

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
Институт «Политехнический»
Факультет «Заочный»
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»
Направление 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, начальник
паросилового цеха ООО «Мечел-Энерго»
_____ В.В. Мартынов
«__» _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»,
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
«__» _____ 2017 г.

**ПЕРЕВОД КОТЛА Е-220-3,2-4125-ГД ТЭЦ ЧФ ООО «МЕЧЕЛ-ЭНЕРГО» НА СЖИ-
ГАННИЕ СМЕСИ КОКСОВОГО И ДОМЕННОГО ГАЗОВ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ-13.03.01.2018.542.01.ПЗ ВКР

Консультант по разделу
«Экономика и управление»,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«__» _____ 2017 г.

Руководитель работы,
доцент, к.т.н.
_____ Т.Б. Жиргалова
«__» _____ 2017 г.

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«__» _____ 2017 г.

Автор работы,
студент группы П-580
_____ Э.Р.Аблаев
«__» _____ 2017 г.

Челябинск 2018.

АННОТАЦИЯ

Аблаев Э.Р. Перевод котла Е-220-3,2-425-ГД ТЭЦ ЧФ ООО «Мечел-Энерго» на смесь коксового и доменного газов. - Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ, 2018, 91 с., 2 ил., библиогр. список – 47 наим., 1 прил., 7 листов чертежей ф.А1, 1 лист плаката ф.А1.

В данной выпускной квалификационной работе после анализа существующего оборудования ТЭЦ ООО «Мечел-Энерго» предложена модернизация котельного цеха, которая заключается в переводе котельного агрегата первой очереди ст. №4 Е-220-3,2-425ГД на сжигание смеси коксового и доменного газа.

В пояснительную записку входит описание основного оборудования ТЭЦ ООО «Мечел-Энерго», описание конструкции котельного агрегата Е-220-3,2-425ГД, выполнен тепловой расчет котла Е-220-3,2-425ГД смеси топлив: 50% коксового, 50% доменного газа при нагрузке 100%.

В экономической части записки проведен расчет основных технико-экономических показателей.

Также выполнен поверочный расчет дымовой трубы.

Рассмотрена функциональная схема тепловых защит котла.

13.03.01.2018.542.01 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПЕРЕВОД КОТЛА Е-220-3,2-425ГД ТЭЦ ЧФ ООО «МЕЧЕЛ-ЭНЕРГО» НА СЖИГАНИЕ СМЕСИ КОКСОВОГО И ДОМЕННОГО ГАЗОВ			Лит.	Лист	Листов
								В	К	Р
Выполнил		Аблаев Э.Р.			ПЕРЕВОД КОТЛА Е-220-3,2-425ГД ТЭЦ ЧФ ООО «МЕЧЕЛ-ЭНЕРГО» НА СЖИГАНИЕ СМЕСИ КОКСОВОГО И ДОМЕННОГО ГАЗОВ			ЮУрГУ Кафедра «Промышленной теплоэнергетики»		
Руковод.		Жиргалова Т.Б.								
Н. Контр.		Алабугина Р.А.								
Зам.каф.		Осинцев К.В.								

ВВЕДЕНИЕ

Любое современное производство требует определенных затрат тепловой и электрической энергии.

Теплоэлектростанция (ТЭЦ) ООО ЧФ «Мечел-ЭНЕРГО» предназначена для обеспечения комбината доменным дутьем, сжатым воздухом для кислородных блоков, технологическим паром, химочищенной водой, электроэнергией, теплом цехов комбината, предприятий и жилого фонда Metallургического района. Поэтому так важна бесперебойная работа оборудования на предприятии.

История предприятия начинается с 1968 года, когда на основании приказа бывшего Министерства черной металлургии СССР было организовано Челябинское специализированное ремонтно-строительное управление, которое входило в состав специализированного ремонтно-строительного треста «Энергочермет» по ремонту, наладке и проектированию энергетического оборудования предприятий черной металлургии, в дальнейшем, с 1976 года – трест «Востокэнергочермет».

Холдинг ПАО «Мечел» - одна из ведущих компаний в горнодобывающей и металлургической отраслях. В состав холдинга входят такие гиганты современной индустрии, как угольная компания «Южный Кузбасс», ОАО «Коршуновский горно-обогатительный комбинат», ОАО «ЧМК», ОАО «Уральская кузница», ОАО «Ижсталь» и многие другие.

Основным преимуществом ПАО «Мечел» являются тесные связи между предприятиями, объединенными в единую технологическую цепочку, сбалансированную с точки зрения производства сырья, стали и продукции высоких переделов.

Объединив энергоемкие предприятия, ПАО «Мечел» столкнулось с необходимостью снижения затрат на энергоресурсы для обеспечения производственного цикла. Поэтому в 2004 году был создан ООО «Мечел-Энерго», перед которым были поставлены следующие задачи: свести к минимуму стоимость покупной электроэнергии, найти альтернативные рынки, снизить затраты на природный газ, потребляемый предприятиями холдинга. Предстояло также организовать централизованную работу в регионах по заключению договоров на энергоснабжение субабонентов организаций, входящих в группу, расчет и защиту тарифов на электрическую и тепловую энергию.

Сегодня ООО «Мечел-Энерго» не только обеспечивает электроэнергией производственные мощности предприятий компании, но и успешно реализует электро- и тепловую энергию на розничных рынках [1].

В состав ТЭЦ входят цеха: Цех подготовки производства, Котельный, Турбинный цех № 1, Турбинный цех №2, Турбинный цех № 3, Электрический, Химический, Тепловой автоматики и измерений. Производственно-технический отдел.

В 2007 году был пущен в эксплуатацию котле №4 Е-220-3,2-425 на месте 2 очереди, но по параметрам 1-ой. Целью выпускной квалификационной работы является разработка решения о переводе котельного агрегата Е-220-3,2-425 ГД завода ОАО ТКЗ «Красный котельщик» на смесь коксового и доменного газа на ООО ЧФ «Мечел-Энерго».

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ВКР	9
1.1 Основные сведения о ТЭЦ ООО «Мечел-энерго»	9
1.2 Краткое описание технологического процесса ТЭЦ	9
1.3 Обоснование новой энергетической схемы	10
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	12
3 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА Е-220-3,2-425ГДК	14
4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА Е-220-3,2-425	19
4.1 Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания	19
4.2 Расчет теплового баланса парогенератора и расход топлива	23
4.3 Расчет теплообмена в топке	25
4.4 Расчет фестона	28
4.5 Расчет конвективного пароперегревателя	31
4.5.1 Поверочный расчет первой ступени пароперегревателя	32
4.5.2 Расчет второй ступени пароперегревателя	35
4.6 Расчет экономайзера	38
4.7 Расчет воздухоподогревателя	41
4.8 Расчет невязки теплового баланса	43
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	46
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ	49
6.1 Поверочный расчет дымовой трубы	49
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ	55
7.1 Основные положения	55
7.2 Система автоматического регулирования	56

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

7.2.1 Система автоматического регулирования процесса горения	56
7.2.2 Система автоматического регулирования питания котла водой	57
7.2.3 Система автоматического регулирования температуры пар	57
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	58
8.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов	58
8.2 Нормирование факторов рабочей среды и трудового процесса	59
8.2.1 Воздух рабочей зоны	59
8.2.2 Производственное освещение	62
8.2.3 Виброакустические факторы	64
8.3 Безопасность производственных процессов и оборудования	69
8.4 Электробезопасность	70
8.5 Пожаровзрывобезопасность	72
8.6 Эргономика и производственная эстетика	75
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	77
9.1 Техничко-экономический расчет	77
9.1.1 Расчет капитальных затрат на реконструкции	77
9.1.2 Расчет текущих затрат	77
9.1.3 Расчет срока окупаемости	78
9.2 SWOT-анализ вариантов проектных решений	79
9.3 Планирование целей проекта	80
9.3.1 Планирование целей проекта в дерева целей	80
9.3.1 План-график Ганта по реализации целей	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	83
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень оборудования	86

1 ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ ВКР

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.1 Основные сведения о ТЭЦ ООО «Мечел-энерго»

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) находится на территории Челябинского металлургического комбината и предназначена для обеспечения комбината доменным дутьем, сжатым воздухом для кислородных блоков, технологическим паром, химочищенной водой, электроэнергией, теплом цехов комбината, предприятий и жилья Металлургического района. Строительство ТЭЦ было начато в марте 1943 года, осуществлялось в четыре очереди и закончилось в 1979 году. Первый промышленный ток ТЭЦ выдала 21.12.43 г. [1].

Рабочий проект на строительство первых трех очередей ТЭЦ разрабатывался «Теплоэлектропроектом» г. Москва, на IV очередь - «Промэнергопроектом» г. Екатеринбург. При сооружении первой очереди ТЭЦ (1943-1944) использовалось оборудование с ТЭЦ Новолипецкого метзавода. В состав второй очереди (1947-1949) вошло в основном оборудование, поставленное из США. Строительство третьей и четвертой очередей (1954-1970) было выполнено с использованием отечественного оборудования.

В связи с пуском кислородно-конверторного цеха на ТЭЦ в период 1969-1979 г. Осуществлено строительство турбинного цеха № 3 (цех компрессии воздуха) с пятью компрессорами производительностью каждого 3000 м³/мин. По состоянию на 01.01.03. установленная электрическая мощность ТЭЦ составила 230 МВт, установленная мощность агрегатов доменного дутья 82 МВт, установленная мощность турбоагрегатов сжатого воздуха 110 МВт [1].

1.2 Краткое описание технологического процесса ТЭЦ

Задачей технологического процесса ТЭЦ является преобразование энергии сжигаемого в котлах топлива в энергию пара с последующим преобразованием ее в другие виды энергии: электрическую, тепловую, доменного дутья, сжатого воздуха. Газообразное топливо и уголь с топливоподачи после его подготовки (дробления и размола до пылевидного состояния) поступает в топки котлоагрегатов котельного цеха. Тепло, получаемое при сжигании топлива, используется для испарения конденсата и химочищенной воды, подготавливаемой химическим цехом для получения пара заданных параметров: (давление и температура):

I очередь - 32 кгс/см², 425°С III очередь - 100 кгс/см², 500°С

II очередь - 68,6 кгс/см², 482°С IV очередь - 100 кгс/см², 520°С

Пар, выработанный котлами, поступает в турбинные цехи № 1,2,3. В турбинном цехе № 1 6 турбогенераторов вырабатывают электроэнергию.

Часть пара из отборов турбин поступает:

- на технологические нужды комбината с параметрами от 7 до 26 кгс/см²;

- на 6 бойлерных установок, в которых нагревается сетевая вода для

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

теплоснабжения комбината и жилого района.

Электроэнергия, вырабатываемая генераторами через распределительного устройства ПО, 35 и 6 кв, обслуживаемое электроцехом передается цехам комбината.

Турбинный цех № 2 5-ю турбовоздуходувками обеспечивает дутьем доменные печи. Турбинный цех № 3 5-ю турбокомпрессорами обеспечивает сжатым воздухом кислородные блоки кислородно-компрессорного производства.

1.3 Обоснование новой энергетической схемы

Данная тема является актуальной в настоящее время, в связи с постоянно увеличивающимся спросом на электроэнергию, при этом энергоресурсы безостановочно истощаются. Также экономический кризис диктует политику снижения денежных затрат на производство энергии, что может быть достигнуто изменением используемых видов топлива. Перевод котла Е-220-3,2-425-ГД на смесь коксового и доменного газа экономит порядка 25000 м³/ч природного газа, а это 600000 м³/день и 219000000 м³/год. Кроме того коксовый и доменный газы являются экономически более дешевыми относительно природного газа.

Коксовый и доменный газы являются побочными продуктами металлургического производства, выброс их в атмосферу приводит к загрязнению экосистем. Сжигание этих газов в котлах обуславливает получение «бесплатного» топлива и уменьшает количество вредных выбросов.

Опаснейшей ситуацией на ТЭЦ является аварийное отключение природного газа (например, разрыв газопровода), на данный момент это приведет к полной остановке ТЭЦ. Но если хоть один котел работает на альтернативном виде топлива, то, даже при столь опасной ситуации, мы избегаем остановки всей станции. Кроме того, после восстановления газопровода или перевода части котлов на уголь, скорость восстановления нагрузки на генераторах турбин будет гораздо выше.

При переводе котла с природного на коксовый и доменный газы нет необходимости проводить реконструкцию основного оборудования.

В таблице 1 приведем краткую характеристику используемых газов.

