1,1 β = 1,15	

Вывод: согласно проведенных расчетов дымососы Д-20х2 соответствуют заданным параметрам, характеристика дымососов представлена в таблице 3.35.

Таблица 3.35 – Характеристика дымососа

Характеристика	Величина	Значение
1	2	3
Тип	Д-20х2	-
Производительность	196000	м/ч
Напор	258	мм в ст.
Диаметр рабочего колеса	2025	мм
Число оборотов	580	Об/мин
Количество лопаток	32х2	Шт.
Кол-во створок направляющего аппарата	4	Шт.

Продолжение таблицы 3.35

1	2	3
Кол-во шиберов в каждом кармане	4	Шт.
КПД	70	%
Максимальная температура уходящих газов	200	°С
Мощность электродвигателя	320	кВт
Номинальный ток	40,5	А

3.5.2 Расчет дутья

В таблице 3.26 приведет расчет всасывающей линии вентилятора.

Таблица 3.36– Всасывающая линия вентилятора

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула	Величины
1	2	3	4	5
Секундный объем воздуха, всасываемого вентилятором	$V_{сек}$	$м^3/с$	$\left(\frac{1}{3,6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	45
Температура холодного воздуха	$t_{хв}$	°С	–	30
Плотность холодного воздуха	ρ	$кг/м^3$	$1,293 \cdot (\frac{273 + t_{хв}}{273})$	1,165
Сопротивление входа в окно с сеткой				
Скорость входа	W	м/с	$\frac{V_{сек}}{2 \cdot F}$	8,01
Коэффициент сопротивления	ξ	–	Принимаем по [ ]	1,0
Сопротивление входа	Δh_1	$кг/м^2$	$\xi \cdot Н_д$	3,81
Поворот на 90° с закругленной кромкой				
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$K \cdot \Delta\xi_0 \cdot BC$	0,485
Сопротивление поворота	Δh_2	$кг/м^2$	$\xi \cdot Н_д$	1,85
Плавный поворот на 90°				
Сечение	F_1	$м^2$	$2 \cdot a \cdot b$	5,6
Скорость в сечении F	W	м/с	$V_{сек}/F$	8,03

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	0,3
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	3,83
Сопротивление поворота	Δh_3	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	1,15
Сопротивление трения				
Длина участка	l	м	Из чертежа	32
Эквивалентный диаметр	$d_{экв}$	м	$\frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$	1,47
Сечение	F	м^2	$2 \cdot a \cdot b$	5,6
Скорость	W	м/с	$V_{сек}/F$	8,03
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	3,83
Сопротивление трения	Δh_4	кг/м^2	$\lambda \cdot \frac{l}{d_{экв}} \cdot Н_д$	1,7
Резкий поворот на 20°				
Сечение	F	м^2	$2 \cdot a \cdot b$	5,6
Скорость	W	м/с	$V_{сек}/F$	8,03
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	3,83
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$K \cdot \Delta\xi_0 \cdot BC$	0,125
Сопротивление трения	Δh_5	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	0,48
Конфузор				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot a_2 \cdot b_2$	5,6 4,12
Скорость в сечении F_2	W_2	м/с	$V_{сек}/F$	10,92
Коэффициент сопротивления	ξ	–	График	0,1
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	7,08
Сопротивление поворота	Δh_6	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	0,78
Резкий поворот на 20°				

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Скорость в сечении F	W	м/с	$V_{сек}/F$	10,92
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$K \cdot \Delta\xi_0 \cdot BC$	0,125
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	7,1
Сопротивление поворота	Δh_7	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	0,9
Общее сопротивление всасывающего тракта	Δh_a	кг/м^2	$\Sigma\Delta h_{1-7}$	11,9
Сопротивление тракта от вентилятора до воздухоподогревателя				
Диффузор				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot a_2 \cdot b_2$	3,84 5,12
Скорость в меньшем сечении	W_1	м/с	$V_{сек}/F_1$	11,8
Отношения	l/b F_2/F_1	– –	– –	1,81 1,33
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	0,025
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	8,3
Сопротивление поворота	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	0,21
Раздающий тройник на 90°				
Сечения	F_c $F_п = F_б$	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot a_2 \cdot b_2$	5,12 2,56
Скорости	W_c $W_п$	м/с	$V_{сек}/F_2$ $V_{сек}/(2 \cdot F_п)$	8,8 8,8
Отношение скоростей	$W_б/W_c$	–	–	1,0
Отношение сечений	$F_б/F_c$	–	–	0,5
Коэффициент сопротивления	ξ	–	График 18	1,05
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	4,6
Сопротивление тройника	Δh_2	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	4,84

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	4,6
Сопротивление поворотов	Δh_3	кг/м^2	$2 \cdot \xi \cdot Н_д$	2,8
Резкий поворот на 90° с изменением сечения				
Сечения	F_1 F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot a_2 \cdot b_2$	5,12 13,46
Скорость воздуха в сечении F_1	W_1	м/с	$V_{сек}/F_1$	8,8
Коэффициент сопротивления (F_2/F_1=2,62)	ξ	–	[ ]	1,05
Сопротивление поворота	Δh_4	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	9,3
Внезапное изменение сечения				
Секундный объем воздуха	$V_{сек}$	м^3/с	$\left(\frac{1}{3{,}6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	45
Сечения	F_1 F_2	м^2	$4 \cdot a_1 \cdot b_1$ $4 \cdot a_2 \cdot b_2$	13,46 28,8
Скор. в меньшем сече-нии	W_1	м/с	$V_{сек}/F_1$	3,6
Отношение сечений	F_1/F_2	–	–	0,467
Коэффициент сопротивле-ния	ξ	–	[ ]	0,3
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,78
Сопротивление поворота	Δh_5	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	0,24
Общее сопротивление трак-та вентилятор-воздухопод.	Δh_{1-5}	кг/м^2	$\Sigma \Delta h_{1-5}$	17,4
Сопротивление воздухоподогревателя Сопротивление 1-го куба				
Перепускной короб между 1-м и 2-м кубами воздухоподогревателя				
Секундный объем воздуха	$V_{сек}$	м^3/с	$\left(\frac{1}{3{,}6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	66
Плотность	ρ	кг/м^3	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,96

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Сечение	F	$м^2$	По чертежу	10
Скорость	W	м/с	$V_{сек}/(2 \cdot F)$	3,3
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[**]	3,5
Динамический напор	$Н_д$	$кг/м^2$	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,53
Сопротивление коробов	Δh_1	$кг/м^2$	$\xi \cdot Н_д$	1,86
Перепускные короба между 3-м и 4-м, 5-м и 6-м кубами воздухоподогревателя				
Температура потока	$t_{пот}$	°С	Из тепл. расч.	140
Секундный объем	$V_{сек}$	$м^3/сек$	$\left(\frac{1}{3,6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	67
Плотность	ρ	$кг/м^3$	$\rho_0 \cdot (\frac{T_0}{T_H})$	0,83
Среднее сечение в повороте	$F_{ср}$	–	По чертежу	10
Средняя скорость воздуха	$W_{ср}$	м/с	$V_{сек}/(2 \cdot F_{ср})$	3,4
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	3,35
Динамический напор	$Н_д$	$кг/м^2$	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,49
Сопротивление коробов	Δh_2	$кг/м^2$	$2 \cdot \xi \cdot Н_д$	3,28
Перепускные короба между 2-м и 3-м, 4-м и 5-м, 6-м и 7-м ходами воздухоподогревателя				
Средняя температура потока	$t_{пот}$	°С	Из тепл. расч.	185
Плотность воздуха	ρ	$кг/м^3$	–	0,75
Секундный объем воздуха	$V_{сек}$	$м^3/с$	$\left(\frac{1}{3,6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	73,7
Среднее сечение в повороте	$F_{ср}$		По чертежу	8,8
Средняя скорость воздуха	$W_{ср}$	м/с	$V_{сек}/(2 \cdot F_{ср})$	4,18
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	3,5

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,67
Сопротивление коробов	Δh_3	кг/м^2	$3 \cdot \xi \cdot Н_д$	7,04
Сопротивление 7 ходов воздухоподогревателя				
Поправочные коэфф. при шахматном расположении	$C_a \cdot C_s$	–	График 6 [**]	1,01
Средняя температура потока	$t_{пот}$	°С	Из тепл. расч.	185
Плотность воздуха	ρ	кг/м^3	–	0,76
Средняя скорость воздуха	$W_{ср}$	м/с	По тепловому расчету	2,8
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	0,304
Сопротивление кубов воздухоподогревателя	Δh_5	кг/м^2	$C_a \cdot C_s \cdot \Delta h_{гр} \cdot (Z_2 + 1) \cdot n$	64,25
Общее сопротивление воздухоподогревателя с поправкой на эксплуатационные условия (к=1,05)	Δh_B	кг/м^2	$\Sigma \Delta h_{1-7} \cdot K$	71,4
Сопротивление тракта горячего воздуха				
Температура горячего воздуха	$t_{гв}$	°С	Из тепл. расчета	318
Секундный объем	$V_{сек}$	м^3/с	$\left(\frac{1}{3,6}\right) \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{вп}) \cdot B_p \cdot V_0 \cdot \frac{(273 + t_{хв})}{273}$	101
Плотность воздуха	ρ	кг/м^3	–	0,605
Резкий поворот на 90° с изменением сечения				
Сечение	F_1 F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot a_2 \cdot b_2$	34 5,14
Скорость воздуха в сеч. F_2	$W_{ср}$	м/с	$V_{сек}/F_{ср}$	19,7
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[**]	0,54
Динамический напор	$Н_д$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	11,98
Сопротивление поворота	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot Н_д$	6,47

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Сечение	F	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$	5,14
Скорость воздуха в сечении	W	м/с	$V_{\text{сек}}/F_{ср}$	19,7
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[**]	0,3
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	11,98
Сопротивление поворота	Δh_2	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	3,6
Раздающий тройник на 90°				
Сечения	$F_\text{б}$ $F_\text{п} = F_c$	м^2	$2 \cdot (\pi \cdot \frac{d^2}{4})$ $2 \cdot a \cdot b$	1,95 5,14
Скорости воздуха	$W_\text{с}$ $W_\text{б}$	м/с	$\frac{V_{\text{сек}}}{F_c}$ $V_{\text{сек}}/(2 \cdot F_\text{б})$	19,7 18,07
Коэффициент сопротивления	ξ	–	[**]	1,4
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	10,8
Сопротивление тройника	Δh_3	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	15,12
Конфузор				
Сечение	F_1 F_2	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$ $2 \cdot (\pi \cdot \frac{d^2}{4})$	5,14 3,77
Скорость воздуха в сечении F_2	W_2	м/с	$\frac{V_{\text{сек}}}{F_2}$	26,8
Коэффициент сопротивления	ξ	–	График 15 [**]	0,1
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	График 4	9,6
Сопротивление поворота	Δh_4	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	0,96
Плавный поворот на 80°				
Сечение поворота	F	м^2	$2 \cdot a_1 \cdot b_1$	3,77
Скорость воздуха в сечении	W	м/с	$\frac{V_{\text{сек}}}{F_{\text{ср}}}$	26,8
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	0,36