Таблица 1 – Характеристика используемых газов

Наименование составляющих, их свойства и параметры	Обозначение	Един. измер.	Состав газов		
			доменный	коксовый	природный
1	2	3	4	5	6
Состав:					
Окиси углерода	СО	%	25-28	7-8	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Углекислого газа	CO ₂	%	-	2-2,5	0,1
Азота	N ₂	%	53-54	1,5-2	0,2
Метана	CH ₄	%	0,3	24-25	98,2
Этана	C ₂ H ₆	%	-	-	0,4
Водорода	H ₂	%	6-7	60-61	-
Кислорода	O ₂	%	-	до 1,0	-
Тяжелые углеводороды	C _n H _n	%	-	1,5-2,0	1,1
Влаги	H ₂ O	г/м ³	20-25	-	-
Плотность		кг/м ³	1,33	0,42-0,43	0,73
Теплотворная способность		кДж/м ³	900	4000	8000
Давление в коллекторе:					
Рабочее	P _p	мм.вод. ст.	800-1000	500-700	(1,0-1,2)*10 ⁴
Минимальное	P	мм.вод. ст.	50	50	200
Температура:					
Воспламенения	t _в	°С	650	550	550
Калометрическая	T _к	°С	1500	2060	2020
Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м ³ газа		м ³ /м ³	1,2	5	9,5
Пределы взрываемости		%	37-64	6-32	5-15
Скорость распространения пламени		м/с	0,56	1,3	0,7

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

При написании выпускного квалификационного проекта были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях, нормативно-законодательные акты.

Согласно Федеральному закону от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»: целью является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности [6].

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергоэффективности будет осуществляться в соответствии с новым Федеральным законом, путем установления, в частности, требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов (в т.ч. установления запретов или ограничений производства и оборота товаров, имеющих низкую энергоэффективность), обязанности проведения обязательного энергетического обследования, обязанности по учету используемых энергоресурсов, требований энергоэффективности зданий, строений, сооружений, требований к «энергетическому паспорту», требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, а также порядка исполнения соответствующих обязанностей [7].

Согласно «Основам государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года» экологическая политика определяет стратегическую цель в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности; основные задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели, и механизмы реализации этих задач [8].

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций [9]. Это подробнейшим образом излагается в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

В выпускной квалификационной работе будет произведен расчет котельного агрегата. Основные принципы теплового расчета приведены в нормативных методиках и рекомендациях, разработанных ВТИ, ЦКТИ [10-11]. Также можно использовать литературу по котельным установкам [12-15]. Книги содержат методику теплового расчета котлов с необходимыми иллюстрациями, таблицами и монограммами.

В научной статье И.В. Белавкин [17] рассматривает задача оптимизации режимов энергетических котлов при сжиганий ВЭР. Потребление топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях составляет существенную долю себестоимости производимой продукции, поэтому в настоящее время большое внимание уделяется использованию вторичных энергетических

ресурсов. Утилизация вторичных энергетических ресурсов дает значительный энергосберегающий эффект, так как позволяет экономить использование основного топлива – природного газа. Помимо получения экономического эффекта, является уменьшение количества отходов для улучшения экологической обстановки, развитие отечественной технологий производства альтернативного топлива в качестве создания резерва для традиционных энергоносителей.

3 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА Е-220-3,2-425ГДК

Котел Е-220-3,2-425 ГДК номинальной производительностью 220 т/ч на параметры пара 3,2 МПа, 425 °С для сжигания природного, доменного, коксового газов и их смесей, устанавливается в здании котельного цеха ТЭЦ ОАО "Челябинский металлургический комбинат" на старые фундаменты вместо отработавшего свой ресурс котла Бабкок-Вилькоккс [3-5].

Состав котла Е-220-3,2-425:

- барабан с сепарационными устройствами;
- камерная топка;
- пароперегреватель;
- пароохладители;
- экономайзер;
- конденсационная установка;
- сепаратор непрерывной продувки;
- сепаратор периодической продувки;
- трубчатый воздухоподогреватель;
- горелочные устройства;
- каркас;
- помосты и лестницы;
- другие элементы в соответствии с ГОСТ 24005-80 «Котлы паровые стационарные с естественной циркуляцией. Общие технические требования».

Паровой котел с естественной циркуляцией, выполненный по П-образной сомкнутой компоновке с симметричным расположением поверхностей нагрева, предназначен для работы с уравновешенной тягой. Котел имеет два самостоятельных потока по водяному и паровому трактам. Котел оборудован топочными устройствами для сжигания топлива и состоит из топочной камеры, опускаемого газохода и отдельно стоящей колонки трубчатого воздухоподогревателя.

В опускаемом газоходе находятся первая и вторая ступени конвективного пароперегревателя и водяного экономайзера. Задний экран топочной камеры служит разделительной стеной между топкой и опускаемым газоходом, и в верхней части имеет окно для перепуска газов из топочной камеры в

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

опускной газоход [3]. Основным топливом является природный газ и смеси газов.

Топочная камера:

Топочная камера имеет призматическую форму с размерами 7046 x 5946 мм и разделена двухсветным экраном на 2 отсека. В каждом отсеке устанавливаются встречно в 2 яруса на фронтальной и задней стенках топки 4 горелки. В нижней и верхней части топка имеет двухсторонний скат под углом 30°. Стены топочной камеры экранированы газоплотными панелями, выполненными из труб диаметром 60 x 4 мм между которыми сварены полосы. Шаг между трубами 80 мм. Панели с коллекторами образуют блоки. Фронтальной и задней экраны состоят из 4 блоков, боковые и двухсветный экраны из 4 блоков каждый. Экраны имеют соответствующие разводки для горелок, пазов, гляделок. Жесткость экранов обеспечивается поперечными балками (поясами жесткости), опоясывающими топку и опускной газоход.

Горелочные устройства:

Горелка вихревая многотопливная.

На котле устанавливаются 8 горелок встречно в 2 яруса на фронтальной и задней стенках топки.

Конструктивно горелка выполнена с индивидуальными подводами горячего воздуха и газообразных топлив. В центральном воздушном канале устанавливается труба для запального устройства и аксиальный аппарат. Затем располагается канал для подачи коксового газа, внутренний канал горячего воздуха, канал для установки газораздающих труб природного газа, периферийный канал горячего воздуха, канал подачи доменного газа.

Во внутреннем канале горячего воздуха устанавливается аксиальный закручивающий аппарат с профильными лопатками, в периферийном канале горячего воздуха устанавливается тангенциальный закручивающий аппарат. Подача природного газа выполняется по двухколлекторной схеме через «малый» коллектор подается 30%, через «большой» - 70%. Такая схема обеспечивает весь требуемый диапазон нагрузок котла и сжигать смеси топлив. Обеспечивает малые выбросы вредных веществ.

Схема циркуляции:

Экраны топочной камеры состоят из 20 блоков. Все блоки экранов включены в контуры естественной циркуляции. Котел имеет двухступенчатую схему испарения. Первая ступень контура из барабана котловая вода поступает в водоопускные стояки, откуда водоподводящими трубами разделяется в нижние коллектора экранов. Пароводяная смесь из верхних коллекторов экранов по пароотводящим трубам отводится в барабан. Вторая ступень испарения (2 контура) циркуляция идет следующим образом: из барабана котловая вода направляется к нижнему коллектору соответствующего блока бокового экрана. Из верхнего коллектора этого блока пароводяная смесь по двум пароотводящим трубам отводится в выносной циклон. Отсепарированный пар из выносных ци-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

клонов поступает в барабан. Производительность 2 ступени испарения - 10,7% от Дном. (номинальный расход пара).

Барабан котла:

Сепарационные устройства испарительных контуров. В качестве внутрикотловой схемы применен вариант двухступенчатого испарения. В первой ступени $D=178,1$ т/час (внутрибарабанные циклоны), во второй ступени $D=23,5$ т/час (четыре выносных циклона). Паропроводительность кипящего водяного экономайзера 18,4 т/час.

Котел имеет один барабан, рассчитанный на нагрузку 220 т/час при давлении в барабане 45 кгс/см^2 . Внутренний диаметр барабана 1500 мм, толщина стенки 45 мм, длина цилиндрической части 11 м. В нем размещены сепарационные устройства внутрибарабанные циклоны диаметром 315 мм, потолочный жалюзийный сепаратор. Для равномерной нагрузки парового пространства барабана над потолочным сепаратором установлены потолочные дырчатые листы. Питательная вода раздается по длине барабана перфорированными коллекторами, расположенными в паровом объеме. Котловая вода из барабана поступает в первую ступень испарения по трем опускающим стоякам диаметром 273 x 20 мм; во второй ступени по четырем трубам диаметром 133 x 7 мм. Средний уровень воды в барабане предусмотрен на 100 мм ниже его оси. Допустимые эксплуатационные отклонения уровня до ± 50 мм среднего. Для предупреждения захвата пара в водоопускные стояки, над ними предусмотрены успокоительные решетки.

В качестве первичных сепараторов первой ступени испарения в барабане установлено 48 внутрибарабанных циклона диаметром 315 мм с колпаками и крестовинами: по 24 циклона с фронтальной и задней сторон.

В связи с тем, что число труб, подводящих пароводяную смесь от топочных экранов к барабану меньше необходимого числа циклонов, внутрибарабанные циклоны устанавливаются на групповых раздающих коробках. Количество циклонов определяется допускаемой паровой нагрузкой на один циклон.

Во вторую ступень испарения включены четыре крайние панели боковых экранов топки, которые замкнуты на четыре выносных циклона диаметром 426 x 20 мм. Подвод пароводяной смеси от каждой панели выносному циклону осуществляется двумя трубами диаметром 133 x 7 мм.

Выносные циклоны связаны попарно трубами диаметром 133 x 7 мм. Непрерывная продувка осуществляется из нижней части всех выносных циклонов одновременно.

В качестве второго сепаратора на весь расход пара (220 т/час) применен жалюзийный потолочный сепаратор. В соответствии с этим подвод пара в барабан от выносных циклонов осуществляется ниже потолочного сепаратора. Степень перфорации потолочного листа определяется максимально допустимой скоростью пара в отверстиях листа.

Газоплотное ограждение опускаемого газохода:

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Опускной газоход имеет призматическую форму с размерами в плане 6000 x 4000 мм. Боковые стены и потолок, переходящий в заднюю стену опускающего газохода экранированы газоплотными панелями, выполненными из труб диаметром 32 x 4 мм с шагом 52 мм. Панели с коллекторами образуют блоки. Задний экран газохода состоит из 4 блоков, а боковые экраны из 2 блоков каждый. Они включены в паровой тракт котла. Экраны имеют соответствующие разводки для лазов и лючков. Материал панелей газоплотных ограждений - сталь 20. Для создания плотности котла все проходы поверхностей нагрева через экраны уплотнены специальными коробами.

Конвективный пароперегреватель:

Конвективный пароперегреватель котла состоит из 2-х ступеней.

Первая ступень (по ходу пара) двухзаходная, выполненная из труб диаметром 38 x 4 мм (сталь 20) с шахматным расположением пакетов змеевиков ($S_1=156$ мм, $S_2=45$ мм). Движение среды прямоточное.

Вторая ступень трехзаходная, выполненная из труб диаметром 38 x 4 мм (сталь 20, 12 Х1МФ) с шахматным расположением змеевиков ($S_1=156$ мм, $S_2=45$ мм). Крепление пакетов пароперегревателя осуществляется с помощью подвесных труб, охлаждаемых средой после водяного экономайзера. Опорными элементами на подвесных трубах являются крючки.

Регулирование температуры перегретого пара:

Пароперегреватель выполнен двухпоточным. Оба потока симметричны. Впрыск конденсата в пароохладитель осуществляется за счет разности давлений в пароохладителе и конденсатной установке. Кроме конденсата в пароохладитель может подаваться питательная вода, что необходимо при отдельных режимах работы. Номинальная температура пара поддерживается автоматически на выходе из котла в диапазоне нагрузок - 100-60% Дном регулятором путем измерения степени открытия регулирующего клапана на линии подвода конденсата на впрыске в пароохладитель.

Впрыскивающие пароохладители:

Впрыскивающий пароохладитель представляет собой трубу, в которой размещена защитная рубашка, состоящая из трубы Вентури и цилиндрической части, и впрыскивающего устройства. Конденсат подается через впрыскивающее устройство в самом узком сечении трубы Вентури. Испарение большого количества конденсата защитной рубашкой.

Водяной экономайзер:

Водяной экономайзер мембранного типа расположен в конвективной шахте котла. Экономайзер состоит из двух частей по высоте с ремонтным разъемом между ними. Пакет экономайзера состоит из двух змеевиков (трубы диаметром 28 x 4 мм), которые обрешены с двух сторон с помощью полосы 3 x 32 мм из стали 20, приваренной к трубе посредством сварки токами высокой частоты. Между собой змеевики соединены электрозаклепками по торцам ребер с шагом 300 мм. Пакеты расположены перпендикулярно фронту котла в шахматном порядке с поперечным шагом $S_1=78$ мм и продольным шагом $S_2=45$ мм. Крепле-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

ние и дистанционирование пакетов экономайзера в блоке производится с помощью трех рядов специальных скоб, которые с одной стороны крепятся к соединительным листам, крепящихся с помощью стоек с коллекторами, с другой стороны – с пакетами. Входной и выходной коллекторы выполнены из трубы диаметром 219мм (Ст. 20). ВЭ по глубине шахты состоит из 8 блоков (4 верхних и 4 нижних). В один поток входят по 2 верхних и 2 нижних блока. Весь ВЭ подвешивается к потолочному перекрытию конвективной шахты на подвесных трубах, приваренных в виде штуцеров к выходным камерам.

Трубчатый воздухоподогреватель:

Отдельно стоящий блок трубчатого воздухоподогревателя (ТВП), представляет собой двухступенчатую поверхность нагрева с размерами в плане по осям труб 7487х3192мм. Первая ступень по ходу газов состоит из 1 ряда кубов и секции высотой 4м (2 куба и 1 секция), вторая ступень состоит из 1 ряда кубов (2 куба) и 1 секции высотой 5м. Кубы и секции состоят из труб диаметром 40 х 1,5 мм, с шахматным расположением $S_1=60\text{мм}$, $S_2=42\text{ мм}$, трубной доски (толщиной 20мм). Кубы воздухоподогревателя связаны между собой перепускными коробами.

Схема трубопровода в пределах котла:

Питательная вода подводится к узлу питания одним трубопроводом, на котором установлена арматура Ду=200: задвижка с электроприводом, клапан регулирующий и клапан обратный. Регулирующий клапан и задвижка байпасируются линией с арматурой Ду=80: задвижка с электроприводом и клапан регулирующий. Байпас Ду=80 предназначен для питания котла водой при растопочных нагрузках и заполнения котла водой.

Питательная вода, пройдя узел питания, поступает в конденсационную установку, а затем во входные коллектора экономайзера. От экономайзера вода подводится к барабану. От барабана насыщенный пар поступает к пароперегревателю и к конденсационной установке. Конденсат по линиям впрыска Ду=20, на которых установлены клапан регулирующий, вентиль запорный и измерительная диафрагма, поступает во впрыскивающие устройства пароохладителей.

Из барабана предусмотрена линия аварийного сброса.

Подвод пара на расхолаживание барабана осуществляется двумя трубопроводами с вентилями Ду=20.

Для непрерывной продувки предусмотрен трубопровод, на котором установлен вентиль Ду=20 и клапан регулирующий Ду=20. Сброс котловой воды осуществляется одновременно из 4 выносных циклонов.

Кроме того, на котле предусмотрены линии солевого перемешивания и регулирования солевой кратности, линии воздушников, линии дренажей, линия продувки пароперегревателя.

Газовоздушный тракт котла:

Подача воздуха в котел производится двумя вентиляторами типа ДВН-20. В случае необходимости, для предварительного подогрева воздуха возможно включать линию рециркуляции горячего воздуха на всас дутьевого вентилято-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.542.01 ПЗ

ра. После трубчатого воздухоподогревателя (ТВП) горячий воздух подается в горелки, расположенные в два яруса по 4 штуки на фронтальной и задней стенах топки. Дымовые газы после ТВП отводятся в дымовую трубу, расположенную на отметке 11,75 м двумя дымососами типа ДН-22хО,62ГМ. Дымососы устанавливаются на этой же отметке.

Для снижения выбросов окислов азота при сжигании природного газа предусмотрен дымосос рециркуляции ВГДН-17 (1 шт.). Газы рециркуляции подаются в короб общего воздуха перед горелками.

4 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА Е – 220 – 3,2 – 425ГД

Котел Е-220-3,2-425 ГДК номинальной производительностью 220 т/ч на параметры пара 3,2 МПа, 425 °С для сжигания природного, доменного, коксового газов и их смесей [3-5].

1. Паропроизводительность агрегата $D = 220 \text{ т/ч} = 61,111 \text{ кг/с}$
2. Давление свежего пара $P = 3,2 \text{ МПа}$
3. Температура перегретого пара $t_{\text{пе}} = 425^\circ\text{C}$
4. Температура питательной воды $t_{\text{пв}} = 145^\circ\text{C}$

Тепловой расчет котла будем выполняться на смеси топлив:
50% доменного газа и 50% коксового газа.

Характеристика топлива приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Характеристика топлива

Газ	Компоненты									Сум- ма%
	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	CH ₄	O ₂	C ₂ H ₆	H ₂ O	Q _H ^P МДж/м ³	
Доменный	14,3	25,4	6,6	53,7	-	-	-	-	3,93	100
Коксовый	2,0	5,9	57,2	8,3	22,3	1,4	2,3	0,6	14,92	100
50%кокс- ый+50% доменный	8,15	15,65	31,9	31	11,15	0,7	1,15	0,3	9,425	100

4.1 Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания.

Все объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания рассчитываются на 1м³

											Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ						

сухого газообразного топлива при нормальных условиях, расчет производится согласно [11] и записан в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1 - Объемы воздуха и продуктов сгорания

Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения	Единица	коксовый+ доменный
1	2	3	4	5
Теоретическое количество воздуха	V^0	$V^0 = 0,0476 [0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + \square(m + n/4)C_mH_n - O_2]$	$\frac{M^3}{M^3}$	$(0,5*15,65+0,5*31,9+2*11,15+3,5*1,15-0,7)*0,0476 = 2,351$

Продолжение таблицы 4.1.1

1	2	3	4	5
Теоретический объем азота	$V_{N_2}^0$	$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{N_2}{100}$	$\frac{M^3}{M^3}$	$0,79*2,351+31/100=2,167$
Объем трехатомных газов	V_{RO_2}	$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + \sum mC_mH_n]$	$\frac{M^3}{M^3}$	$0,01*(8,15+15,65+11,15+2*1,15)=0,3725$
Теоретический объем водяных паров	$V_{H_2O}^0$	$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot [H_2 + \sum \frac{H}{2} \cdot C_mH_n + 0,124 \cdot d_{г.топ}] + 0,0161 \cdot V^0$	$\frac{M^3}{M^3}$	$0,01*(31,9+2*11,15+3*1,15+0,124*13)+0,0161*2,351=0,63$

Выбираю коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T и присосы воздуха по газоходам $\Delta\alpha$ и находим расчетные коэффициенты избытка воздуха в газоходах α'' . Результаты расчетов сводим в таблицу 4.1.2.

Таблица 4.1.2 - Присосы воздуха по газоходам $\Delta\alpha$ и расчетные коэффициенты избытка воздуха в газоходах α''

Участки газового тракта	$\Delta\alpha$	α''
Топка и фестон		1,05
Перегреватель (I ступень)	0,03	1,08
Перегреватель (II ступень)	0,03	1,11

Экономайзер (II ступень)	0,02	1,13
Экономайзер (I ступень)	0,02	1,15
Воздухоподогреватель (II ступень)	0,03	1,18
Воздухоподогреватель (I ступень)	0,03	1,21

При $\alpha > 1$ объемы продуктов сгорания и воздуха отличаются от теоретических на величину объема воздуха и водяных паров, поступающих в котел с избытком воздуха. Так как присосы воздуха не содержат трехатомных газов, то объем этих газов не зависит от коэффициента избытка воздуха, во всех газоходах остается постоянным и равен теоретическому. Расчет объемов и объемных долей трехатомных газов сводим таблицу 4.1.3.

Таблица 4.1.3 - Характеристика продуктов сгорания в поверхностях нагрева

Величина	Ед.из м.	Газоходы						
Коэффициент избытка воздуха в газоходах α''	-	1,05	1,08	1,11	1,13	1,15	1,18	1,21
Расчетный коэффициент избытка воздуха α_{cp}	-	1,05	1,065	1,095	1,12	1,14	1,165	1,19
$V_{R_2} = (\alpha - 1)V^0 + V_{N_2}^0$	$\frac{M^3}{M^3}$	2,285	2,32	2,39	2,449	2,496	2,555	2,62
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0$	$\frac{M^3}{M^3}$	0,632	0,632	0,634	0,634	0,635	0,636	0,63
$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O}$	$\frac{M^3}{M^3}$	3,289 5	3,325	3,396 5	3,456	3,503	3,563 5	3,63
$r_{RO_2} = V_{RO_2}/V_{\Gamma}$		0,113	0,112	0,109 7	0,107	0,106	0,104 5	0,10
$r_{H_2O} = V_{H_2O}/V_{\Gamma}$		0,191 5	0,189	0,185 4	0,182	0,179	0,176 8	0,17
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$		0,304 5	0,301	0,295 1	0,290	0,286	0,281 3	0,27

Энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива сведены в таблицы 4.1.4.

Таблица 4.1.4 - Энтальпия теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива, кДж/кг (газ коксовый и доменный)

Температура, °С	$V^0 = 2,351$ $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{RO}_2} =$ $0,3725 \text{ м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{N}_2}^0 =$ $2,167 \text{ м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 =$ $0,63 \text{ м}^3/\text{м}^3$	$I_{\Gamma}^0 = I_{\text{RO}_2} +$ $+ I_{\text{N}_2}^0 + I_{\text{H}_2\text{O}}^0$
	$I_{\text{B}}^0 = V^0 (\text{сг})_{\text{B}}$	$I_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} (\text{сг})_{\text{RO}_2}$	$I_{\text{N}_2}^0 = V_{\text{N}_2}^0 (\text{сг})_{\text{N}_2}$	$I_{\text{H}_2\text{O}}^0 = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (\text{сг})_{\text{H}_2\text{O}}$	
1	2	3	4	5	6
30	201,423				

Продолжение таблицы 4.1.4

1	2	3	4	5	6
100	681,130	118,815	565,385	170,901	855,101
200	1372,581	250,989	1130,385	344,066	1725,824
300	2079,511	393,005	1704,852	524,022	2621,879
400	2796,762	542,755	2291,982	708,505	3543,242
500	3529,493	700,238	2887,810	898,647	4486,695
600	4282,865	859,127	3496,686	1094,448	5450,261
700	5051,716	1027,156	4114,260	1298,171	6439,587
800	5830,888	1197,997	4753,579	1510,949	7462,526
900	6610,060	1371,651	5405,946	1724,859	8502,455
1000	7409,872	1548,116	6062,662	1952,350	9563,128
1100	8230,324	1727,394	6719,377	2179,842	10626,791
1200	9050,777	1910,187	7371,744	2411,860	11693,791
1300	9964,111	2092,277	8045,856	2652,933	12791,066
1400	10712,322	2277,882	8737,365	2895,137	13910,385
1500	11553,415	2463,487	9411,478	3145,265	15020,229

1600	12399,667	2648,389	10102,986	3396,524	16147,899
1700	13240,760	2836,807	10794,495	3652,310	17283,612
1800	14081,853	3025,224	11490,353	3913,755	18429,332
1900	14948,746	3213,642	12199,258	4174,068	19586,968
2000	15810,479	3404,871	12890,767	4443,436	20739,074
2100	16713,493	3596,101	13599,672	4709,408	21905,181
2200	17539,105	3787,330	14308,577	4978,776	23074,684

Энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива сведем в таблицы 4.1.5.

Таблица 4.1.5 - Энтальпия продуктов сгорания в газоходах, кДж/кг
(газ коксовый и доменный)

t, °C	I _Г ⁰	I _В ⁰	Топка α=1,05		II пароперегреватель α=1,08		I пароперегреватель α=1,11		II экономайзер α=1,13		I экономайзер α=1,15		II воздухоподогреватель α=1,18		I воздухоподогреватель α=1,21	
			I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI
100	855	681	-	-	-	-	-	-	-	-	957	974	978	995	998	1016
200	1726	1373	-	-	-	-	-	-	-	-	1932	1002	1973	1023	2014	1045
300	2622	2080	-	-	-	-	-	-	2892	1015	2934	1029	2996	1050	3059	1072
400	3543	2797	-	-	-	-	3823	1052	3907	1039	3963	1053	4047	1075	4131	1097
500	4487	3529	-	-	4769	1024	4875	1046	4946	1062	5016	1077	5122	1099	5228	-
600	5450	4283	-	-	5793	1051	5921	1074	6007	1089	6093	1105	6221	-	-	-
700	6440	5052	-	-	6844	1085	6995	1109	7096	1124	7197	-	-	-	-	-
800	7463	5831	7754	1079	7929	1102	8104	1126	8221	1141	-	-	-	-	-	-
900	8502	6610	8833	1101	9031	1125	9230	1149	9362	-	-	-	-	-	-	-
1000	9563	7410	9934	1105	10156	1129	10378	1154	-	-	-	-	-	-	-	-
1100	10627	8230	11038	1108	11285	1133	11532	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	11694	9051	12146	1143	12418	1170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300	12791	9964	13289	1157	13588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	13910	10712	14446	1152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1500	15020	11553	15598	1170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1600	16148	12400	16768	1178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1700	17284	13241	17946	1188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1800	18429	14082	19133	1201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1900	19587	14949	20334	1195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	20739	15810	21530	1211	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2100	21905	16713	22741	1211	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2200	23075	17539	23952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.2 Расчет теплового баланса парогенератора и расход топлива

Тепловой баланс составляем в расчете на 1 м^3 располагаемой теплоты топлива Q^p . Предварительный подогрев воздуха за счет внешнего источника теплоты $Q_{\text{вн}} = 257\text{ кДж/м}^3$, $i_{\text{тл}} = 0$. Расчет теплового баланса и расхода топлива сведем в таблицу 4.2.1.