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Сопротивление поворота	Δh_5	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	9,65
Резкий поворот на 10°				
Сечение	F_1	м^2	$2 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	3,77
Скорость воздуха в сечении F_2	W	м/с	$\frac{V_{\text{сек}}}{F_{\text{ср}}}$	26,7
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	0,042
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	9,6
Сопротивление поворота	Δh_6	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	0,4
Раздача на мельницы				
Сечение	$F_\text{п} = F_k$	м^2	$2 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	3,77
Сечение отвода	$F_{\text{отв}}$		$4 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	7,54
Скорость воздуха	W	м/с	$\frac{V_{\text{сек}}}{F_{\text{ср}}}$	26,7
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$0{,}7 + (0{,}5 - 0{,}7 \cdot (\frac{F_{\text{под}}}{F_k})^2 + 0{,}7 \cdot \frac{F_{\text{под}}}{F_{\text{отв}}}$	1,64
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	–	9,6
Сопротивление поворота	Δh_7	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	14,1
2 шибера				
Сечение	F	м^2	$4 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	2,1
Скорость воздуха	W	м/с	$\frac{V_{\text{сдп}} + V_{\text{сек}}}{F_{ср}}$	19
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	0,1
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	–	8,4
Сопротивление шиберов	Δh_8	кг/м^2	$2 \cdot \xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	1,68
Импульсная шайба				
Сечение	F	м^2	$4 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	2,08
Скорость воздуха	W	м/с	$\frac{V_{\text{сдп}} + V_{\text{сек}}}{F_{ср}}$	19
Коэффициент сопротивл.	ξ	–	–	0,4
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	График 4	8,4

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Сопротивление шиберов	Δh_9	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	3,4
Общее сопротивление тракта горячего воздуха	$\Delta h_\text{г}$	кг/м^2	$\sum \Delta h_{1-9}$	55,4
Мельница и сепаратор ВТИ				
Сопротивление мельницы и сепаратора ВТИ	$\Delta h_{\text{м+се}}$	кг/м^2	–	72,8
Концентрация пыли на участке мельница-горелка	$\mu_\text{п}$	кг/кг	$\frac{\left(1000 \cdot B_k \cdot \left(100 - W_p\right)\right)}{((100 - W_\text{пп}) \cdot V_{cm \cdot \gamma cm})}$	0,125
Сопротивление тракта от мельницы к горелкам				
Секундный объем	$V_\text{сек}$	м^3/с	Из расч. гор.	26,6
Конфузор				
Сечение	F_1	м^2	$8 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	1,34
Скорость в меньшем сечении	W_2	м/с	$\frac{V_\text{сек}}{F_2}$	19,9
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$0{,}1 \cdot (1 + 0{,}8 \cdot \mu_\text{п})$	0,126
Температура	t	℃	Из тепл. расчета	132
Плотность воздуха	ρ	кг/м^3	–	0,87
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	16,4
Сопротивление шиберов	Δh_1	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	2,06
2 плавных поворота на 45°				
Сечение	F	м^2	$8 \cdot 0{,}785 \cdot d^2$	1,34
Скорость воздуха	W	м/с	$\frac{V_\text{сек}}{F_2}$	19,9
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$0{,}15\left(\frac{a}{90}\right) \cdot 2(1 + 0{,}8 \cdot \mu_\text{п})$	0,17
Динамический напор	$\text{Н}_\text{д}$	кг/м^2	-	16,4
Сопротивление поворотов	Δh_2	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_\text{д}$	2,78
Сопротивление трения				
Длина участка	l	м	По чертежу	13
Диаметр эквивалентный	$d_\text{экв}$	м	$(2 \cdot a \cdot b)/(a + b)$	0,462
Коэффициент сопротивления	ξ	–	$0{,}03 \cdot (1 + \mu_\text{п})$	0,04

Продолжение таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Сопротивление трения	Δh_3	кг/м^2	$\lambda \cdot \left(\frac{l}{d_{\text{экв}}}\right) \cdot H_{\text{д}}$	18,3
Сопротивление горелки				
Скорость в горелке	$W_{\text{гор}}$	м/с	Расчет горелки	15,97
Коэффициент сопротивления	ξ	–	–	2,53
Сопротивление горелки	Δh_4	кг/м^2	$\xi \cdot \text{Н}_{\text{д}}$	26,7
Динамический напор	$\text{Н}_{\text{д}}$	кг/м^2	$\frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$	11,5
Общее сопротивление тракта от мельницы до топки	$\Delta h_{\text{е}}$	кг/м^2	$\sum \Delta h_{1-4}$	83,4
Разрежение в топке				
Высота газового столба	H	м	Чертеж	13
Разрежение в топке $h_т$=2,0кг/м^2	h_e	кг/м^2	$h_T + 0{,}95 \cdot H$	14,3
Общее сопротивление воздушного тракта	$\Delta H_{\text{полн}}$	кг/м^2	$\sum (\Delta h_{a-e} - h_{\text{ж}}) \cdot \frac{760}{h_{\text{бар}}}$	292
ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА				
Расчетная. вентилятора с запасом 5%	$Q_{\text{расч}}$	м^3/час	$1{,}05 \cdot V_0 \cdot (a_T - \Delta a_T + \Delta a_{\text{ВП}}) \cdot B_p \cdot 1000$	81000
Расчетное сопротивление с запасом 10%	$H_{\text{расч}}$	кг/м^2	$1{,}15 \cdot \Delta H_{\text{полн}}$	336
Поправочный коэффициент	K_γ	–	$\frac{274 + t_{\text{хв}}}{273 + t_{\text{хор}}}$	1,14
Приведенный напор	$H_{\text{пр}}^{\text{рас}}$	кг/м^2	$K_\gamma \cdot H_{\text{расч}}$	383
Тип вентилятора	–	–	–	ВДН-18х2
Число оборотов	n	об /мин	–	970
Расчетный режим каждого вентилятора				
Производительность	$Q_{\text{расч}}$	м^3/час	–	$81 \cdot 10^3$
Напор	$H_{\text{расч}}$	кг/м^2	–	383
КПД	η	%	–	78
Мощность на валу	N_B	кВт	$(Q_p \cdot H_p)/(3670 \cdot \eta)$	130

Окончание таблицы 3.36

1	2	3	4	5
Мощность электродвига-теля	N_M	кВт	$1{,}15 \cdot N_B$	150
Запасы: – по производительности – по напору – по мощности электродвигателя			β_1 =1,05 β_2 =1,15 β_3 =1,15	

Вывод: согласно проведенных расчетов вентиляторы ВДН-18-II соответствуют заданным параметрам, описанным в таблице 3.37.

Таблица 3.37 – Характеристика дутьевого вентилятора

Название	Величина	Значение
1	2	3
Тип	–	ВДН-18-II
Производительность (при 200 ℃)	$м^3$/час	130000
Напор	мм в ст.	230/390
Диаметр рабочего колеса	мм	1800
Число оборотов	об/мин	740/1000
Количество лопаток	–	12
Направляющий аппарат	–	Радиального типа
КПД	%	72
Мощность электродвигателя	кВт	175/400
Номинальный ток	А	26/49,5

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Котельные агрегаты оснащен схемой пылеприготовления с прямым вдуванием пыли в топку. Котел ст.№5 на данный момент не оборудован мельницами, а питатели находятся в законсервированном состоянии.

Горячий воздух сушит топливо и выносит готовую пыль. Количество сушильного агента регулирует температуру аэросмеси. Котлы второй очереди обладают присадкой слабоподгретого воздуха, а во время аварийной ситуации предусмотрена присадка холодрого воздуха.

В состав установки пылеприготовления входит: ПСУ, молотковые мельницы, сепараторы угольной пыли.

Топливо к молотковым мельницам подается скребковыми питателями. Производительность питателя сырого угля регулируется путем привода частотной ПСУ, а так же изменением высоты регулятора слоя. Характеристика питателя сырого угля приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Характеристика питателя сырого угля

Наименование	Значение
1	2
Тип	ПС-700/9000Л-УХЛ
Высота слоя:max min	150 мм 70 мм
Управление	Частотный привод
Электродвигатель	
Мощность	7,5 кВт·с
Постоянный ток	380 Вольт
Номинальный ток	7-15,7 А
Число оборотов	150/1500 об/мин

Характеристики молотковой мельницы ММТ-1300/2564 приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Характеристика молотковой мельницы.

Наименование	Значение
2	3
Завод-изготовитель	Черновицкий машиностроительный завод
Тип	ММТ-1300/2564
Диаметр ротора	1300 мм
Длина ротора	2564 м
Количество бил	81 шт.
Допустимое давление в ММТ мм в ст.	200

Продолжение таблицы 4.2

1	2
Окружная скорость	50 м/сек
Производительность	24 т/час
Электродвигатель	
Тип	А-114-8
Число оборотов	735 об/мин
Мощность	320 кВт
Номинальная сила тока	39 А

Пылеприготовительная установка оборудована инерционным сепаратором. Он обладает корпусом, регулятором потока №1 и №2, а так же приводом регулятора потока. Первый регулятор потока находится во входной части сепаратора, что благоприятно сказывается на распределении топлива по длине ротора. Поворотный шибер имеет ход в 75^{o}. Второй регулятор находится уже в центральной части, а угол составляет 38^{o}. При помощи поворота потока №1,2 получается регулирование толщины помола. Корпус оборудован двумя лазами 400 мм, и взрывными клапанами. В сепараторе совершается отделение пыли по зерновому составу. Грубая пыль попадает на наклонный лист и обратно в мельницу на домол, а мелкая же пыль, уходит в пылераспределительную камеру, а дальше переходит к горелкам и в топку.

4.1 Исходные данные для расчета

$B_к$=18т/ч – расход угля на котлы,
z=4 – количество работающих мельниц.
Средняя производительность мельницы (4.1):

$$B_м = \frac{B_к}{4} = 4{,}5 \ , \ \text{т/ч;} \qquad (4.1)$$

Расход первичного воздуха на одну мельницу: $Q_м$=13тыс.$м^3$/ч – принято, исходя из необходимости полученной тонкости готовой пыли R_{90}=15÷17% , при этом показатель полидисперсности пыли будет $n_{ср}$=1,1.

Влажность исходного угля W_t=18%. Для расчета принимаем (исходя из тепловых расчетов котла) температуру горячего воздуха за воздухоподогревателем $(tгв)_1=278^0$C – для проектного исполнения ВЗП.

4.2 Статьи теплового баланса

Приходные статьи:
Физическое тепло сушильного агента (4.2):

$$Qca = g1 \cdot Cca \cdot tca \quad (4.2)$$

ккал/кг , где количество сушильного агента на 1 кг сырого топлива определяется по формуле (4.3):

$$g_1 = \frac{Q_{пв} \cdot \rho_{пв}}{B_м} \quad (4.3)$$

$$(\rho_{пв})_1 = 1,285 \cdot \frac{273}{273 + t_{са1}} = 0,707 \text{ , } кг/м^3 ;$$

$$(\rho_{пв})_2 = 1,285 \cdot \frac{273}{273 + t_{са2}} = 0,606 \text{ , } кг/м^3 ;$$

$(g_1)_1$=2,042 кг/кг

$(g_1)_2$=1,751 кг/кг ;

$C_{са}$ – теплоемкость сушильного агента перед мельницей.

$(C_{са})_1$=0,245 ккал/(кг· ^{0}C)

$(C_{са})_2$=0,264 ккал/(кг· ^{0}C)

$(q_{са})_1$=2,042 · 0,245 · $t_{са}$=0,5·$t_{са}$

$(q_{са})_2$=1,751 · 0,264 · $t_{са}$=0,46·$t_{са}$

Тепло, выделяющееся в результате работы мельницы (4.4):

$$qмех = 0,86 \cdot Кмех \cdot Эр , \quad (4.4)$$

ккал/кг;
$К_{мех}$=0,8 – для молотковых мельниц
$Э_р$=20 кВтч/т.н.т. – примем по результатам испытания
$(q_{мех})1,2$ = 13,76 ккал/кг.
Расходные статьи:
Тепло, затраченное на испарение влаги (4.5):

$$qисп = \Delta W \cdot (595 + 0,47 \cdot tас) \quad (4.5)$$

ккал/кг, где

$$\Delta W = \frac{W_t^7 - W^{пл}}{100 - W^{пл}} \quad (4.6)$$

кг/кг – количество влаги, испарившееся из 1 кг сырого топлива.

Для дальнейших расчетов, предварительно зададимся температурами аэросмеси (t_{ac}) в базовом варианте:

$$(t_{ac})_1 = 102°C$$

$$(t_{ac})_2 = 153°C$$

Исходя из этих данных, определим влажность пыли на выходе из мельницы по формуле (4.7):

$$W^{пл} = \frac{6,8 \cdot (W_t^7)^{1.35}}{(t_{ac} - 20)} \quad (4.7)$$

получим:

$$(W^{пл})_1 = 1,7\%;$$

$$(W^{пл})_2 = 0,9\%$$

Соответственно:

$$(\Delta W)_1 = \frac{9 - 1,7}{100 - 1,7} = 0,0743, \text{ кг/кг}$$

$$(\Delta W)_2 = \frac{9 - 0,9}{100 - 0,9} = 0,0817, \text{ кг/кг}$$

$$(q_{исп}) = 0,0747 \cdot (595 + 0,47 \cdot 102) = 47,77, \text{ ккал/кг}$$

$$(q_{исп}) = 0,0817 \cdot (595 + 0,47 \cdot 153) = 54,51, \text{ ккал/кг}$$

Тепло, уносимое с уходящими газами из установки сушильным агентом (без водяных паров испарившейся влаги) рассчитываем по формуле (4.8):

$$q_2 = g_1 \cdot C_2 \cdot t_{ac}; \quad (4.8)$$

C_2 – теплоемкость сушильного агента, покидающего установку, ккал/(кг·°C);

$(C_2)_1 = 0,242$ ккал/(кг·°C) при $(t_{ac})_1 = 102°C$

$(C_2)_2$ = 0,243 ккал/(кг·°С) при $(t_{ac})_2$ = 153°С

$(q_2)_1$ = 2,042·0,242·102 = 50,4 , ккал/кг ;

$(q_2)_2$ = 1,751·0,243·153 = 65,10 , ккал/кг.

Тепло, затраченное на подогрев топлива (4.9):

$$q_{тл} = \frac{100 - W_t^7}{100} \cdot (C_{тл}^c + \frac{W^{пл}}{100 - W^{пл}}) \cdot (t_{ac} - t_{тл}) , \quad (4.9)$$

ккал/кг,

где $C_{тл}^c$ - теплоемкость сухого топлива при $\frac{t_{ac} + t_{тл}}{2}$

примем $_т t_л$ = 0°С – температура топлива перед мельницей

$$(C_{тл}^c)_1 = 0{,}225 \text{ ккал/(кг·°С)};$$

$$(C_{тл}^c)_2 = 0{,}226 \text{ ккал/(кг·°С)};$$

$$(q_{тл})_1 = \frac{100 - 9}{100} \cdot (0{,}225 + \frac{1{,}7}{100 - 1{,}7}) \cdot 102 = 22{,}49 \text{ ккал/кг};$$

$$(q_{тл})_2 = \frac{100 - 9}{100} \cdot (0{,}226 + \frac{0{,}9}{100 - 0{,}9}) \cdot 153 = 32{,}73 \text{ ккал/кг};$$

Потери тепла в окружающую среду (4.10)

$$q_5 = \frac{Q_5}{1000 \cdot B_м} , \quad (4.10)$$

ккал/кг, примем

Q_5 = 17 тыс. ккал/час;

$(q_5)_{1,2}$ = 17000/(1000·4,5) = 3,78

Составим уравнение теплового баланса (4.11):

$$q_{са} + q_{мех} = q_{исп} + q_2 + q_{тл} + q_5 \quad (4.11)$$

Для проектного исполнения ВЗП и существующей присадки холодного воздуха на вход мельницы:

$$0{,}5 \cdot t_{ca} + 13{,}76 = 47{,}77 + 50{,}401 + 22{,}49 + 3{,}78$$

$$(t_{ca})^{p} = 221°C$$

В связи с тем, что расчетное значение температуры сушильного агента отличается от $(t_{ca})_1$ менее чем на 3^0C, то принятые значения температуры аэросмеси $(t_{ac})_1 = 102\ ^0C$ – выбраны правильно.

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Мероприятия по энергосбережению на ЧТЭЦ-2

На сегодняшний день электроэнергетика являет собой важнейшую часть в структуре электропотребления, при этом совместно с теплоснабжением используется до 70 % потребляемых во всей Российской Федерации топливо-энергетических ресурсов. Однако в то же самое время большая часть энергоблоков по всей стране эксплуатируется в течении более полувека, оборудование таких ТЭС уже в значительной мере является устаревшим.

Переменные нагрузки ТЭС – является главной причиной появления больших расходов на разные режимы работы механизмов СН, а также весьма существенные возникновения потерь электроэнергии.

Частые пуск и остановка энергоблоков и перемены в нагрузках приводят к увеличению потерь электроэнергии, а так же в потребности дросселирования теплоносителей. Как правило результатом переменных нагрузок и непостоянным режимом работы становится потеря надежности энергоблоков тепловых электростанций. Сокращается срок эксплуатации и надежность основного оборудования и оборудования собственных нужд, а именно насосов и вентиляторов. К вышесказанному стоит добавить, что время работы механизмов СН в пиковой нагрузке на большем количестве тепловых электростанций не превышают 30%, что значительно сказывается на потерях электроэнергии.

Благодаря началу регулирования нагрузки насосов и ветиляционных установок тепловых электростанций и переходу на использование электроприводов с переменной частотой вращения мы можем видеть значительное сбережение энергии и ресурсов, при относительно небольших затратах на оборудование. Так же необходимо изъять дросселирование из газовоздушного тракта и тракта питательной воды

Совокупность некоторых действий позволяет добиться существенных возможностей во время эксплуатации тепловых электростанций. Для увеличения срока служба, ресурса и надежности поверхностей нагрева парогенераторов необходимо оптимизировать нагрев во время разгрузки путем уменьшения температурных перекосов. Обеспечение высокой эффективности использования топлива, а так же для увеличения гибкости настройки и маневренности получается путем экономичного прохода скользящих параметров пара. Так же прирост мощности энергоблока в моменты пиковых нагрузок и предоставление режима мягкого пуска и самозапуска механизвом с электроприводами СН во время колебаний с последующим восстановлением уровня напряжения в системе СН. А так же благодаря оптимизации и настройки системы сжигания удалось уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу. Все это достигается путем частотного регулирования производительности механизмов СН, совместно с уменьшением расхода электрической энергии и топлива, а так же исключения гидро и электродинамических ударов во время переходных процессов.

Износ оборудования является одной из первопричин затрат энергии. Модернизация оборудование и замена старого, со сроком эксплуатации близким к концу является первостепенной задчей. Для обеспечения максимального уровня энергосбережения необходимо заменить механизмы СН, вместе с их приводными электродвигателями на энергосберегающие, что существенно скажется на энергосбережении тепловой электростанции. Для оптимального использования частотно-регулируемого электропривода необходимо точно определить, будет ли данное изменения упрощать технологический процесс и насколько увеличиться экономия ресурсов.

Для получения высоких показателей в области энергосбережения возникает необходимость в массовой модернизации или замене электродвигателей СН, в совокупности с преобразователями с регулируемой частотой, что дает значительное изменение в показателях работы и экономию в области энергосбережения и ресурсосбережения во всех диапазонах нагрузки и работы тепловой электростанции. Достижение максимального результата получается путем оснащения электроприводами самых энергоемких единиц техники тепловой электростанции, таких как как дутьевые вентиляторы и дымососы, питательные электронасосы, циркуляционные, сетевые и подпиточные насосы.

Рисунок 5.1 иллюстрирует интегральную оценку экономии электроэнергии в зависимости от относительного потребления регулируемыми механизмами собственных нужд в общем потреблении на собственные нужды ТЭС. При значении показателя К = 0,7 экономия электроэнергии может составить порядка 14 %, а экономия удельного расхода топлива – 3 г/кВт.ч.

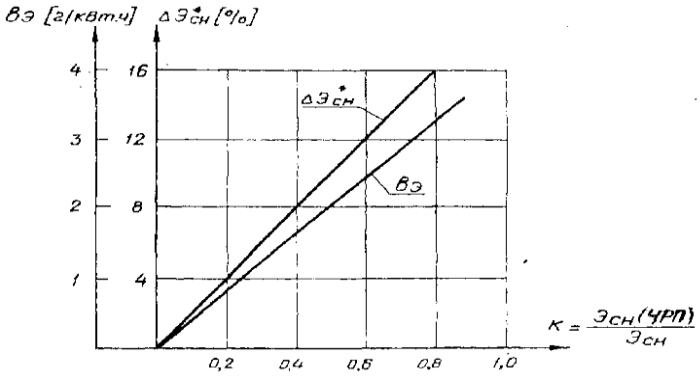

Рисунок 5.1 – Экономия электроэнергии в зависимости от относительного потребления регулируемыми механизмами собственных нужд ТЭС.

$В_э$ – экономия удельного расхода топлива;

$ΔЭ_{сн}$ – экономия электроэнергии на собственные нужды;

$Э_{сн(ЧРП)}$ – электроэнергия, потребляемая механизмами собственных нужд, оснащенным и ЧРП;

$Э_{сн}$ – электроэнергия, затраченная на внутренние нужды котельного цеха.

6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Реакцией полного сгорания топлива является образование токсичных веществ в дымовых газах, таких как SO_2, SO_3 и зола. Так же не исключено образование углекислого газа CO_2, водяных паров H_2O, азота N_2. Высокие температуры ядра факела топок котлов благоприятно сказываются на образовании окиси и двуокиси азота NO и NO_2.

Котельные агрегаты Челябинской ТЭЦ-2 оборудованы мокрыми золоуловителями – «Скруббер», на которых установлены трубы «Вентури». Их КПД оценивается на уровне η=96%. Каждый котел оборудован четырьмя еденицами. Шлак и зала во время процесса шлакоудаления поступает в емкость, где и гидроаппаратами «Москалькова» удаляются по пульпопроводам на золоотвал.