Таблица 4.2.1 - Расчет теплового баланса парогенератора и расход топлива

Наименование	Обоз Н	Расчетная формула или способ опреде- ления	Един. Един.	Результат
1	2	3	4	5
Температура уход. газов	ϑ_{yx}	Принимаю	$^{\circ}\text{C}$	153
Энтальпия уходящих га- зов	I_{yx}	По I9 - таблице	кДж/кг	1536,58
Потери тепло- ты от химиче- ского недожога	q_3	По таблице 4-5 [5]	%	0,5
Потери тепло- ты от механи- ческого недо- жога	q_4	По таблице 4-5 [5]	%	0
Потеря тепло- ты с уходящи- ми газами	q_2	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x,в}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}$	%	$\frac{(1536,58 - 1,21 \cdot 201,24)}{19940} = 6,485$
Потеря тепло- ты от наруж- ного охлажде- ния	q_5	По рис. 3-1 [5]	%	0,75
Сумма тепло- вых потерь	$\sum q$	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	%	$6,485 + 0,5 + 0 + 0,75 = 7,735$

КПД парогенератора	$\eta_{пг}$	$100 - \sum q$	%	$100 - 7,735 = 92,265$
Коэффициент сохранения теплоты	φ	$1 - \frac{q_5}{\eta_{пг} + q_5}$	-	$1 - \frac{0,75}{92,265 + 0,75} = 0,992$
Полезно используемая теплота в агрегате	$Q_{пг}$	$D(i_{п.п} - i_{п.в})$	кВт	$61,111 \cdot (3285,5 - 610,6) = 163\,443$
Полный расход топлива	B	$\frac{Q_{пг} \cdot 100}{Q_p^p \eta_{пг}}$	кг/с	8,884

4.3 Расчет теплообмена в топке

По конструктивным размерам и характеристикам топки, указанным в таблице 4.3.1, выполним поверочный расчет теплообменника в топке.

Таблица 4.3.1 - Основные конструктивные характеристики топки

Величина		Единица	Стены топки			Выход. окно топки	Сумм. площадь
Наименование	обозн.		Фронтная и свод	Боковые	Задняя		
1	2	3	4				
Общая площадь стены и выходного окна	$F_{ст.}$	m^2	162,6	140,7	241,2	15,6	528,18
Неэкранированная поверхность	$F_{гор.}$	m^2	16,32				
Наружный диаметр экранных труб	d	мм	50x4				
Шаг экранных труб	s	мм	70				
Отношение	s/d	-	1,4				
Объем топочной камеры	V_T	м	844,2				
Эффективная толщина излучающего слоя	S	м	5,754				

Суммарная площадь лучевоспринимающей поверхности	$H_{л}$	M^2	528,18
Полная площадь стен топочной камеры	$F_{сг}$	M^2	544,5
Коэффициент тепловой эффективности лучевоспринимающей поверхности	$\psi_{ср}$	-	$\frac{\zeta H_{л}}{F_{сг}} = \frac{0,65 \cdot 528,18}{544,5} = 0,6305$

Продолжение таблицы 4.3.1

1	2	3	4
Эффективная толщина излучающего слоя пламени	s	м	$3,6 \frac{V_{т}}{F_{сг}} = 3,6 \cdot \frac{844,2}{544,5} = 5,5815$
Полная высота топки	$H_{т}$	м	20,955
Высота расположения горелок	$h_{г}$	м	3,55
Относительный уровень расположения горелок	$x_{г}$	-	$\frac{h_{г}}{H_{т}} = \frac{3,55}{20,955} = 0,1766$
Параметр, учитывающий характер распределения температуры в топке	M	-	$0,54 - 0,2x_{г} = 0,54 - 0,2 \cdot 0,1766 = 0,50468$
Коэффициент избытка воздуха на выходе их топки	$\alpha''_{т}$	-	1,05

Поверочный расчет теплообмена в топке сведем таблицу 4.3.2.

Таблица 4.3.2 - Поверочный расчет теплообмена в топке

Величина	Расчет
1	2

Температура горячего воздуха	Принимаю $t_{г.в} = 280 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия горячего воздуха	По I9 - таблице $I_{г.в}^0 = 1938,12 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Количество теплоты, вносимое в топку воздухом	$Q_{в} = \alpha_T'' \cdot I_{г.в}^0 = 1,05 \cdot 1938,12 = 2035,03 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Полезное тепловыделение в топке	$Q_T = Q_p^H + Q_{в} = 19940 + 2035,03 = 21975,03 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Продолжение таблицы 4.3.2

1	2
Адиабатическая температура горения	По I9 - таблице $\vartheta_a = 2036,77 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура газов на выходе из топки	Принимаю $\vartheta_T'' = 1090 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия газов на выходе из топки	По I9 - таблице $I_T'' = 10927,68 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$VC_{cp} = \frac{Q_T - I_T''}{\vartheta_a - \vartheta_T''} = \frac{21975,03 - 10927,68}{2036,77 - 1090} = 11,668 \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$
Объемная доля: водяных паров трехатомных газов	$r_{H_2O} = 0,1762$ $r_{RO_2} = 0,1091$
Суммарная объемная доля трехатомных газов	$r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2} = 0,1762 + 0,1091 = 0,2853$
Произведение	$pr_n s = p \cdot r_n \cdot s = 0,1 \cdot 0,2853 \cdot 5,754 = 0,1642 \text{ м} \cdot \text{МПа}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	По рис. 5-5 [5] $k_r = 5,93 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$
Коэффициент ослабления лучей несветящимися газами	$k_{nc} = k_r r_n = 0,2853 \cdot 5,93 = 1,693$
Коэффициент ослабления лучей сажи-стыми частицами	$k_{саж} = 0,716$
Коэффициент ослабления лучей светя-	$k_{св} = k_{nc} + k_{саж} = 1,693 + 0,716 = 2,409$

шейся частью	
Степень черноты светящейся части пламени	$a_{cb} = 1 - e^{k_{cb}Ps} = 1 - e^{2,409 \cdot 0,15,754} = 0,739$
Степень черноты не-светящейся части пламени	$a_r = 1 - e^{k_{ncps}} = 1 - e^{1,693 \cdot 0,15,754} = 0,611$
Эффективная степень черноты факела	$a_\phi = m \cdot a_{cb} + (1 - m) \cdot a_r = 0,1 \cdot 0,739 + (1 - 0,1) \cdot 0,611 = 0,624$

Окончание таблицы 4.3.2

1	2
Степень черноты топки	$a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi)\psi_{cp}} = \frac{0,624}{0,624 + (1 - 0,624) \cdot 0,6305} = 0,7247$
Тепловая нагрузка стен топки	$q_F = \frac{B_p \cdot Q_T}{F_{ст}} = \frac{8,884 \cdot 21975,03}{544,5} = 358,54 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$
Температура газов на выходе из топки	По рис. 5-7 [5] $\theta_T'' = 1090,9^\circ\text{C}$
Энтальпия газов на выходе из топки	По I9 - таблице $I_T'' = 10937,52 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Общее тепловосприятие топки	$Q_T'' = \phi \cdot (Q_T - I_T'') = 0,992 \cdot (21975,03 - 10937,52) = 10948,51 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Средняя удельная тепловая нагрузка лучевоспринимающих поверхностей топки	$q_{л}^{cp} = \frac{B_p \cdot Q_T''}{H_{л}} = \frac{8,884 \cdot 10948,51}{528,18} = 184,15 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$

4.4 Расчет фестона

При поверочном расчете серийного парогенератора, фестона, как правило не изменяют, а проверяют поверочным расчетом. Конструктивные характеристики указаны в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 - Конструктивные характеристики фестона

Наименование	Величина		Единица	Расчет
	Обозначение	Способ определения		
1	2	3	4	5

Полная площадь поверхности нагрева	H	По конструктивным размерам	м ²	56,7
Диаметр труб	d	По конструктивным размерам То же	мм	38x30
Относительный шаг труб: поперечный продольный	s ₁ /d	По конструктивным размерам	-	4,1
	s ₂ /d		-	6,6

Продолжение таблицы 4.4.1

1	2	3	4	5
Количество рядов труб по ходу газов	z ₂	По конструктивным размерам	шт.	6
Количество труб в ряду	z ₁	По конструктивным размерам	шт.	24
Площадь живого сечения для прохода газов	F	По конструктивным размерам	м ²	16,8
Эффективная толщина излучающего слоя	s	По конструктивным размерам	м	1,1447

Поверочный расчет фестона сведен в таблицу 4.4.2.

Таблица 4.4.2 - Поверочный расчет фестона (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2
Температура газов перед фестом	Из расчета топки $\vartheta' = 1090,9^\circ\text{C}$
Энтальпия газов перед фестом	Из расчета топки $I' = 10937,52 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов за фестом	по выбору $\vartheta'' = 1027^\circ\text{C}$
Энтальпия газов за фестом	По I ϑ - таблице $I'' = 10231,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Количество теплоты, отданное фестону	$Q_r = \varphi \cdot (I' - I'') = 0,992 \cdot (10937,52 - 10231,84) = 700,04 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Температура кипения при давлении в барабане	По табл. VI-7 [5] $t_{кип}=257,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
Средняя температура газов	$\vartheta_{cp} = 0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'') = 0,5 \cdot (1090,9 + 1027) = 1058,95\text{ }^{\circ}\text{C}$
Средний температурный напор	$\Delta t = \vartheta_{cp} - t_{кип} = 1058,95 - 257,4 = 801,54\text{ }^{\circ}\text{C}$

Продолжение таблицы 4.4.2

Средняя скорость газов	$\omega_{cp} = \frac{B_p \cdot V_r \cdot (\vartheta_{cp} + 273)}{273 \cdot F} = \frac{8,884 \cdot 6,446 \cdot (1058,95 + 273)}{273 \cdot 16,8} = 16,63 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	По рис. 6-6 [5] $\alpha_k = C_{\phi} \cdot C_z \cdot C_1 \cdot \alpha_n = 1,02 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 120 = 122,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$pr_n s = p \cdot r_n \cdot s = 0,1 \cdot 0,2853 \cdot 1,144 = 0,0326 \text{ м} \cdot \text{МПа}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	по рис. 5-5 $k_r = 9,13 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$
Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока	$kps = k_r pr_n s = 9,13 \cdot 0,0326 = 0,298$
Степень черноты излучающей среды	$a = 1 - e^{-kps} = 1 - e^{-0,298} = 0,2579$
Температура загрязненной стенки трубы	$t_{ст} = t_{кип} + \Delta t = 257,4 + 25 = 282,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	По рис. 6-12 [5] $\alpha_{л} = \alpha_n \cdot C_r \cdot a = 190 \cdot 0,98 \cdot 0,2579 = 48,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Коэффициент использования поверхности нагрева	По рекомендациям $\xi = 1$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_k + \alpha_n) = 1 \cdot (122,40 + 48,02) = 170,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Коэффициент тепловой эффективности	По табл. 6-2 [5] $\psi = 0,8$

Окончание таблицы 4.4.2

1	2
Коэффициент теплопередачи	$k = \psi \cdot \alpha_1 = 0,8 \cdot 170,42 = 136,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Тепловосприятие фестона по уравнения теплопередачи	$Q_\phi = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3} = \frac{136,33 \cdot 56,7 \cdot 801,55}{8,884 \cdot 10^3} = 697,45 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q = \frac{Q_\phi - Q_r}{Q_\phi} \cdot 100 = \frac{697,45 - 700,04}{697,45} = 0,37 \%$
Полученная погрешность удовлетворяет допустимой 5%	

4.5 Расчет конвективного пароперегревателя

При поверочном расчете пароперегревателя используем конструктивные характеристики пароперегревателя указанные в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Конструктивные характеристики пароперегревателя

Наименование	Обозначение	Способ определения	Единица	Ступень	
				I	II
1	2	3	4	5	6
Диаметр труб	d/d _{вн}	По конструктивным размерам	мм	38/30	38/30
Количество труб в ряду поперек газохода	z ₁		шт	38	38
Средний шаг труб:					
Поперечный	s ₁		мм	156	156
Продольный	s ₂		мм	45	45
Расположение труб в пучке				шахматное	

Характер омывания				поперечное	
Средняя длина змеевика	l		м	3,7	3,6
Суммарная длина труб	Σl		м	1688	3284
Полная площадь поверхности нагрева	H	$\pi d \Sigma l$	м ²	202	400
Площадь живого сечения на входе	F'	$a'b'-l'z_1d$	м ²	17,5	16,8

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6
Площадь живого сечения на выходе	F''	$a''b''-l''z_1d$	м ²	21	16,8
Средняя площадь живого сечения	F _{ср}	$\frac{2F'F''}{F'+F''}$	м ²	17,5	16,8
Количество параллельно включенных змеевиков	m	По конструктивным размерам	шт	228	228
Площадь живого сечения для прохода пара	f	$\frac{\pi d_{вн}^2 m}{4}$	м ²	0,161	0,161

4.5.1 Поверочный расчет первой ступени пароперегревателя

Поверочный расчет первой ступени пароперегревателя сведем в таблицу 4.5.1.