6.1 Расчет проводим для летнего режима при работе котла на газе

Исходные данные:
Расход топлива: $B_р = 16,44$ м^3/с
Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$
Размеры трубы: H = 150м, $d_{уст} = 7,0$м
Объемы воздуха и продуктов сгорания:
$V^o_в = 9,46$ м^3/м^3
$V^o_{RO_2} = 0,99$ м^3/м^3
$V^o_{N_2} = 7,48$ м^3/м^3
$V^o_{H_2O} = 2,15$ м^3/м^3
Определим температуру дымовых газов:
Температура дымовых газов на выходе из трубы (6.1):

$$T_г = t_{ух.г.} + 273 \quad (6.1)$$

$$T_г = 116 + 273 = 389 \text{ К},$$

где $t_{ух.г.} = 116$ °С – температура уходящих газов
Температура окружающего воздуха (6.2):

$$T_в = t_в + 273 \quad (6.2)$$

$$T_в = 22,8 + 273 = 295,8 \text{ К},$$

где $t_{ух.г.} = 22,8$ °С – средняя температура воздуха самого жаркого месяца в полдень для Челябинска.

Определяем количество окислов азота NO_2, выбрасываемых в атмосферу для одного котла (6.3):

$$M_{NO_2} = 0{,}034 \cdot B_р \cdot Q_р^н \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - q_4/100) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3 \cdot K_п, \quad (6.3)$$

где $B_р$ = 16,44 м^3/с – расход топлива,

$Q_р^н$ = 35,631 МДж/м^3 – низшая теплота сгорания на рабочую массу;

q_4 = 0 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива;

β_1 = 0,85 – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива;

β_2 = 0 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов на выход оксидов азота в зависимости от условий подачи их в топку.

β_3 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок:

Для вихревых горелок β_3 = 1,0,

Для прямоточных - β_3 = 0,85

K_{NO_2} - коэффициент характеризующий выход оксидов азота на 1 т сожженного топлива (кг/т). Коэффициент K_{NO_2} вычисляется по эмпирическим формулам для котлов паропроизводительностью D > 200 т/ч при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок (6.4)

$$K_{NO_2} = \frac{12 \cdot D_ф}{200 + D_н}, \quad (6.4)$$

где $Д_н$ и $Д_ф$ – номинальная и фактическая паровая производительность котла (т/ч) задано.

$$K_{NO_2} = \frac{12 \cdot 210}{200 + 210} = 6{,}158 \text{ кг/т}$$

$K_п = 10^{-3}$ – при пересчете выбросов в тоннах;

r = 0 – степень рециркуляции дымовых газов.

$$M_{NO_2} = 0{,}034 \cdot 16{,}44 \cdot 35{,}631 \cdot 6{,}158 \cdot 1 \cdot 0{,}85 \cdot 1 \cdot 0{,}85 \cdot 10^{-3} = 0{,}09 \text{ кг/с}$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$M_{NO_2} = 4 \cdot 0{,}09 = 0{,}36 \text{ кг/с}$$

Определим объем сухих газов и продуктов сгорания по формулам 6.5 и 6.6:

$$V_г^{сух} = V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o + (\alpha - 1) \cdot V_в^o, \quad (6.5)$$

$$V_г^{сух} = 0{,}99 + 7{,}48 + (1{,}1\text{-}1) \cdot 9{,}46 = 10{,}29 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_г = V_г^{сух} + V_{H_2O}^o + 0{,}0161\cdot(1{,}1\text{-}1)\cdot V_в^o, \quad (6.6)$$

$$V_г = 10{,}29 + 2{,}15 + 0{,}0161\cdot(1{,}1\text{-}1)\cdot 9{,}46 = 12{,}45 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Секундный объем дымовых газов при нормальных условиях по формуле (6.7):

$$V' = B_р \cdot V_г, \quad (6.7)$$

$$V' = 16{,}44\cdot 12{,}45 = 204{,}68 \text{ м}^3/\text{с}$$

Секундный объем, приведенный к условиям выхода (6.8)
$P_н = 760$ мм рт. ст., $T_н = t_н + 273 = 0 + 273 = 273$ К.

$$V = \frac{V' \cdot T_г \cdot P_н}{T_н \cdot P_{атм}}, \quad (6.8)$$

$$V = \frac{204{,}68 \cdot 389 \cdot 760}{273 \cdot 750} = 295{,}54 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$V = 295{,}54\cdot 4 = 1182{,}14 \text{ м}^3/\text{с}$$

Средняя скорость дымовых газов в устье трубы (6.9):

$$w_0 = \frac{4 \cdot V}{3{,}14 \cdot d_{уст}^2}, \quad (6.9)$$

$$w_0 = \frac{4\cdot 1182{,}14}{3{,}14 \cdot 7^2} = 30{,}73 \text{ м/с}$$

Определим максимальную приземную концентрацию выбросов оксидов азота, которая не должна превышать ПДК данного вредного вещества в атмосфере воздуха (6.10)

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \quad (6.10)$$

где А – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяется климатической зоной и принимается для г.Челябинска А = 160.

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе.

F = 1 – для газообразных примесей

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья трубы (6.11 и 6.12):

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{f} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (6.11)$$

$$f = \frac{w_0^2 \cdot d_{уст} \cdot 10^3}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.12)$$

$$f = \frac{30{,}73^2 \cdot 7 \cdot 10^3}{150^2 \cdot (389 - 293)} = 3{,}06$$

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{3{,}06} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{3{,}06}} = 0{,}75$$

Коэффициент n зависит от параметра V_m (6.13):

$$V_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta T \cdot V}{H}}, \quad (6.13)$$

$$V_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{(389 - 295{,}8) \cdot 1182{,}14}{150}} = 5{,}86$$

Параметр V_m>2, следовательно, n = 1.

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 360 \cdot 1 \cdot 0{,}75 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{1182{,}14 \cdot (389\text{-}295{,}8)}} = 0{,}040 \text{ мг/м}^3$$

$C_{NO_2} = 0{,}0396 \text{ мг/м}^3 <$ ПДК$_{NO_2}$ = 0,085 мг/м^3, следовательно данная дымовая труба рассеивает вредные выбросы до необходимой концентрации.

6.2. Расчет проводим для летнего режима при работе котла на Сарыкольском непроектном угле

Исходные данные:
Расход топлива $B_р$ = 9,12 кг/с
Коэффициент избытка воздуха α = 1,25
Размеры трубы: H = 150м, $d_{уст}$ = 7,0м
Объемы воздуха и продуктов сгорания
$V^o_в$ = 2,612 м^3/кг
$V^o_{RO_2}$ = 0, 398 м^3/кг
$V^o_{N_2}$ = 0,214 м^3/кг

$V^{o}_{H_2O}$ = 0,887 м^3/кг

Температура дымовых газов на выходе из трубы (6.1):

$$T_г = 131 + 273 = 404 \text{ К},$$

где $t_{ух.г.}$ = 131 ^{o}C – температура уходящих газов

Температура окружающего воздуха (6.2)

$$T_в = 22,8 + 273 = 295,8 \text{ К},$$

где $t_{ух.г.}$ = 22,8 ^{o}C – средняя температура воздуха самого жаркого месяца в полдень для г.Челябинска

Определяем количество окислов азота NO_2, выбрасываемых в атмосферу для одного котла (6.3):

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot B_р \cdot Q^н_р \cdot К_{NO_2} \cdot (1 - q_4/100) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3 \cdot К_п, \qquad (6.3)$$

где $B_р$ = 9,12 кг/с – расход топлива,

$Q^н_р$ = 14,518 МДж/кг – низшая теплота сгорания на рабочую массу;

q_4 = 0,5 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива;

β_1 = 1,0 – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива;

β_2 = 0 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов на выход оксидов азота в зависимости от условий подачи их в топку.

β_3 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок:

Для вихревых горелок β_3 = 1,0,

Для прямоточных - β_3 = 0,85

$К_{NO_2}$ - коэффициент характеризующий выход оксидов азота на 1 т сожженного топлива (кг/т). Коэффициент $К_{NO_2}$ вычисляется по эмпирическим формулам для котлов паропроизводительностью D > 200 т/ч при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок (6.4)

$$К_{NO_2} = \frac{12 \cdot D_ф}{200 + D_н}, \qquad (6.4)$$

где $D_н$ и $D_ф$ – номинальная и фактическая паровая производительность котла (т/ч) задано.

$$К_{NO_2} = \frac{12 \cdot 168}{200 + 210} = 4,917 \text{ кг/т}$$

$К_п = 10^{-3}$ – при пересчете выбросов в тоннах;
r = 0 – степень рециркуляции дымовых газов.

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 9,12 \cdot 14,518 \cdot 4,917 \cdot (1 - 0,5/100) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ кг/с}$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$M_{NO_2} = 4 \cdot 0,019 = 0,074 \text{ кг/с}$$

Определяем количество золы, выбрасываемой в атмосферу (6.14):

$$M_{золы} = B_p \cdot a_{ун} \cdot \frac{A^p + q_4 \frac{Q_н^p}{32,7}}{100} \cdot (1 - \eta), \qquad (6.14)$$

где $a_{ун}$ = 0,65 – зависит от способа сжигания топлива, из условий работы золоуловителей η = 0,92.

$$M_{золы} = 9,12 \cdot 0,65 \cdot \frac{30 + 0,5 \cdot \frac{14,518}{32,7}}{100} \cdot (1 - 0,92) = 0,143 \text{ кг/с}$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$M_{золы} = 4 \cdot 0,143 = 0,572 \text{ кг/с}$$

Определяем количество SO_2, выбрасываемого в атмосферу (6.15):

$$M_{SO_2} = 2 \cdot \frac{S_p}{100} \cdot B_p \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \qquad (6.13)$$

где $S_р$ = 1,0 %, η'_{SO_2} = 0,1, η''_{SO_2} = 0.

$$M_{SO_2} = 2 \cdot \frac{1,0}{100} \cdot 9,12 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0) = 0,164 \text{ кг/с}$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$M_{SO_2} = 4 \cdot 0,162 = 0,656 \text{ кг/с}$$

Определим объем сухих газов и продуктов сгорания:

$$V_г^{сух} = V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o + (\alpha - 1) \cdot V_в^o, \qquad (6.5)$$

$$V_г^{сух} = 0,398 + 0,214 + (1,25 - 1) \cdot 9,46 = 2,98\ м^3 / кг$$

$$V_г = V_г^{сух} + V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (1,1\text{-}1) \cdot V_в^o, \qquad (6.6)$$

$$V_г = 1,265 + 0,5942 + 0,0161(1,25 - 1) \cdot 9,46 = 1,897 м^3 / кг$$

Секундный объем дымовых газов:

$$V' = B_р \cdot V_г, \qquad (6.7)$$

$$V' = 9,12 \cdot 1,897 = 17,301\ м^3 / с$$

Секундный объем, приведенный к условиям выхода (6.8):
$P_н$ = 760 мм рт. ст., $T_н = t_н + 273 = 0 + 273 = 273$ К.

$$V = \frac{V' \cdot T_г \cdot P_н}{T_н \cdot P_{атм}}, \qquad (6.8)$$

$$V = \frac{17,301 \cdot 404 \cdot 760}{273 \cdot 750} = 25,944\ м^3/с$$

Для четырех котлов второй очереди:

$$V = 25,944 \cdot 4 = 103,776\ м^3 / с$$

Средняя скорость дымовых газов в устье трубы (6.9):

$$w_0 = \frac{4 \cdot V}{3,14 \cdot d_{уст}^2}, \qquad (6.7)$$

$$w_0 = \frac{4 \cdot 103,776}{3,14 \cdot 7^2} = 2,698\ м^3/с$$

Определим максимальную приземную концентрацию выбросов золы, оксидов азота, серы, которая не должна превышать ПДК данного вредного вещества в атмосфере воздуха (6.10):

$$C_м = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \qquad (6.8)$$

где А – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяется климатической зоной и принимается для г.Челябинска А = 160.

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе.

F = 1 – для газообразных примесей, F = 2 – для золы при $\eta_{зу} \geq 90\%$.

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья трубы (6.11 и 6.12):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (6.9)$$

$$f = \frac{w_0^2 \cdot d_{уст} \cdot 10^3}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.10)$$

$$f = \frac{3,07^2 \cdot 7 \cdot 10^3}{150^2 \cdot (404 - 295,8)} = 0,3$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,03} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,03}} = 1,26$$

Коэффициент n зависит от параметра V_m (6.13):

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta T \cdot V}{H}}, \quad (6.13)$$

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{(404 - 295,8) \cdot 102,516}{150}} = 2,73$$

Параметр V_m>2, следовательно, n = 1.

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 72 \cdot 1 \cdot 1,26 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{102,516 \cdot (404\text{-}295,8)}} = 0,029 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{SO_2} = \frac{160 \cdot 648 \cdot 1 \cdot 1,26 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{281,84 \cdot (404\text{-}295,8)}} = 0,047 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{золы} = \frac{160 \cdot 56 \cdot 2 \cdot 1,26 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{102,516 \cdot (404\text{-}295,8)}} = 0,045 \text{ мг/м}^3$$

Каждая в отдельности концентрация вредных веществ меньше предельно допустимой максимально разовой $C_{NO_2} = 0,027$ мг/м^3 < ПДК$_{NO_2}$ = 0,04 мг/м3; $C_{SO_2} = 0,047$ мг/м^3 < ПДК$_{SO_2}$ = 0,05 мг/м3; $C_{золы} = 0,042$ мг/м^3 < ПДК$_{пыли(золы)}$ = 0,15 мг/м3. При совместном присутствии в атмосферном воздухе вещества NO2 и SO2 обладают суммарным вредным воздействием, сумма их относительных концентраций не должна превышать единицы (6.16):

$$\sum \frac{C_i}{(ПДК)_i} = \frac{C_{NO_2}}{0,085} + \frac{C_{SO_2}}{0,5}, \qquad (6.14)$$

$$\sum \frac{C_i}{(ПДК)_i} = \frac{0,029}{0,04} + \frac{0,047}{0,05} = 1,64 > 1,$$

следовательно данная дымовая труба не рассеивает вредные выбросы до необходимой концентрации. Концентрация SO_2 в атмосферном воздухе

достаточно велика, в связи с чем суммарное вредное воздействие вместе с NO_2 больше единицы. Рекомендуется провести мероприятия по снижению концентрации окислов серы.

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Котельные агрегаты Челябинской ТЭЦ-2 оснащены комплексом контрольно измерительных приоров, основной задачей которых является наблюдение и регистрация параметров перегретого пара, воды, нагрузка котельных агрегатов и системы пылеприготовления. Общий объем комплекса автоматики котельного агрегата БКЗ-210-140Ф согласно требованиям завода изготовителя и СП 89.13330.2012.

7.1 Автоматика

Список автоматики котельного агрегата БКЗ-210-140Ф:
-регулирование параметров перегретого пара
-регулирование питания котла водой
-регуляторы топлива
-регуляторы разряжения
-регуляторы температуры аэросмеси в мельнице
-регуляторы непрерывной продувки

7.2 Защиты

Список защиты котельного агрегата БКЗ-210-140Ф:
-частичная перепитка котла
-перепитка и упуск уровня воды в барабане
-повышение и понижение температуры перегретого пара
-повышение и понижение давления газа га ГРЗ
-повышение давления воздуха за ВЗП
-повышения давления в топке котла
-погасание факела в топке котла при работе на угле
- погасание факела в топке котла при работе на газе
-подхват пылеугольного факела
-загорание аэросмеси в мельнице
-повышение аэросмеси в мельнице
-отключение двух дымососв
-отключение одного вентилятора

7.3– Автоматизация

Установка датчика ДМС-100М-ПФ, который дает представительный сигнал, об любых изменениях яркости факела. Включение первой ступени «защиты от погасания факела» с задержкой в три секунды. Устройство «Парус-003 Ц» контролирует пламя растопочных форсунок.

Для контролирования подачи мазута в горелку, и контролирования работы форсунки установлен таймер, запускающийся при начале работы любой из

форсунок. Клапан КШТВ16-50 контролирует давление мазута до форсунок, при помощи ручного привода.

С ЦТЩ-2 управляется вся запорно-регулирующая арматура с электроприводом.

Согласно требованиям СО 34.35.116-2001 (РД 153-34.1-35.116-2001) установлено количество сигнализации, и их измерений. Во время срабатывания сигнализации загорается табло со звуковым сопровождением. Параметры, при которых срабатывает сигнализация, приведены в таблицу 7.3

Таблица 7.3 – Параметры срабатывания сигнализации

№	Параметр	Значение
1	Рост уровня воды в барабане	+50 мм
2	Падение уровня воды в барабане	- 50 мм
3	Рост температуры перегретого пара	+550 °С
4	Падение температуры перегретого пара	+545 °С
5	Рост температуры аэросмеси	+100 °С
6	Рост давления перегретого пара	140 кгс/см^2
7	Падение давления перегретого пара	128 кгс/см^2
8	Падения давления воздуха	+15 мм в ст
9	Давление до ГРС	12 атм.
10	Падение давления питательной воды	163 кгс/см^2
11	Рост давления в барабане	152 кгс/см^2

Система пожаротушения срабатывает в первый раз, при росте температуры аэросмеси до первой уставки. Начинается подача мелкораспыленной воды. Если рост температуры не остановился – то защита останавливает мельницы.

Подача мазута в горелку осуществляется при помощи ПЗК-0. Реле «Работа» подает сигнал об открытии и закрытии подачи мазуты, в зависимости от состояния системы и работы приборов. Подача мазута осуществляется после появления сигнала «Подхват», который возможен при наличии факела в топке более пятнадцати процентов от ста возможных. Сигнал «Парус» и «Пламя» говорят о начале работы форсунок один и три. В таблице 7.4 представлена спецификация к схеме автоматики котельного агрегата БКЗ-210-140Ф Челябинской ТЭЦ-2.

Таблица 7.4 – Спецификация

№	№ позиции	Обозна-чение	Наименование	Кол-во
1	2	3	4	5
1	1	PI	Маномерт ТМ серия 10 (0-2,5мПа)	1

Продолжение таблицы 7.4

1	2	3	4	5
2	15а	HG	ТРМ	2
3	10	TE	Датчик температуры ТХА-1292-03К	1
4	11	PIS	Электроконтактный манометр ТМ-610	2
5	12	PE	Датчик давления Метран-55-ДИ	1
1	2	3	4	5
6	10б, 12а	HG	Устройство индикации АДИ-1,1	2
7	10а	BK	Нормирующий реобразователь 2000 Н12	1
8	10в	GB	Блок питания 2000 ВПП-4	1
9	14,14а	YTC	Прибор розжига Парус-00ЭЦ-УФ	2
1	15	YTC	Датчик потускнения факела ДМС-100М-ПФ/220	1
1	18.23б,27б, 31б,35б	HA	Блок ручного управления БРУ-2	5
1	1-5,3-5		ЭМКТ-8-15	2
1	16,17,19, 20а, 22а,26а	HA	Блок ручного управления БРУ-32	13
1	30а,34а	HA	Блок ручного управления БРУ-32	2
1	16а-19а,23а 27а,31а,3а	NS	Пускатель бесконтактный ПБР-3А	8
1	1-3,1-4,1-, 3-3,3-4,3-		Электромагнитный клапан1 ЭМГК-8	6
1	3а		Привод МЭОФ	1
1	2а		Привод Э-60	1
1	1-2а,2-2а, 3-2а,4-2а		Привод МЭОФ-40	4

Продолжение таблицы 7.4

1	2	3	4	5
2	4а,5а		Задвижка 30с41нж16х20	2
2	SB1, SB2, SB3	Н	Блок электроприводов Задвижек УКП-2-С-3-В3	3
2	1-1а,2-1а, 3-1а,4-1а	Н	ЭМКТ-8-20	4
2	38-41	КТ	Счетчик времени наработки СВН-1-220	4
2	1-4,2-4, 3-4,4-4		Вентиль 30с41нж16х50	4
2	1-3,2-3, 3-3,4-3		Вентиль 30с41нж16х20	4
2	1а		Задвижка 30с41нж16х50	1

7.4 Автоматизация управления процесса горения при работе на газовом топливе.

Управление работой котельного агрегата БКЗ-210-140Ф осуществляется автоматической системой АСУГ «КВИНТ», которая устанавливается на котельные агрегаты ст.5-9. Производством и установкой занимается ОАО «НИИТЕПЛОПРИБОР». Данная система позволяет в полном объеме добиться автоматизации розжига горелочных устройств котельного агрегата, согласно всем нормам безопасной эксплуатации. Котельный агрегат ст.№5 не имел возможности использовать данную систему в полном объеме, т.к. круговое расположение горелочных устройств не позволяло датчикам ловить сигнал от горелки, на которую он установлен. Датчики ловили сигналы соседних горелок, хотя родное горелочное устройство могло в данный момент не функционировать.

АСУГ «КВИНТ» - иерархичная микропроцессорная двухуровневая система. Основная цель – автоматизация розжига горелок. Список включенных в систему программных компонентов:

-программно-технические средства нижнего уровня – управляющие контроллеры

-программно-технические средства верхнего уровня: автоматизированные рабочие места (АРМ) обслуживающего персонала

-программно-технические средства верхнего уровня: автоматизированные рабочие средства локальных вычислительных сетей

-комплекс программ технологического контроля и управления, включая элементы системы автоматизированного проектирования (САПР), в части генерации пользовательского программного обеспечения

7.5 - Подсистемы автоматизации

Автоматизация котельного агрегата БКЗ-210-140Ф включает в себя множество различных подсистем:

- подсистема сбора и обработки первичной информации, предназначенная

для сбора первичной информации, в виде аналогового сигнала. Система анализирует сигнал и определяет его достоверность, путем проверки нахождения сигнала в диапазоне его крайних значений. Определение достоверности осуществляется по каждому отдельному сигналу, а затем происходит процесс регистрации недостоверного сигнала подсистемой регистрации.

-подсистема отображения информации, предназначенная для сбора видеокадров с дальнейшим отображения информации на мониторе. Видеокадры содержат основную информацию, а при возникновении ситуации отклонения параметров от нормальных значений, подсистема обратит внимание на этот параметр. Обладаем возможностью отображения сразу нескольких параметров, в различных вариантах представления.