Таблица 4.5.1 - Поверочный расчет первой ступени пароперегревателя (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2
Параметры пара на входе в ступень: давление температура паросодержание	$P' = P_6 = 4,5 \text{ МПа}$ $t' = t_{\text{нас}} = 257,4 \text{ }^\circ\text{C}$ $x=0,99$

Удельная энтальпия	
кипящей воды	по таблице VI-7 [5] $i' = 1122,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
сухого насыщенного пара	по таблице VI-7 [5] $i'' = 2796,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Удельная энтальпия пара на входе	$i'_n = x \cdot i'' + (1-x) \cdot i' = 0,99 \cdot 2796,5 + (1-0,99) \cdot 1122,2 = 2779,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Продолжение таблицы 4.5.1

1	2
Параметры пара на выходе из ступени давление температура удельная энтальпия	Принимаю $P_6'' = 3,85 \text{ МПа}$ $t'' = 322 \text{ }^\circ\text{C}$ $i''_n = 3025,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Тепловосприятие ступени	$Q = \frac{D}{B_p} \cdot (i''_n - i'_n) = \frac{61,11}{8,884} \cdot (3025,4 - 2779,7) = 1689,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на входе в ступень	из расчета фестона $\vartheta' = 1027 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия газов на входе в ступень	из расчета фестона $I' = 10231,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Энтальпия газов на выходе из ступени	$I'' = I' - \frac{Q}{\phi} + \Delta\alpha \cdot I_{\text{прс}}^0 = 10231,84 - \frac{1689,74}{0,992} + 0,03 \cdot 201,24 = 8534,51 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на выходе из ступени	По I- v таблице $\vartheta'' = 854,93 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'') = 0,5 \cdot (1027 + 854,93) = 940,97 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя скорость газов в ступени	$\omega_r = \frac{B_p V_r (273 + \vartheta_{\text{cp}})}{273 F_{\text{cp}}} = \frac{8,884 \cdot 6,525 \cdot (273 + 940,97)}{273 \cdot 17,5} = 14,73 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	По рис. 6-5 $\alpha_k = C_\phi \cdot C_z \cdot C_1 \cdot \alpha_n = 1,04 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 104 = 121,14$

	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Средняя температура пара	$t_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (t' + t'') = 0,5 \cdot (257,4 + 322) = 289,6^\circ\text{C}$
Объем пара при средней температуре	По таблице VI-8 [5] $v_{\text{п}} = 0,0584 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$
Средняя скорость пара	$\omega_{\text{п}} = \frac{D \cdot v_{\text{п}}}{f} = \frac{61,11 \cdot 0,0584}{0,161} = 22,17 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	По рис. 6-8 $\alpha_2 = 1450 \cdot 0,98 = 1421 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Продолжение таблицы 4.5.1

1	2
Эффективная толщина излучающего слоя	$0,9 \cdot \left(\frac{4s_1s_2}{\pi d^2} - 1 \right) \cdot d = 0,9 \left(\frac{4 \cdot 156 \cdot 45}{3,14 \cdot 38^2} - 1 \right) \cdot 0,038 = 0,1776 \text{ м}$
Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$pr_{\text{н}}s = p \cdot r_{\text{н}} \cdot s = 0,1 \cdot 0,282 \cdot 0,1776 = 0,0050$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	по рис. 5-5 [5] $k_{\text{r}} = 27 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$
Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока	$kps = k_{\text{r}} pr_{\text{н}}s = 27 \cdot 0,0050 = 0,1353$
Степень черноты излучающей среды	$a = 1 - e^{-kps} = 1 - e^{-0,1353} = 0,1265$
Коэффициент загрязнения	по рекомендации $\varepsilon = 0,003 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$
Температура загрязненной стенки трубы	$t_{\text{ст}} = t_{\text{cp}} + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \frac{B_{\text{p}} Q}{H} \cdot 10^3 =$ $= 289,6 + \left(0,003 + \frac{1}{1421} \right) \cdot \frac{8,884 \cdot 1689,74}{202} = 564,8^\circ\text{C}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{\text{л}} = \alpha_{\text{н}} \cdot C_{\text{r}} \cdot a = 220 \cdot 0,98 \cdot 0,1265 = 27,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Температура газов в объеме камеры	$T_{\text{к}} = 1300 \text{ К}$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha'_л = \alpha_л \cdot \left[1 + A \cdot \left(\frac{T_к}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{l_{об}}{l_п} \right)^{0,07} \right] =$ $= 27,28 \cdot \left[1 + 0,3 \cdot \left(\frac{1300}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{2}{1} \right)^{0,07} \right] = 36,45 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_к + \alpha'_л) = 1 \cdot (121,14 + 36,45) = 157,59 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi = 0,8$
Коэффициент теплопередачи	$k = \psi \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 0,8 \cdot \frac{157,59 \cdot 1421}{157,59 + 1421} = 113,48 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

Окончание таблицы 4.5.1

1	2
Разность температур между газами и паром	
наибольшая	$\Delta t_6 = \vartheta' - t'' = 1027 - 322 = 705 \text{ }^\circ\text{C}$
наименьшая	$\Delta t_m = \vartheta'' - t' = 854,93 - 257,4 = 597,73 \text{ }^\circ\text{C}$
Температурный перепад	$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{705 - 597,73}{\ln \frac{705}{597,73}} = 649,89 \text{ }^\circ\text{C}$
Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена	$Q_\tau = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3} = \frac{113,48 \cdot 202 \cdot 649,89}{8,884 \cdot 1000} = 1676,97 \frac{кДж}{кг}$
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q = \frac{Q_\tau - Q}{Q_\tau} \cdot 100 = \frac{1676,97 - 1689,84}{1676,97} \cdot 100 = 0,76\%$
Полученная погрешность удовлетворяет допустимой 2%	

4.5.2 Расчет второй ступени пароперегревателя

Расчет второй ступени пароперегревателя сведем в таблицу 4.5.2.

Таблица 4.5.2 - Поверочный расчет второй ступени пароперегревателя (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2
Параметры пара на входе в ступень:	из расчета первой ступени перегревателя

Давление	P'=3,8 МПа t'=322°C i' _п =3025,4 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура	
удельная энтальпия пара	
Параметры пара на выходе из ступени	По характеристикам котла
Давление	P''=3,2 МПа t''=425 °C i'' _п =3285,13 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура	
удельная энтальпия	

Продолжение таблицы 4.5.2

1	2
Тепловосприятие ступени	$Q = \frac{D}{B_p} \cdot (i''_п - i'_п) = \frac{61,11}{8,884} (3285,13 - 3025,4) = 1786,64 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на входе в ступень	из расчета первой ступени v'=854,93 °C
Энтальпия газов на входе в ступень	из расчета первой ступени Г'=8534,51 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Энтальпия газов на выходе из ступени	$G'' = G' - \frac{Q}{\varphi} + \Delta\alpha \cdot I_{\text{прс}}^0 = 8534,51 - \frac{1786,64}{0,992} + 0,03 \cdot 201,24 = 6739,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на выходе из ступени	По I - v таблице v''=676,2 °C
Средняя температура газов	v _{ср} =0,5(v'+ v'')=0,5(854,93+676,2)=765,56 °C
Средняя скорость газов в ступени	$\omega_r = \frac{B_p V_r (273 + v_{ср})}{273 F_{ср}} = \frac{8,884 \cdot 6,682(273 + 765,56)}{273 \cdot 17,5} = 13,44 \text{ м/с}$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_k = C_\phi \cdot C_z \cdot C_1 \cdot \alpha_n = 1,01 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 103 = 117,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Средняя температура пара	t _{ср} =0,5·(t'+t'')=0,5(425+322)=373,5 °C
Объем пара при средней температуре	По таблице VI-8 [5] v _п =0,07923 $\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$
Средняя скорость пара	$\omega = \frac{D v_{п}}{f} = \frac{61,11 \cdot 0,07923}{0,161} = 30,1 \text{ м/с}$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	По рис. 6-8 $\alpha_2 = 1250 \cdot 0,97 = 1212,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Эффективная толщина излучающего слоя	$0,9 \cdot \left(\frac{4s_1s_2}{\pi d^2} - 1 \right) \cdot d = 0,9 \left(\frac{4 \cdot 156 \cdot 45}{3,14 \cdot 38^2} - 1 \right) \cdot 0,038 = 0,1776 \text{ м}$
Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$pr_n s = p \cdot r_n \cdot s = 0,1 \cdot 0,2758 \cdot 0,1776 = 0,0049$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	по рис. 5-5 [5] $k_r = 30,24 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$
Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока	$kps = k_r \cdot pr_n s = 30,24 \cdot 0,0049 = 0,1569$

Продолжение таблицы 4.5.2

1	2
Степень черноты излучающей среды	$a = 1 - e^{-kps} = 1 - e^{-0,1569} = 0,1481$
Коэффициент загрязнения	по рекомендации $\varepsilon = 0,003 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$
Температура загрязненной стенки трубы	$t_{\text{ст}} = t_{\text{сп}} + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \frac{B_p Q}{H} \cdot 10^3 =$ $= 373,5 + \left(0,003 + \frac{1}{1212,5} \right) \cdot \frac{8,884 \cdot 1786,64}{400} = 525,27^\circ \text{C}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	по рис. 6-12 $\alpha_{\text{л}} = \alpha_{\text{н}} \cdot C_r \cdot a = 150 \cdot 0,97 \cdot 0,1377 = 20,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Температура газов в объеме камеры	$T_{\text{к}} = 1126 \text{ К}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha'_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \left[1 + A \left(\frac{T_{\text{к}}}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{1_{\text{об}}}{1_{\text{п}}} \right)^{0,07} \right] =$ $= 20,03 \left[1 + 0,3 \left(\frac{1128}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{2}{1} \right)^{0,07} \right] = 26,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_{\text{к}} + \alpha'_{\text{л}}) = 1(117,67 + 26,53) = 144,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Коэффициент тепловой эффективности	$\psi=0,8$
Коэффициент теплопередачи	$k = \psi \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 0,8 \cdot \frac{114,2 \cdot 1212,5}{114,2 + 1212,5} = 103,10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Разность температур между газами и паром наибольшая наименьшая	$\Delta t_{\delta} = v' - t'' = 854,93 - 425 = 429,93^{\circ}\text{C}$ $\Delta t_{\text{м}} = v'' - t' = 676,2 - 322 = 354,19^{\circ}\text{C}$
Температурный перепад	$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{429,93 - 354,19}{\ln \frac{429,93}{354,19}} = 390,84^{\circ}\text{C}$

Окончание таблицы 4.5.2

1	2
Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена	$Q_{\text{т}} = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_{\text{п}} \cdot 10^3} = \frac{103,10 \cdot 400 \cdot 390,84}{8,884 \cdot 1000} = 1814,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q = \frac{Q_{\text{т}} - Q}{Q_{\text{т}}} \cdot 100 = \frac{1814,27 - 1786,64}{1814,27} \cdot 100 = 1,52\%$
Полученная погрешность удовлетворяет допустимой 2%	

4.6 Расчет экономайзера

Конструктивные характеристики экономайзера сведены в таблице 4.6.1.