-подсистема сигнализации, предназначенная для слежения за всеми основными параметрами, а так же выдачи аварийных сообщений, при обнаружении отклонения данных параметров, или обнаружении ошибок в работе запорных арматур. Сообщения выводятся на экран машиниста, сопровождаясь звуковым сигналом. Все сообщения данной подсистемы записываются в журнал.

-Подсистема регистрации, печати, протоколирования и архивирования информации. Подсистема позволяет собирать и хранить полную информацию о работе. А так же архивирования и просмотр и распечатка данных. Автоматическая запись новых данных, поверх старых.

-подсистема дистанционного управления. Объектами данной подсистемы являются ИУ горелочных устройств, зажвижки, ПЗК, а так же клапаны линий подачи газа в горелочные устройства. Является связующим звеном между оператором и объектом управления. Воспринимает сигнал от пульта управления оператора, преобразовывает и передает на нужное устройство. Данная подсистема так же отвечает за передачу сигнала, при отказе или отключении верхнего уровня управления над механизмами запорной арматуры.

-подсистема автоматического управления. Представляет собой автоматическую работу системы АСУК «КВИНТ». Система управляет запорной арматурой подачи газа в горелочное устройство согласно заданному режиму.

-подсистема технологических блокировок.

Перечень технологических блокировок, которыми оснащена система АСУК «КВИНТ»:

-запрет подачи газа к котлу при не закрытом хотя бы одном запорном устройстве на подводе газа перед любой горелкой

-запрет подачи газа к запальникам при не закрытом хотя бы одном первым по ходу запорном устройстве на подводе газа к запальнику любой горелки

-запрет розжига горелок при растопке котла без вентиляции топки

-прекращение и запрет подачи газа в горелку в случае полного закрытия клапана на подводе воздуха к этой горелке. Блокировка вводится при «НАЧАЛЕ РАСТОПКИ»

-запрет подачи газа в горелку при отсутствии факела запального устройства этой горелки

-запрет открытия второго запорного устройства по ходу газа перед горелкой при неоткрытом первом.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Одной из важнейших составляющих БЖД является защита от производственных опасных факторов, которые негативно влияют на состояние здоровья человека. Так же к основным целям раздела относятся:

Цели БЖД:

- поддержание благоприятного состояния среды, окружающей человека
- предупреждение появления опасных и аварийных факторов
- сохранение морального и физического здоровья, работоспособности.

8.1. Опасные производственные факторы котельного цеха.

Рассматривается оборудование, работающее в котельном цехе: котельный агрегат, трубопроводы для транспортировки газа, воздуха, пара, воды, насосы; в качестве работника – обходчик котельного цеха. Основным топливом является Сарыкольский уголь и газ.

Производство тепловой и электрической энергии характеризуется наличием опасных химических факторов и аварийных ситуаций:

- химические факторы: продукты сгорания, природный газ, аммиак, гидразин, силикат натрия, щавелевая кислота
- аварийные ситуации: авария поверхности нагрева с выделением пара и воды высокой температуры, взрыв газообразного топлива с последующим разрушение оборудования котельного цеха, образование и последующее распространение вредных и ядовитых веществ.

8.2 Безопасность технологических процессов

8.2.1 Электробезопасность

Главным потребителем электроэнергии на промышленных ТЭЦ являются электродвигатели дымососов, вентиляторов, мельниц и дробилок.

Из ГОСТ 12.1.019 ССБТ "Электробезопасность" котельный цех является помещением с повышенной опасностью. Токи и напряжения, протекающие через тело человека при прикосновении не должны превышать некоторые значение, которые указаны в таблице, во избежание получения травм, а так же получения поражения электрическим током.

Согласно ГОСТ 12-1.038-82 ССБТ "Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов" напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека не должны превышать значения, указанных в таблицах.

Электробезопасность обеспечивается конструкционными методами защиты электрооборудования, техническими методами защиты, а так же проведениями учебных и организационных мероприятий. Напряжение прикосновения приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 - Напряжения прикосновения и токи при нормальных режимах работы электроустановок

Род тока	Напряжение	Сила тока
1	2	3
50 Гц переменный	не более 2 В	не более 0,3 мА

Напряжение прикосновения при аварийных режимах представлены в таблице 8.2

Таблица 8.2 - Напряжения прикосновения и токи при аварийных режимах работы электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность	Нормируемая величина	
	Напряжение, В	Сила тока, мА
1	2	3
0,01 - 0,08	220	220
0,1	200	200
0,2	100	100
0,3	70	70
0,4	55	55
0,5	50	50
0,6	40	40
0,7	35	35
0,8	30	30
0,9	27	27
1,0	25	25
>1	12	12

Электробезопасность обеспечивается конструкционными методами защиты электрооборудования, техническими методами защиты, а так же проведениями учебных и организационных мероприятий.

Обеспечение защиты работников от напряжения, появившееся в результате износа или повреждения изоляционных материалов, происходит благодаря защитному заземлению. Проводником выступают стальные трубы и «нули» проводки, которые надежно соединены нейтралью трансформаторов.

Металическая кровля выступает мониеприеником, а арматура колонн и фунтамента – молниотвода и заземлителя.

8.2.2. Пожаровзрывобезопасность

Документ, регламентирующий пожаровзрывоопасность: является ГОСТ 12.1.004-91 "Пожарная безопасность. Общие требования".

Общие положения:

Пожаровзрывоопасность в первую очередь обеспечивается наличием системы подаротушения, а так же пожарозащиты.

Основные свойства газового топлива:

Газообразное топливо состоит из смеси горючих и негорючих газов. К горючим относятся углеводороды, а не горючие – азот, углекислый газ, кислород.

Токсичность: способность отравлять человека, при попадании в дыхательную систему. В большей части это относится ко входящим в состав продуктов неполного сгорания топлива, или химического недожога. Наиболее опасным является оксид углерода, из-за его вмешательства в процесс усвоения кислорода организмом. Так же вредными для человеческого организма являются оксиды серы и азота.

Один из факторов возникновения аварийной и пожаровзрывоопасной ситуации – концентрационный предел воспламенения. Их разделяют на нижний и верхний. Это максимальная и минимальная концентрация горючего газа и окислителя при котором распространение пламени по смеси возможно без ограничений.

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» процессы котельного цеха относятся к категории пожаровзрывоопасности «Г».

Согласно СП к категории «Г» относятся здания, в котором Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Защита от пожароопасных ситуации происходит при правильном поборе огнеупорных материалов, правильной компоновкой огнестойких преград, а так же наличием и исправным функционированием противопожарных систем.

Котельные агрегаты с камерным сжиганием газа и угля обязательно комплектуются взрывными клапанами. Их общая площадь берется из расчета 1 к 4 объема топки/газохода. Их установка производится в местах, где максимально исключен шанс получения травмы персоналом. Но если такая возможность отсутствует, то необходимо установить отбойный щит.

Система подающих газопроводов имеет устройство, которое, в случае появления аварийной ситуации обеспечивает удаление газа в помещения, безопасное для персонала.

Системы пожарной безопасности должны характеризоваться уровнем обеспечения пожарной безопасности людей и материальных ценностей, и выполнять одну из следующих задач:

-минимизировать риск возгорания

-обеспечивать безопасность людей

-обеспечить сохранность материальных ценностей

-обеспечение пункта 2 и 3 одновременно

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности являются:

-пламя и искры

-повышенная температура окружающей среды

-дым

-пониженная концентрация кислорода

-осколки, части разрушившихся аппаратов

-радиоактивные и токсичные вещества и материалы

-электрический ток, возникающий в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций

Для обеспечения пожаровзрывобезопасности необходимо:

-реализовать решения, которые соблюдают нормы пожаровзрывоопасности оборудования и помещения;

-поддержание нормативно-технической документации;

-использование средств защиты и предупреждения пожара;

-использование систем защиты и пожаротушения.

Средства для защиты и предотвращения пожара должны исключить возможность появления горючей среды, или же появления источника зажигания внутри горючей среды:

-Система сброса давления, при возгорании оборудования

-Подавление взрыва внутри аппаратов и оборудования

9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Темой выпускной квалификационной работы – является реконструкция существующего котельного оборудования, а именно котельного агрегата БКЗ-210-140Ф ст.№5 для сжигания Сарыкольского угля. Целью является увеличения парка котельных агрегатов, работающих на твердом топливе, а так же начала полноценного использования АСУГ «КВИНТ» на данном котельном агрегате.

9.1 Определение экономической эффективности проекта реконструкции агрегата БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля

Для оценки экономической эффективности принятых технических решений выполним расчет капитальных затрат «до» и «после» реконструкции котельного агрегата, рассчитаем срок окупаемсоти. Так же произведем расчет стоимости 1 Гкал теплоты, после проведения реконструкции.

9.1.1 Смета капитальных затрат на реконструкцию горелок

Капитальные затраты на предлагаемую реконструкцию агрегата рассчитываем по формуле (9.1)

$$К = С_{монт} + С_{мел} + С_{ПСУ} + С_{сепар} + С_{мдр} + С_{пт} \quad (9.1),$$

где $С_{монт}$ – стоимость дополнительных материалов, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$С_{мел}$ – стоимость мельниц с доставкой, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$С_{ПСУ}$ – стоимость ПСУ с ЧРП, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$С_{сепар}$ – стоимость сепараторов для мельниц, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$С_{мдр}$ – расходы на монтажно-демонтажные работы, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$С_{пт}$ – затраты на разработку проекта, транспортные расходы, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

К=89951,8+28852+18600000+2335470+1354773,4 =2212352,2 тыс.руб.

Все расчеты капитальных затрат сведем в таблицу 9.1

Таблица 9.1 – Капитальные затраты

Наименование	Величина, тыс. руб.
1	2
Расходы на закупку материалов и оборудования:	

Продолжение таблицы 9.1

1	2
Комплект мельниц с доставкой ПСУ с ЧРП Сепараторы для мельниц	89951,80 28852,00 18600000,00
Расходы на монтажно-демонтажные работы	2335470,00
Расходы разработку проекта, транспортные расходы	1354773,40
Капитальные затраты, всего	2212352,2

Расчет прибыли, полученной от утилизации демонтируемого оборудования происходи по формуле (9.2):

$$K_{ликв} = M_{об} \cdot И_{кг}, \quad (9.2)$$

где $M_{об}$ =1903,4 кг – масса демонтируемого оборудования (по данным ПЭО) [36]

$И_{кг}$ = 150р/кг – стоимость одного килограмма оборудования, при сдачи в утиль.

$$K_{ликв} = 1903,4 \cdot 150 = 285523,00 \text{ руб}$$

9.1.2 Расчет текущих затрат на использование котла

Затраты связанные с остановкой котла рассчитываем по формуле (9.2)

$$И_{\sum} = И_{т} + И_{NOx} + И_{п.о} \quad (9.2)$$

где $И_{т}$ – стоимость топлива, тыс. руб./год (по данным ПЭО) [36]

$И_{п.о}$ – затраты на пуск и остановку котла для расшлаковки, тыс. руб./год (по данным ПЭО) [36]

$И_{\sum}$=104+1357120,39=1357224,39 тыс.руб/год

Стоимость затрат, связанных с остановкой котла при снижении газопотребления по данным сметного отдела приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 - Затраты связанные с остановками котла

Наименование	Величина, тыс.руб/год
1	2
Пуск и остановка котельного агрегата, консервации при остановке (5 раз в год)	104

Продолжение таблицы 9.2

1	2
Стоимость топлива	1357120,39
Затраты за год	1357224,39

Затраты связанные с работой котла после реконструкции определяются по формуле (9.3)

$$И_{\sum} = И_{т} + И_{п.о} + И_{рем} \quad (9.3)$$

где $И_{т}$ – стоимость топлива, тыс. рубгод (по данным ПЭО) [36]

$И_{п.о}$ – затраты на пуск и остановку котла для расшлаковки, тыс. руб. (по данным ПЭО) [36]

$И_{рем}$ – расходы на ремонт систем пылеприготовления (I и II групп сложности) , тыс. руб./год (по данным ПЭО) [36]

$$И_{\sum}=41,6+237693,98+237210,25=237650,15 \text{ тыс.руб/год}$$

Текущие затраты работы котла после реконструкции по данным сметного отдела приведены в таблице 9.3 .

Таблица 9.3 – Текущие затраты на эксплуатацию котла после реконструкции

Наименование	Величина, тыс.руб/год
1	2
Затраты на остановка и пуск котла для расшлаковки (1 раз в 6 месяцев)	41,6
Стоимость топлива	237210,25
Ремонт систем пылеприготовления (I и II групп сложности)	237693,98
Текущие затраты за год	237650,15

Экономия денежных средств в год после изменений рассчитывается по форумуле (9.4)

$$\Delta И = И^{и}_{г} – И^{н}_{г,}, \quad (9.4)$$

где $И^{и}_{г}$ - суммарные затраты исходного варианта, тыс.руб./год.

$И^{н}_{г}$ – суммарные затраты нового варианта, тыс.руб./год.

$$\Delta И =1357224,39 -237650,98 =1119573,41 \text{ тыс. руб/год}$$

Расчет не принимает во внимание прибыль, полученную от продажи электроэнергии.

Произведем расчет стоимость одной Гкал теплоты, по формуле (9.5)

$$С_{Гкал}=И_{\sum}/Q_{год} \quad (9.5)$$

Где $Q_{год}$ = 1,4 · 10^6 Гкал/год - Годовой расход теплоты (по данным ПЭО) [36]

$$С_{Гкал}=237650,15\cdot10^3/1,4\cdot10^6=270 \text{ руб.}$$

9.1.3 Расчет окупаемости проекта

Окупаемость проекта рассчитывается по формуле (9.6)

$$Т=\frac{К-К_{ликв}}{\triangle И}, \quad (9.6)$$

где К – капитальные затраты, тыс.руб

$К_{ликв}$ – прибыль, полученная от утилизации демонтируемого оборудования

ΔИ – экономия текущих затрат тыс.руб./год.

$$Т=\frac{2212352-285523}{1119426,41}=1,7=1 \text{ год и 5 месяцев}$$

Вывод: Годовые затраты при работе котельного агрегата с исходным вариантом расположения горелочных устройств и газообразном топливе выше, чем предложенный. Срок окупаемости 1 год и 5 месяцев < 5 лет.

9.2 – SWOT-анализ вариантов технических решений

Для анализа технического решения используется SWOT анализ. Составляются две матрицы, в каждой приводятся сильные (S), слабые (W) стороны технического решения, его возможности (O) и последствия (T) осуществления.

Основными преимуществами SWOT-анализа является его простота и наглядность, он позволяет объективно оценить текущее положение дел и положение дел после реализации проекта

В таблице 9.4 рассмотрим ситуацию да реконструкции

Таблица 9.4- SWOT анализ проекта без реконструкции

S(сильные стороны)	**W(слабые стороны)**
-Использование только природного газа увеличивает ресурс котла	-Отсутствует возможность выбора топлива для котельного агрегата. Невозможность полноценно использовать АСУГ «КВИНТ»

Продолжение таблицы 9.4

О(возможности) - Большой спрос на тепловую и электроэнергии	**Т(угрозы)** -Угроза остановки работы котельной, при отключении подачи газообразного топлива.

В таблице 9.5 посмотрим вариант после реконструкции

Таблица №9.5- SWOT анализ проекта с реконструкцией

S(сильные стороны) - Удержание оптимальной нагрузки при остановке подачи газа. - Полная реализация АСУГ при работе на газообразном топливе -затраты на проектные работы незначительны -Уменьшение себестоимости тепловой энергии; - Выход ЧТЭЦ-2 на новую ступень конкурентоспособности.	**W(слабые стороны)** - Дополнительные затраты на топливо. -Затраты на изменения расположения горелок.
О(возможности) - Стабильный спрос на тепловую и электроэнергии.	**Т(угрозы)** -Возможность возникновения перебоев в режиме работы котла из-за поставки угля, качество которого не совпадает с расчетным.

Вывод: Исходя из результатов SWOT анализа, можно сделать вывод о о том, что данная реконструкция улучшит работу котельного агрегата, а так же уменьшит количество выбросов NO_x, в сравнении с работой на проектном угле.

9.3 Планирование целей проекта

Определение целей и задач проекта является началом реализации реконструкции котельного агрегата ст.№5 ЧТЭЦ-2, позволяют оценить необходимость и эффективность данного проекта.

9.3.1 Планирование целей предприятия в пирамиде целеполагания предприятия

Основной задачей реализации принятых технических является гарантия бесперебойного производства тепловой энергии заданной мощности для покрытия

нужд все существующих абонентов ТЭЦ

В ходе работ требуется разработать и согласовать проект по реконструкции котельного агрегата БКЗ-210-140Ф Челябиснкой ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля, заключить договоры на поставку оборудования, монтажные и демонтажные работы, а так же работы по пуску и наладке.

На рисунке 9.1 приведена пирамида целеполагания Челябинской ТЭЦ-2.

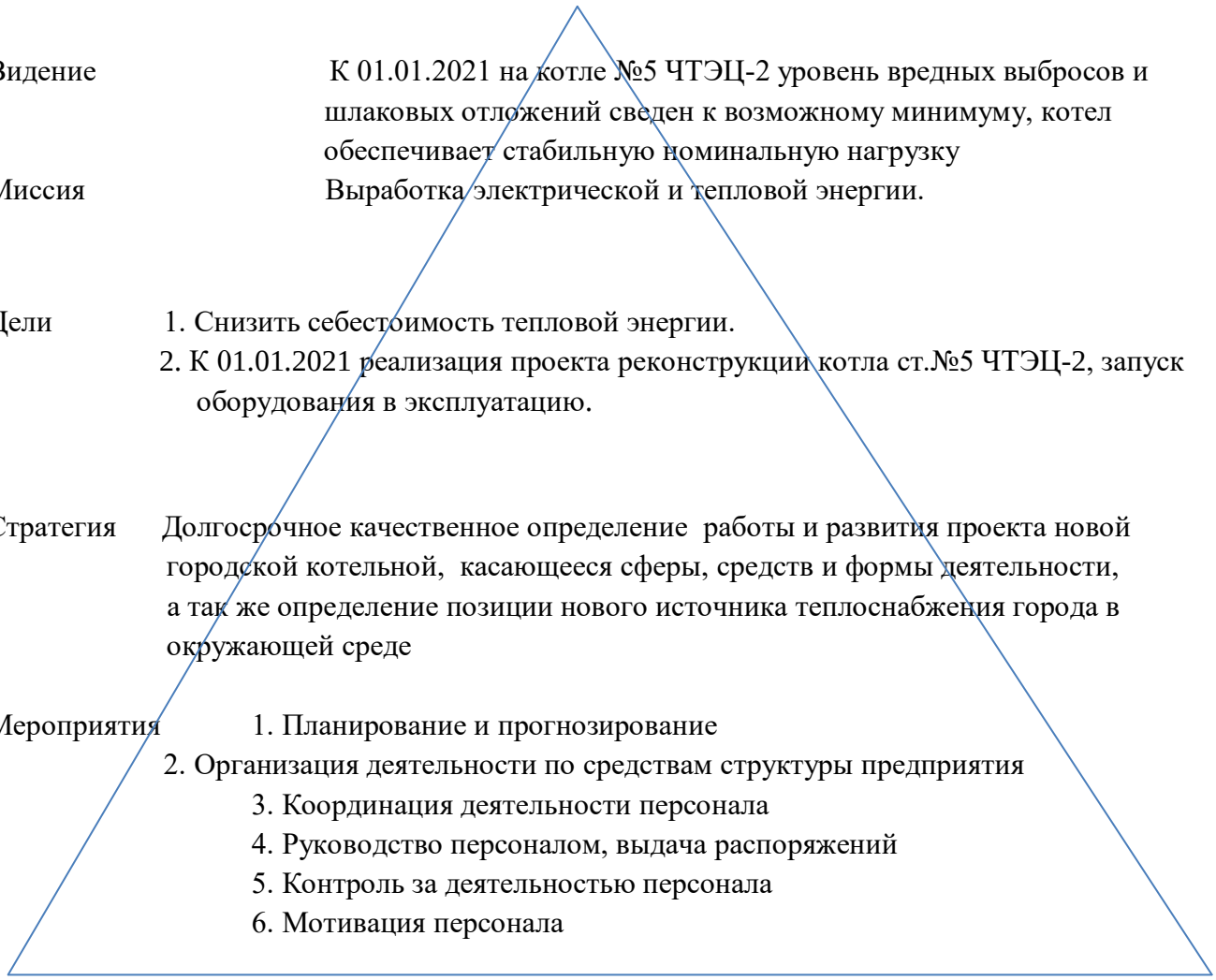

Рисунок 9.1 - Пирамида целеполагания Челябинской ТЭЦ-2

9.3.2 Планирования целей ЧТЭЦ-2

Дерево целей показывает нам принцип и способ достижения главной цели, путем выполнения совокупности второстепенных целей.

Дерево целей – это структурная совокупность целей организации, построенная по иерархическому принципу, и необходимая для достижения данного проекта. Это визуальное представление достижений цели, принцип которого – является достижение миссии за счет совокупности второстепенных и

дополнительных целей.

Миссия- описывает деятельность компании в настоящее время, предназначения в условиях постоянно изменяющейся внешней среды. Реализуется через стратегии, которые так же показаны на дереве целей.

Дерево целей проекта реконструкции котельного агрегата ст.№5 БКЗ-210-140Ф Челябинской ТЭЦ-2 для сжигания Сарыкольского угля предоставлена на рисунке 9.2

Рисунок 9.2 – дерево целей проекта

9.3.3 Модель поля сил и эффективности реализации проекта

Модель сил позволяет увидеть реальную модель и наглядно оценить влияние различных факторов на данный проект.

На этапе проектирование реконструкции котельного агрегата ст.№5 оценим влияние различных факторов на достижение цели. Соотношение движущих и сдерживающих сил представим в виде поля сил К.Левина на рисунке 14.3.