Таблица 4.6.1 - Конструктивные характеристики экономайзера

Наименование	Обозначение	Единица	Степень
1	2	3	4
Диаметр труб:			
Наружный	d	мм	28

Внутренний	$d_{вн}$	мм	20
Расположение труб	-	-	Шахматное
Количество труб в горизонтальном ряду	z_1	шт.	32
Количество горизонтальных рядов труб	z_2	шт.	132
Шаг труб:			
поперек потока газов (по ширине)	s_1	мм	78
вдоль потока газов	s_2	мм	45
Относительный шаг труб:			
Поперечный	s_1/d	-	2,785
Продольный	s_2/d	-	1,607

Продолжение таблицы 4.6.1

1	2	3	4
Площадь поверхности нагрева	H	m^2	1200
Площадь живого сечения для прохода газов	F	m^2	21,3
Количество параллельно включенных труб (по воде)	z_0	шт.	32
Площадь живого сечения для прохода воды	f	m^2	0,010048

Поверочный расчет ступени экономайзера сведен в таблицу 4.6.2.

Таблица 4.6.2 - Поверочный расчет ступени экономайзера (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2
Температура газов на входе в ступень	$\vartheta' = 660,34 \text{ } ^\circ\text{C}$
Энтальпия газов на входе в ступень	$I' = 6569,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на выходе из ступени	по выбору $\vartheta'' = 343 \text{ } ^\circ\text{C}$
Энтальпия газов на выходе из ступени	По I - в таблице $I'' = 3376,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Тепловосприятие ступени	$Q = \varphi \cdot (I' - I'' + \Delta\alpha \cdot I_{\text{прс}}^0) = 0,992 \cdot (6569,29 - 3376,25 + 0,04 \cdot 201,24) = 3175,47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Удельная энтальпия воды на выходе из ступени	$i'' = i''_n - \frac{B_p}{D} \cdot (Q_l + Q_k + Q_{\text{не}}) = 3285,13 - \frac{8,884}{61,11} \cdot (10948,51 + 697,45 + 1676,97 + 1814,27) = 1113,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура воды на выходе из ступени	по таблице VI-6 [5] $t'' = 254 \text{ }^\circ\text{C}$
Удельная энтальпия воды на входе в ступень	$i' = 610,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температуры воды на входе в ступень	$t' = 145 \text{ }^\circ\text{C}$

Продолжение таблицы 4.6.2

1	2
Средняя температура воды	$t_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (t' + t'') = 0,5 \cdot (254 + 145) = 199,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя скорость воды в трубках	$\omega_B = \frac{D_{\text{эк}} \cdot v_B}{f} = \frac{62 \cdot 0,00125}{0,010048} = 7,71 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Средняя температура газов	$\vartheta_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'') = 0,5 \cdot (660,34 + 343) = 501,67 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя скорость газов в ступени	$\omega_r = \frac{B_p \cdot V_r \cdot (273 + \vartheta_{\text{cp}})}{273 \cdot F_{\text{cp}}} = \frac{8,884 \cdot 6,918 \cdot (273 + 501,67)}{273 \cdot 21,3} = 8,07 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	По рис. 6-5 [5] $\alpha_k = C_\phi \cdot C_z \cdot C_1 \cdot \alpha_n = 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 90 = 92,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Эффективная толщина излучающего слоя	$s = 0,9 \cdot \left(\frac{4s_1s_2}{\pi d^2} - 1 \right) \cdot d = 0,9 \cdot \left(\frac{4 \cdot 78 \cdot 45}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) \cdot 0,028 = 0,1185 \text{ м}$
Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$pr_n s = p \cdot r_n \cdot s = 0,1 \cdot 0,2669 \cdot 0,1185 = 0,00316$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	по рис. 5-5 [5] $k_r = 37,8 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$
Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока	$kps = k_z pr_n s = 37,8 \cdot 0,00316 = 0,1196$
Степень черноты излучающей среды	$a = 1 - e^{-kps} = 1 - e^{-0,1196} = 0,1127$

Температура загрязненной стенки трубы	$t_{cr} = t_{cp} + \Delta t = 199,5 + 25 = 224,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	по рис. 6-12 [5] $\alpha_{л} = \alpha_{н} \cdot C_r \cdot a = 55 \cdot 0,96 \cdot 0,1127 = 5,95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Температура газов в объеме камеры	$T_k = 660,34 + 273 = 933,34 \text{ К}$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha'_{л} = \alpha_{л} \left[1 + A \left(\frac{T_k}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{l_{об}}{l_{п}} \right)^{0,07} \right] =$ $= 5,95 \left[1 + 0,3 \left(\frac{933,34}{1000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{2}{1} \right)^{0,07} \right] = 7,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1 = \xi \cdot (\alpha_k + \alpha'_{л}) = 1 \cdot (92,7 + 7,63) = 100,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Окончание таблицы 4.6.2

1	2
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi = 0,8$
Коэффициент теплопередачи	$k = \psi \cdot \alpha_1 = 0,8 \cdot 100,33 = 80,26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Разность температур между газами и паром: наибольшая наименьшая	$\Delta t_{\delta} = \vartheta' - t'' = 660,34 - 254 = 406,34 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\Delta t_{\delta} = \vartheta'' - t' = 343 - 145 = 198 \text{ } ^\circ\text{C}$
Температурный перепад	$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} = \frac{406,34 - 198}{\ln \frac{406,34}{198}} = 289,8 \text{ } ^\circ\text{C}$
Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена	$Q_s = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3} = \frac{80,26 \cdot 1200 \cdot 289,8}{8,884 \cdot 1000} = 3184 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q = \frac{Q_s - Q}{Q_s} \cdot 100 = \frac{3184 - 3175,48}{3184} \cdot 100 = 0,27 \%$
Полученная погрешность удовлетворяет допустимой 2%	

4.7 Расчет воздухоподогревателя

Конструктивные характеристики воздухоподогревателя сведем в таблицу 4.7.1.

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.7.1 - Конструктивные характеристики воздухоподогревателя

Наименование	Обозначение	Единица	Степень
1	2	3	4
Диаметр труб:			
наружный	d	мм	40
внутренний	d _{вн}	мм	37
Длина труб	L	м	4,75
Расположение труб	-	-	Шахматное
Количество ходов по воздуху	n	шт.	1
Количество труб в ряду поперек движения воздуха	z ₁	шт.	76

Продолжение таблицы 4.7.1

1	2	3	4
Количество рядов труб вдоль движения воздуха	z ₂	шт.	135
Шаг труб:			
поперечный (поперек потока воздуха)	s ₁	мм	60
продольный (вдоль потока воздуха)	s ₂	мм	42
Относительный шаг труб:			
поперечный	s ₁ /d	-	1,5
продольный	s ₂ /d	-	1,05
Количество параллельно включенных труб (по газу)	z ₀	шт.	3420
Площадь живого сечения для прохода газов	F _г	м ²	18,24
Ширина сечения воздушного канала	B	м	3,25
Средняя высота воздушного канала	h	м	2,7
Площадь живого сечения для прохода воздуха	F _в	м ²	8,085
Площадь поверхности нагрева	H	м ²	10500

Расчет ступени воздухоподогревателя сведем таблицу 4.7.2.

Таблица 4.7.2 - Поверочный расчет ступени воздухоподогревателя (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2

Температура газов на входе в ступень	Из расчета ступени экономайзера $g' = 343 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия газа на входе в ступень	Из расчета ступени экономайзера $I' = 3376,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура воздуха на выходе из ступени	по выбору $t'' = 281 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия воздуха на выходе из ступени	По И9 - таблице $I''_в = 1945,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура воздуха на входе в ступень	по выбору $t' = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия воздуха на входе в ступень	По И9 - таблице $I'_в = 201,24 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Продолжение таблицы 4.7.2

1	2
Тепловосприятие ступени	$Q = \left(\alpha_t + \frac{\Delta\alpha}{2} \right) \cdot (I''_в - I'_в) =$ $= \left(1,05 + \frac{0,06}{2} \right) \cdot (194,2 - 201,24) = 1883,47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Средняя температура воздуха	$t_{cp} = 0,5 \cdot (t' + t'') = 0,5 \cdot (30 + 281) = 155,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия воздуха при средней температуре	По И9 - таблице $I''_{прс} = 1064,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Энтальпия газов на выходе из ступени	$I'' = I' - \frac{Q}{\varphi} + \Delta\alpha \cdot I''_{прс} =$ $= 3376,25 - \frac{1883,47}{0,992} + 0,06 \cdot 1064,88 = 1541,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Температура газов на выходе из ступени	По И9 - таблице $g'' = 153,48 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя температура газов	$g_{cp} = 0,5 \cdot (g' + g'') = (153,48 + 343) = 248,24 \text{ }^\circ\text{C}$
Средняя скорость газов	$\omega_r = \frac{B_p \cdot V_r \cdot (273 + t_{cp})}{273 \cdot F_{cp}} = \frac{8,884 \cdot 7,2064 \cdot (273 + 248,24)}{273 \cdot 18,24} = 6,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Коэффициент теплоотдачи с газовой стороны	По рис. 6-7 [5] $\alpha_1 = \alpha_n \cdot C_2 = 24 \cdot 1,15 = 27,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Средняя скорость воздуха	$\omega_B = \frac{\left(\alpha_T + \frac{\Delta\alpha}{2}\right) \cdot V^0 \cdot B_p}{273 \cdot F_B} \cdot (273 + t_{cp}) =$ $= \frac{\left(1,05 + \frac{0,06}{2}\right) \cdot 5,16 \cdot 8,884}{273 \cdot 8,085} \cdot (273 + 155,5) = 9,22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Коэффициент теплоотдачи с воздушной стороны	По рис. 6-5 [5] $\alpha_2 = 1,02 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 82 = 83,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Коэффициент использования поверхности нагрева	По табл. 6-3 [5] $\xi_{\text{вп}} = 0,85$

Окончание таблицы 4.7.2

1	2
Коэффициент теплопередачи	$k = \xi_{\text{вп}} \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 0,85 \cdot \frac{27,6 \cdot 83,64}{27,6 + 83,64} = 17,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
Разность температур между средами: наибольшая наименьшая	$\Delta t_G = \vartheta'' - t' = 153,48 - 30 = 123,48 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\Delta t_M = \vartheta' - t'' = 343 - 281 = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$
Температурный перепад	$\Delta t = \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}} = \frac{123,48 - 62}{\ln \frac{123,48}{62}} = 89,24 \text{ } ^\circ\text{C}$
Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена	$Q_B = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3} = \frac{17,64 \cdot 10500 \cdot 89,24}{8,884 \cdot 1000} = 1885,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Расхождение расчетных тепловосприятий	$\Delta Q = \frac{Q_B - Q}{Q_B} \cdot 100 = \frac{1885,5 - 1883,47}{1885,5} \cdot 100 = 0,11 \%$
Полученная погрешность удовлетворяет допустимой 2%	

4.8 Расчет невязки теплового баланса

Расчет невязки теплового баланса парогенератора сведем в таблицу 4.8.1.

						13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Таблица 4.8.1 - Расчет невязки теплового баланса парогенератора (газ коксовый и доменный)

Величина	Расчет
1	2
Температура уходящих газов	Из расчета воздухоподогревателя $\vartheta_{yx}=153,48 \text{ }^\circ\text{C}$
Энтальпия уходящих газов	Из расчета воздухоподогревателя $I_{yx}=1541,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Потеря теплоты с уходящими газами	$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.в}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p} = \frac{(15423,5 - 1,21 \cdot 201,24) \cdot (100 - 0)}{19940} = 6,546\%$

Окончание таблицы 4.8.1

1	2
Сумма тепловых потерь	$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 6,546 + 0,5 + 0,75 = 7,796\%$
КПД парогенератора	$\eta_{гр} = 100 - \sum q = 100 - 7,796 = 92,204 \% = 0,922$
Расчетная невязка теплового баланса	$\Delta Q = Q_p^n \cdot \eta_{гр} - (Q_l^m + Q_{\phi} + Q_{nn}^l + Q_{эк}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) =$ $19940 \cdot 0,922 - (10948,51 + 697,45 + 1676,97 + 1814,27 + 3184) =$ $= 71,56 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Невязка	$\Delta = \frac{\Delta Q}{Q_p^n} = \frac{71,56}{19940} = 0,359 \%$

Значение невязки при правильном расчете не должно превышать 0,5%.

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Согласно Федеральному закону от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»: целью является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности [6].

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергоэффективности будет осуществляться, в соответствии с новым Федеральным законом, путем установления, в частности, требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов (в т.ч. установления запретов или ограниче-

ний производства и оборота товаров, имеющих низкую энергоэффективность), обязанности проведения обязательного энергетического обследования, обязанности по учету используемых энергоресурсов, требований энергоэффективности зданий, строений, сооружений, требований к «энергетическому паспорту», требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, а также порядка исполнения соответствующих обязанностей [7].

Энергосбережение является одной из самых серьезных задач XXI века. От результатов решения этой проблемы зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни граждан. Россия не только располагает всеми необходимыми природными ресурсами и интеллектуальным потенциалом для успешного решения своих энергетических проблем, но и объективно является ресурсной базой для европейских и азиатских государств, экспортируя нефть, нефтепродукты и природный газ в объемах, стратегически значимых для стран-импортеров. Однако избыточность топливно-энергетических ресурсов в нашей стране совершенно не должна предусматривать энергорасточительность, т.к. только энергоэффективное хозяйствование при открытой рыночной экономике является важнейшим фактором конкурентоспособности российских товаров и услуг. Перед обществом поставлена очень амбициозная задача – добиться удвоения валового внутреннего продукта (ВВП) за 10 лет, но решить эту задачу, не изменив радиально отношение к энергоресурсосбережению, не снизив энерго... производства, не удастся.

Энергосбережение должно быть отнесено к стратегическим задачам государства, являясь одновременно и основным методом обеспечения энергетической безопасности и единственным реальным способом сохранения высоких доходов от экспорта углеводородного сырья.

Требуемые для внутреннего развития энергоресурсы можно получить не только за счет увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов но и, с меньшими затратами за счет энергосбережения непосредственно в центрах потребления энергоресурсов – больших и малых поселениях.

Стратегическая цель энергосбережения одна и следует из его определения – это повышение энергоэффективности во всех отраслях, во всех поселениях и в стране в целом. И задача – определить, какими мерами и насколько можно осуществить это повышение [26].

Цели энергосбережения совпадают и с другими целями муниципальных образований, таких как улучшение экологической ситуации, повышение экономичности систем энергоснабжения и др.

Снижение потребления позволяет обеспечивать подключение новых потребителей при минимальных капитальных затратах на развитие инфраструктуры и снимает проблемы выделения земельных участков под новое строи-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

тельство объектов генерации, отчуждение санитарно-защитных зон и т.д., что в целом положительно сказывается на градостроительном развитии.

Решение задач повышения энергоэффективности на сегодняшнем этапе, когда существует большой резерв малозатратных мероприятий, также совпадает с большинством стратегических целей государства и хозяйственных субъектов. Поэтому важно рассмотреть в дипломном проекте некоторые мероприятия по снижению затрат на энергоресурсы в котельных (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Основные энергосберегающие мероприятия [26]

Мероприятие	Оценка эффективности мероприятия
1	2
Составление руководств и режимных карт эксплуатации, управления и обслуживания оборудования и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением.	5-10% от потребляемого топлива.
Поддержание оптимального значения коэффициента избытка воздуха	1-3%
Установка водяного поверхностного экономайзера за котлом	до 5-6%
Применение за котлоагрегатами установок глубокой утилизации тепла, установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов (теплообменник)	до 15%
Повышение температуры питательной воды на входе в барабан котла	2% на каждые 10 °С
Подогрев питательной воды в водяном экономайзере	1% на каждые 6 °С

Продолжение таблицы 5.1

1	2
Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла	до 10%
Использование тепловыделений от котлов путем забора теплого воздуха из верхней зоны котельного зала и подачи его во всасывающую линию дутьевого вентилятора	1-2%
Теплоизоляция наружных и внутренних поверхностей котлов и теплопроводов, уплотнение клапанов и тракта котлов (температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55 °С)	до 10%
Перевод котельный на газовое топливо	в 2-3 р. снижается стоимость 1 Гкал

Установка систем учета расходов топлива, электроэнергии, воды и отпуска тепла	до 20%
Автоматизация управления работой котельной	до 30%
Модернизация котлов типа ДКВР для работы в водогрейном режиме	увеличение КПД до 94%
Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов	до 30% от потребляемой ими электроэнергетики

6 ВЫПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В связи с экстенсивным характером развития промышленного производства во всем мире весьма актуальна проблема охраны окружающей среды от вредных промышленных выбросов. При нормальной работе котла на газе основным загрязнителем атмосферного воздуха являются оксиды азота NO_x (NO , NO_2).

При оценке ущерба, причиняемого вредными выбросами в атмосферу, принимается во внимание два фактора: количество выбрасываемого вещества и его свойства (вредность).

Оксиды азота ядовиты (при растворении в воде они образуют азотную кислоту)[46].

Сокращение выбросов в атмосферу окислов азота дымовыми газами принципиально может быть осуществлено по следующим основным направлениям:

1. Принцип ступенчатого сжигания топлива, то есть создание многоступенчатых камер сгорания (снижение концентрации NO_x в 2-3 раза).
2. Использование горелок с низким выбросом NO_x . Применение таких горелок дает возможность снизить выбросы NO_x для котлов, работающих на угле – до 50%, для газо-мазутных котлов – до 60%.
3. Введение в камеру сгорания инертных разбавителей: впрыск воды или пара, создание парогазовой смеси (снижение концентрации NO_x в 2-3 раза).
4. Рециркуляция дымовых газов.
5. Комбинация нескольких мероприятий [47].

6.1 Поверочный расчет дымовой трубы

Котел Е-220–3,2-425 работает на искусственной тяге на дымовую трубу (таблица 6.1) высотой 48,25 метров, с диаметром устья 3,5 метра.

Таблица 6.1- Характеристика дымовой трубы [3]

Наименование и год ввода в эксплуатацию		Диаметр устья	Высота	Материал трубы/толщина стенки мм.	
Дымовая труба №4,	1947г.	3,5	48,25	Ст10	8

Поверочный расчет выполняется для определения максимальной концентрации окислов азота в приземном слое, которая не должна превышать при данной высоте трубы по формуле (6.1):

$$ПДК_{NO_2} = 0,04 \frac{мг}{м^3}, \quad (6.1)$$

Поверочный расчет дымовой трубы будем вести без учета фоновых загрязнений [46].

Расчет горения топлива:

Теоретическое количество воздуха по формуле (6.2):

$$V^0 = 0,0476 [0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + \Sigma(m + n/4)C_mH_n - O_2], \quad (6.2)$$

$$V^0 = 0,5 * 15,65 + 0,5 * 31,9 + 2 * 11,15 + 3,5 * 1,15 - 0,7 * 0,0476 = 2,35 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретический объем азота (6.3):

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{N_2}{100}, \quad (6.3)$$

где V^0 - теоретическое количество воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

N_2 – количество азота, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$V_{N_2}^0 = 0,79 * 2,351 + 31/100 = 2,167 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}.$$

Объем трехатомных газов (6.4):

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + \Sigma mC_mH_n], \quad (6.4)$$

где CO_2 – количество диоксида углерода, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

CO – количество окиси углерода, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (8,15 + 15,65 + 11,15 + 2 \cdot 1,15) = 0,3725 \frac{M^3}{M^3}.$$

Теоретический объем водяных паров (6.5):

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left[H_2 + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_{z.mon} \right] + 0,0161 \cdot V^0, \quad (6.5)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (31,9 + 2 \cdot 11,15 + 3 \cdot 1,15 + 0,124 \cdot 13) + 0,0161 \cdot 2,351 = 0,63 \frac{M^3}{M^3}.$$

Объем продуктов сгорания (6.6):

$$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (6.6)$$

где V_{RO_2} - количество трехтомных газов, M^3/M^3 ;

$V_{N_2}^0$ - теоретический объем азота, M^3/M^3 ;

$V_{H_2O}^0$ - теоретический объем водяных паров, M^3/M^3 ;

V^0 - теоретическое количество воздуха, M^3/M^3 .

$$V_z = 3,757 M^3.$$

Теплота сгорания топлива (6.7):

$$Q_H^p = 9,425 \text{ МДж}/M^3.$$

Объем продуктов сгорания при рабочих условиях (6.8):

$$V_p = \frac{P_H \cdot V_G \cdot (t_{yx} + 273)}{P \cdot T_H} \quad (6.8)$$

$$P_H = 101,03 \text{ кПа} \quad T_H = 273 \text{ К} \quad ,$$

$$t_{yx} = 150^\circ \text{C} \quad P = 98 \text{ ккПа}$$

$$V_p = \frac{101,03 \cdot 3,757 \cdot (150 + 273)}{98 \cdot 273} = 6,001 \frac{M^3}{M^3}$$

Расход топлива (50% коксовый газ+50% доменный газ) на котел (6.9):

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$B = 8,884 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (6.9)$$

Объем дымовых газов (6.10):

$$V = n \cdot B \cdot V_p, \quad (6.10)$$

где B - расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$V = 1 \cdot 8,884 \cdot 6,001 = 53,313 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определение максимального выброса окислов азота [46]:

Выброс окислов азота рассчитывается по формуле (6.11):

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_1 \cdot Q_H^P \cdot (1 - q_4 / 100) \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3 \cdot n \cdot B \cdot k, \quad (6.11)$$

где $k = \frac{12 \cdot D_\phi}{200 + D_H} = \frac{12 \cdot 220}{200 + 220} = 6,28$ коэффициент, характеризующий выход

окислов азота на 1 тонну топлива;

$\beta_1 = 0,85$ – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние на выход окислов азота качества сжигаемого топлива;

$\beta_2 = 0$ - коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку;

$\beta_3 = 1$ - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок, для вихревых горелок.

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 0,85 \cdot 9425 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 8,884 \cdot 6,286 = 12,007 \frac{\text{г}}{\text{с}}$$

Определение максимальной приземной концентрации окислов азота:

Скорость выхода газов из устья трубы (6.12):

$$w_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}, \quad (6.12)$$

где D – диаметр трубы, м.

$$w_0 = \frac{4 \cdot 53,313}{3,14 \cdot 3,5^2} = 5,544 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Максимальная приземная концентрация окислов азота определяется по формуле (6.13):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}}, \quad (6.13)$$

где A – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы.

При неблагоприятных метеорологических условиях. Определяется климатической зоной. Для Урала $A=160$.

M_{NO_2} - расход выбросов оксидов азота;

F – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. $F=1$.

H - высота дымовой трубы;

V - объем дымовых газов, образующихся при работе котлов;

ΔT - разность температур уходящих газов и атмосферного воздуха

$t_{yx}=150^\circ C$ $t=20^\circ C$

m и n – коэффициенты, учитывающие подъем факела над трубой. Значения этих коэффициентов определяются по вспомогательным величинам (6.14,6.15):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\partial z} \cdot \Delta T}{H}}, \quad (6.14)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{53,313 \cdot (150 - 20)}{48,25}} = 3,404.$$

$$f = \frac{10^3 \cdot w^2 \cdot D_o}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.15)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 10,583^2 \cdot 3,5}{48,25^2 \cdot (150 + 34)} = 1,295.$$

Коэффициент m при $f < 100$ рассчитывается (6.16):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (6.16)$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,295} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,295}} = 0,866.$$

Коэффициент $n = 1$ при $v_m \geq 2$.

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 12,07 \cdot 1 \cdot 0,866 \cdot 1}{48,25^2 \cdot \sqrt[3]{53,313 \cdot (150 - 20)}} = 0,0793 \frac{мг}{м^3}.$$

$$\frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} = \frac{0,0793}{0,085} = 0,933 \leq 1 - \text{существующая дымовая труба удовлетворяет}$$

экологическим требованиям.

Определение максимальной приземной концентрации окислов азота.
Скорость выхода газов из устья трубы (6.17):

$$w_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2}, \quad (6.17)$$

$$w_0 = \frac{4 \cdot 53,313}{3,14 \cdot 3,5^2} = 5,544 \frac{м}{с}.$$

Коэффициенты (6.18, 6.19, 6.20):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\partial z} \cdot \Delta T}{H}}, \quad (6.18)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{53,313 \cdot (150 - 20)}{48,25}} = 3,404.$$

$$f = \frac{10^3 \cdot w^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (6.19)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 10,583^2 \cdot 3,5}{48,25^2 \cdot (150 + 34)} = 1,295.$$

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (6.20)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,295} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,295}} = 0,866.$$

Коэффициент $n = 1$ при $v_m \geq 2$.

Максимальная приземная концентрация окислов азота (6.21):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M_{NO_2} \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_0} \cdot \Delta T}, \quad (6.21)$$

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 12,701 \cdot 1 \cdot 0,866 \cdot 1}{48,25^2 \cdot \sqrt[3]{53,313} \cdot (150 - 20)} = 0,0396 \frac{мг}{м^3}.$$

$$\frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} = \frac{0,032}{0,085} = 0,376 \leq 1$$

Максимальная концентрация окислов азота в приземном слое не превышает максимально-разовую ПДК в атмосферном воздухе, следовательно, применение рециркуляции дымовых газов целесообразно в данном случае [47].