Сильной движущей силой является наличие денежных ресурсов (1), так как для реализации проекта необходимы капиталовложения. Средней движущей стороной являются: изношенность вспомогательного и основного оборудования(2), а так же старт полноценного использования АСУГ «КВИНТ» на котельном агрегате БКЗ-210-140Ф ст.№5 Челябиснкой ТЭЦ-2(3). Старое

оборудование не позволяет использовать его в нужном режиме, что сказывается безопасности и полноценность его использования. Новое оборудование поможет полноценно использовать АСУГ «КВИНТ», что является явным плюсом. Действительно до реконструкции его использование было ограничено. И слабыми действующими силами является уменьшение выбросов NO_x(4), а так же наличие нужных горелочных устройств на складе ЧТЭЦ-2(5). Уменьшение количества выбросов положительно скажется на экологической обстановке, а наличие горелочных устройств не потребует дополнительных затрат.

Сильной сдерживающей силой является затраты на доставку Сарыкольского угля(1), т.к для данного котла применяется Челябинский уголь, а добыча Сарыкольского происходит в Казахстане. Средней сдерживающей силой является дополнительные затраты на реконструкцию(2), что включает в себя восстановление пылесистем котельного агрегата.

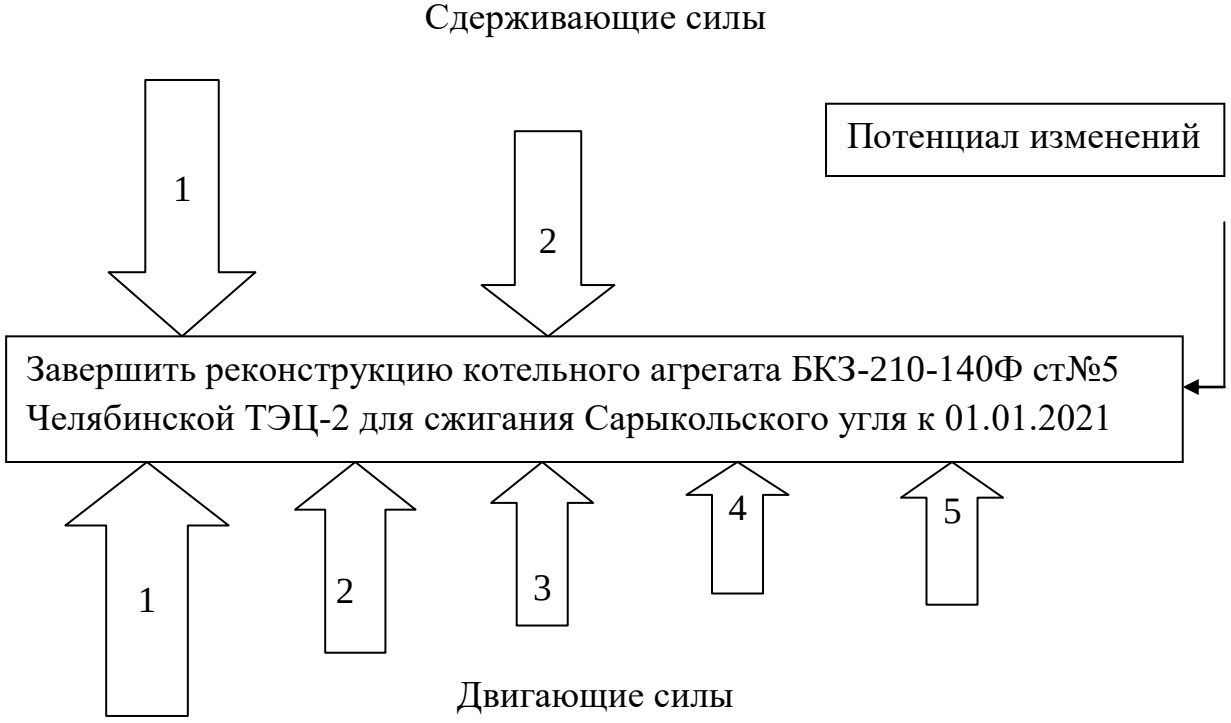

Рисунок 9.3 – Поле сил К. Левина

Вывод: Анализ поля сил показывает нам преобладание движущих сил над сдерживающими, что говорит о том, что данная цель на ЧТЭЦ-2 выполнима.

9.3.4 Ленточный график Ганта

Небольшой комплекс работ может быть показан в виде ленточного графика по этапам проектных работ. По этапам назначаются исполнители и ориентировочная продолжительность работ.

В качестве примера приводится сильно упрощенный график реконструкции котельного агрегата, в таблице 9.6.

Таблица 9.6- График реконструкции котла на 2020

Элемент работы	Исполнитель	Кол-во исполн.	2020 г. Продолжительность этапа, месяца																	
			Сентябрь				Октябрь				Ноябрь				Декабрь				Январь			
1	2	3	4				5				6				7				8			
Разработать возможные варианты реконструкции к 31.09.2019	Проектный отдел	5																				
Предоставить готовый проект к 01.10.2020	Проектный отдел	5																				
Закупить и доставить необходимое оборудование к 01.11.2020	РСУ	10																				
Произвести монтаж пылесистем к 20.11.2019	РСУ	20																				
Произвести проверку оборудования и пробный пуск на новом топливе к 07.01.2020	Основ. производство	4																				
Ввести в эксплуатацию к 20.01.2021	Основ. производство	4																				

9.4 Основные технико-экономические показатели реализации проекта

Для сравнения оценки и преимуществ реконструкции котельного агрегата выделим основные экономические показатели проекта. Основные тенхнико-экономические показатели проекта приведены в таблице 9.7

Таблица 9.7- Основные экономические показатели реконструкции системы сжигания и перевода на Сарыкольский бурый уголь.

Наименование	Единица измерения	Величина
1	2	3
Капитальные затраты	тыс.руб	143612,96
Годовая экономия	тыс. руб/год	1119573,41
Срок окупаемости	Месяц	4
Себестоимость 1 Гкал теплоты	руб./Гкал	257

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сжигание угольного топлива факельным методом в топочных камерах современных котлоагрегатов, является одной частью в цепи производства перегретого пара, электрической энергии, а также отпуска тепла. Всё вместе это весьма сложный и разносторонний технологический процесс. Он не имеет конкретной последовательности, не смотря на то что был разработан и применён на практике в далёком XX веке. Ввиду этого большая часть котельных агрегатов обладают техническими проблемами, завязанными на выходе на проектные параметры раб. среды, организация дальнейшей эксплуатации в надёжном режиме, а также безаварийной работе при вводе в эксплуатацию промышленного оборудования. Как правило это является основной проблемой при сжигании угольной пыли совместно или раздельно с газом.

При изменении параметров угольного топлива, или характеристик рабочей среды, возникают последствия. А именно необходимость для достижения номинальной нагрузки использовать непроектное топливо.

Нынешние нормы процесса сгорания угольного топлива устанавливают тенденцию повышения технических, а также экономических показателей, но и требований по улучшению экологической стороны процесса производства. Дифференцированность теплофизических параметров угольного топлива, поступающего в топочную камеру, отклонение от требуемых нормативов перегретого пара на Челябинской ТЭЦ-2. Всё это привело к необходимости проведения различного рода изменений. В связи с этим в данной работе предложен проект по переводу котельного агрегата на Балахтинский бурый уголь

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 12.1.038-01 ССБТ «Электробезопасность. Предельно-допустимые нор-мы напряжений прикосновений токов». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 6 с.

2 ГОСТ 12.1.030-01 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление» официальное издание, – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8 с.

3 ГОСТ 12.1.004-02 «Пожарная безопасность. Общие требования». Официальное издание, – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

4 ГОСТ 12.1.010-02 ССБТ «Взрывобезопасность. Общие требования». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

5 ГОСТ 12.2.049-02 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.

6 ГОСТ 12.2.013.0-91 СББТ «Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытаний». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006. – 56 с.

7 ГОСТ 12.1.041-83 «Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

8 ГОСТ 12.1.041-83 «Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 43 с.

9 ГОСТ 27331-87 «Пожарная техника. Классификация пожара». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 67 с.

11 ГОСТ Р 53307-2009 «Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытания на огнестойкость». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2009. – 35 с.

12 Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 (ред. от 29.06.2018) «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»

13 «Правила противопожарного режима в РФ». – утверждены правительством РФ от 25 апреля 2012 г. №390.

14 «Изменения в правила противопожарного режима». – утверждены правительством РФ от 17 февраля 2014 г. №113.

15 Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

16 Энергетические угли восточной части России и Казахстана: Справочник / В.В. Богомолов, Н.В. Артемьева, А.Н. Алехнович, Н.В. Новицкий (УралВТИ), Н.А. Тимофеева (СибВТИ). – Челябинск, УралВТИ, 2004.

17 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / под ред. Н.В. Кузнецов, – 2е. изд. перераб. / РЕПРИНТ. – М.: ЭКОЛИТ, 2012. – 297с.

18 Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): Учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.

19 Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов / Под ред. Э.Х. Вербовецкого, Н.Г.Жмерика // СПб, ВТИ-ЦКТИ, 2006. – 270 с.

20 Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. – М.: Изд-во МЭИ. 1999-168с.

21 Пак, Г.В. Котельные установки промышленных предприятий. Тепловой расчет промышленных котельных агрегатов: Учебное пособие. 2-е изд. перераб и доп. – Братск: БрГТУ, 2002. – 135с.

22 Тепловые электрические станции: учебное пособие для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов – М.: МЭИ, 2005. – 128с.

23 Фокин, В.М. Расчет и эксплуатация теплоэнергетического оборудования котельных: учеб. пособие с грифом УМО «Теплоэнергетика» / В.М. Фокин. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2004. – 156 с.

24 Тепловой расчет котлов: нормативный метод – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

25 Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): справочное издание / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский, А.Б. Усачев. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.

26 Швыдкий, В.С. Теоретические основы очистки газов: учебник для вузов / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев, Д.В. Швыдкий. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 502 с.

27 Справочник энергетика/ В.И. Григорьев и др.; под ред. А.Н. Чохонидзе. – М.: Колосс, 2006. – 356 с.

28 Плетнев, Г.П., Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 248 с.

29 Грибанов, А.И. Расчет дымовой трубы. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Вопросы экологии при эксплуатации теплоэнергетического оборудования», Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 22 с.

30 Грибанов, А.И. Очистка дымовых газов. / А.И. Грибанов. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. – 51 с.

31 Пугач, Л.И. Энергетика и экология. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 234 с.

32 Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учебное пособие для вузов/ А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под ред. А.С. Седлова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 198 с.

33 Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов /С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В, Ильницкая и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. 5-е изд. Исправленное и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 605 с.

34 Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки "Теплоэнергетика и теплотехника": Учебное пособие/ А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 36с.

35 Выпускная квалификационная работа: структура, требования к оформлению и нормконтролю: методические указания/ сост. Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 47с.
36 http://www.fortum.ru – главный сайт предприятия ПАО «Фортум».
37 http://www.rosteplo.ru – электронная библиотека тесплоснабжения.
38 http://bkzn.ru/ – сайт Барнаульского котельного завода.
39 https://ngpedia.ru/ – электронная библиотека теплоэнергетика.
40 https://ru.wikipedia.org – электронная библиотека википедия.
41 https://minenergo.gov.ru/ – сайт министерства энергетика РФ.