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ

7.1 Основные положения

Система автоматического управления (САУ) котла предназначена для целенаправленного воздействия на технологические процессы и оборудование котла в соответствии с принятыми критериями управления. Основными критериями являются: безопасность, надежность, готовность к работе, экономичность, соответствие действующим нормативам [28].

При этом основными функциями САУ котла являются:

- автоматическое регулирование технологических параметров котла,
- технологические защиты и блокировки,
- дистанционное управление,
- технологический контроль,
- автоматическое логическое управление,

САУ котла позволяет осуществлять:

- пуск котла при различных тепловых состояниях,
- работу в регулируемом диапазоне нагрузок,
- плановую остановку,
- аварийную остановку,

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- аварийный сброс нагрузок до установочного значения,
- замену топлив, совместное сжигание топлив.

Система управления и контроля котла может быть выполнена либо традиционных средствах, либо на базе программно-технических комплексов.

Переход от локальных систем контроля и управления к автоматизированным системам управления характеризуется существенным расширением информационных и управленческих функций, реализуемых на базе современных ПТК.

Внесение АСУ ТП, кроме выполнения традиционных задач управления и контроля, позволяет:

- повысить уровень эксплуатации оборудования,
- создать комфортные условия работы оперативного и управляющего персонала,
- создать развитую систему информации о ходе технологического процесса, состоянии оборудования, работе автоматических устройств,
- диагностировать состояние оборудования и технических средств АСУ ТП, в т.ч. вести определение места и причины неисправности,
- увеличить объемы логического управления технологическими процессами требующими повышенное внимание,
- выполнять автоматическую регистрацию аварийных ситуаций и проанализировать действие технологических защит и персонала,
- выполнить расчет технико-экономических показателей за период года,
- дать советы и рекомендации оператору по ведению технологического процесса с целью достижения максимального экономического режима работы котла,
- автоматически вести и распечатывать оперативную документацию,
- возможные диапазоны топлив,
- вид растопочных топлив,
- уровень автоматизации,
- тип технических средств, в т.ч. ПТК и др.

Для разработки системы автоматических защит и регуляторов горения следует представить утвержденные условия безопасного использования на ТЭЦ коксового и доменных газов.

7.2 Система автоматического регулирования

Система автоматического регулирования котла предназначена для обеспечения стабилизации или изменения по заданным алгоритмам технологических параметров.

Качество поддержания основных технологических параметров в регулируемом диапазоне нагрузок соответствует нормативным документам.

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Автоматическое регулирование технологических процессов котла состоит из систем регулирования:

- процесс горения,
- газоздушного режима,
- питания котла водой,
- температуры пара.

Каждая из систем регулирования состоит из локальных регуляторов. Структура регуляторов выполнена исходя из условия применения для их реализации микропроцессорной техники. Ниже приводится краткое описание предлагаемых систем регуляторов [29].

7.2.1 Система автоматического регулирования процесса горения

Основные требования, предъявляемые к качеству топочного процесса – обеспечение максимальной экономичности и максимального снижения выбросов окислов азота.

Главный регулятор управляет группой котлов, работающих на общую паровую магистраль котельной, и предназначен для поддержания заданного давления в паровой магистрали.

Регулятор формирует задание по нагрузке регуляторам топлива подключенных в нему котлов, с целью достижения максимально экономичного режима работы указанной группы котлов. Регуляторы давления природного, коксового и доменного газа обеспечивают стабилизацию давления топлива и режима расхода при переходе котла с одного на другое топливо. Регуляторы дают возможность выравнить нагрузку горелок.

Регулятор расхода природного, коксового и доменного газа поддерживают заданную нагрузку котла, определяемую главным регулятором или заданную путем обеспечения требуемого расхода сжигаемого топлива или смеси топлив [25].

7.2.2 Система автоматического регулирования питания котла водой

Система автоматического регулирования питания котла водой служит для автоматического поддержания заданного уровня воды в барабане и солесодержание котловой воды во всех режимах работы котла.

Регулятор питания котла водой поддерживает уровень воды в барабане котла в пусковом и основном режимах путем воздействия на расход питательной воды изменение степени открытия регулирующих питательных клапанов – растопочного и основного. Переключение осуществляется автоматически.

Солесодержание котловой воды поддерживается регулятором непрерывной продувки путем сброса части питательной воды их выносных циклонов через линию непрерывной продувки. Регулятор работает по принципу «нагрузка-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

величина продувки». По лабораторным данным вводится коррекция в это соотношение [29].

7.2.3 Система автоматического регулирования температуры пара

Система автоматического регулирования температуры пара поддерживает температурный режим поверхностей нагрева и выходные параметры пара в основном и пусковом режимах работы котла путем воздействия на расход конденсата во вспрыскиваемом пароохладителе.

Вспрыскивающие пароохладители установлены на расщепке конвективного пароперегревателя к каждому из двух паровых потоков котла.

Регулятор температуры пара на выходе из котла предназначен для поддержания температуры пара на выходе из котла своего потока.

Регулятор воздействует на регулирующий клапан впрыска конденсат в вспрыскивающий пароохладитель своего потока. Для котла предусмотрено два регулятора[30].

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается реконструкция котельного цеха ТЭЦ ЧФ ООО «Мечел-Энерго». Котельный цех предназначен для выработки пара на турбинные цехи №1,2,3.

В составе котельного цеха:

- 11 котлов установленной суммарной производительностью по пару 2052 т/час;

- системы газоснабжения, системы пылеприготовления, гидрозолошлакоудаления, очистки дымовых газов.

- электромостовой кран грузоподъемностью 30/5 т;

Топливом для котлов является газ природный, доменный, коксовый и их смеси. Резервным топливом является уголь [2].

В соответствие с ГОСТ 12.0.002.-80 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» вредными факторами определяются факторы, воздействие которых на рабочего приводит к заболеванию или снижению работоспособности [42].

Если же производственный фактор приводит к травме или к резкому внезапному ухудшению здоровья, то его считают опасным:

1) физические факторы:

- повышенная температура воздуха рабочей зоны;

- повышенная влажность воздуха;

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ				

- повышенная подвижность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень общей вибрации;
- инфразвук, возникающий при работе вентиляторов и дымососов;
- недостаточная освещенность рабочей зоны.

2) химические факторы:

- утечки газа;
- продукты горения топлива.

3) психофизиологические:

- тяжесть труда: умеренные физические нагрузки (категория Ib);
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда.

В помещении котельного цеха на оператора котла могут воздействовать следующие травмоопасные производственные факторы [33]:

1. Движущиеся, вращающиеся и грузоподъемные механизмы: электромостовой кран, дымососы, вентиляторы, мельницы, ПСУ.

2. Электрический ток: электродвигатели с системой электрокабелей и щитов контрольно-измерительных приборов.

3. Агрессивные и ядовитые химические вещества: доменный, природный.

4. Нагретые элементы оборудования: паропроводы, водопроводы питательной воды, корпусы котлов.

5. Повреждения, полученные при падениях: возможность падения на человека различных предметов и падения человека в результате поскользывания, запинания, падения с высоты или внезапного ухудшения здоровья [41].

Возможны следующие аварийные ситуации представляющие опасность для жизни:

1. Разрывы газопроводов с возгораниями и без возгораний.
2. Разрыв паропроводов.
3. Разрыв трубопроводов питательной воды.
4. Разрыв элементов парового котла.

8.2 Нормирование факторов рабочей среды и трудового процесса.

Организация мероприятий защиты

8.2.1 Воздух рабочей зоны

Микроклимат

Параметры микроклимата определяют теплообмен организма человека и оказывают существенное влияние на функциональное состояние различных систем организма, самочувствие, работоспособность и здоровье.

Высокие температуры оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвожива-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

нию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем - ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т.д.

Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению тепла в организме (гипертермии). При гипертермии наблюдается головная боль, тошнота, рвота, временами судороги, падение артериального давления, потеря сознания.

Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

Загазованность воздуха рабочей зоны: Наличие различных газов в атмосфере цеха обусловлено нарушением технологического режима, неисправностью и несовершенством оборудования. К основным источникам выделения удушающих газов (природный газ) относятся горелочные устройства котлов другое технологическое оборудование (газовые резаки), к источникам выделения отравляющих газов (оксид углерода) относится газовый тракт самого котла (при химическом недожоге газа и неплотности тракта).

Состав газов в атмосфере котельного цеха зависит от типа применяемого топлива и характеризуется следующими компонентами: углекислый газ (CO_2), окись углерода (CO), оксид азота (NO), диоксид азота (NO_2), оксид и диоксид серы (SO, SO_2) и компоненты природного газа.

Углекислый газ (CO_2) - не ядовит, при высоких концентрациях вызывает удушье вследствие уменьшения кислорода в воздухе.

Окись углерода (CO) - бесцветный газ, без запаха, с кисловатым вкусом, тяжелее воздуха. Образуется в результате неполного сгорания топлива. Является токсичным веществом, которое трудно обнаружить

Диоксид азота (NO_2) - очень токсичное соединение, окрашенное в бурый цвет, и является отравляющим газом, кроме того, вызывает интенсивную коррозию металлических поверхностей.

Природный газ - не имеет цвета, запаха, легче воздуха. Для придания запаха на газогенераторных станциях добавляется пахучее вещество с запахом перегоревшего чеснока. Повышенная концентрация в воздухе вызывает удушье.

Нормирование параметров микроклимата устанавливается в зависимости от:

1) периода года (холодный ($t_{\text{нар.возд.}} < 10^\circ\text{C}$), теплый ($t_{\text{нар.возд.}} > 10^\circ\text{C}$))

2) вида выполняемых работ. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч:

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- легкий физический труд (категории Ia, Ib)
- средний физический труд (категории Pa, Pb)
- тяжелый физический труд (категория П)

3) постоянного и непостоянного рабочего места

Действующими нормативными документами, регламентирующими метеорологические условия, являются:

- СанПин 2.2.4.548-96 " Технические требования к микроклимату производственных помещений "[36];
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ " Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны "[37].

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [37].

По ГОСТ 12.1.005-88 рабочее место оператора котельной установки попадает под следующие характеристики (таблица 8.2.1)[37]:

Таблица 8.2.1 - Оптимальные и допустимые нормы показателей микроклимата в рабочей зоне производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха в рабочей зоне (постоянное рабочее место), t, °C		Относительная влажность воздуха, ф, %		Скорость движения воздуха, v, м/с	
		диапазон					
		оптимальный	допустимый	оптимальный	допустимый	оптимальный	допустимый
холодный	1б	21-23	20-24	40-60	15-75	0,1	≤0,2
теплый	1б	22-24	21-28	40-60	15-75	0,2	0,1-0,3

холодный	1а	21-23	20-25	40-60	15-75	0,1	0,1
теплый	1а	23-26	20-28	40-60	15-75	0,1	0,1-0,2

Тепловое излучение нормируется отдельно.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 8.2.2.

Таблица 8.2.2 - Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	не более 35
25-50	не более 70
не более 25	не более 100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Вредные вещества.

Нормативными документами являются:

1. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности "[45].
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ " Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны "[37].

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) приведенных в таблице 8.2.3.

Таблица 8.2.3 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ				

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественно агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
1. Диоксид азота (NO ₂)	2	п	III	О
2. Оксид азота (NO)	5	п	III	О
3. Оксид углерода (CO)	20	п	IV	О
4. Углеводороды предельные С ₁ -С ₁₀ (С ₂ Н ₆ , СН ₄)	300	п	IV	
п - пары и/или газы, О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе;				

8.2.2. Производственное освещение

Для освещения производственных помещений используют искусственное, естественное и совмещенное освещение. Неудовлетворительное освещение может служить причиной травматизма, отрицательно влиять на зрение рабочего, понижает производительность труда. Особое значение имеет рациональное освещение при работе, требующего большого напряжения зрения. При проведении таких работ часто возникает зрительное утомление, боль в глазах, слезотечение.

Естественное освещение имеет положительные и отрицательные стороны. Более благоприятный спектральный состав (наличие УФ лучей), высокая рассеянность света способствуют улучшению зрительных условий работы. В то же время при естественном освещении освещенность во времени и пространстве непостоянна, зависит от погодных условий, возможно тенеобразование, ослепление при ярком солнечном свете. Условия гигиены труда требуют максимального использования естественного освещения [42].

Искусственное освещение помогает избежать многих недостатков, характерных для естественного освещения, и обеспечить оптимальный световой режим.

Неблагоприятное освещение возникает вследствие плохой работы осветительных приборов и затененностью оборудования, конструкций. Действующими нормативными документами являются:

1. СНиП 23-05-95* "Естественное и искусственное освещение. Правила проектирования"[41].

Зрительная работа оператора котла: рассматривание предметов размером

								Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

13.03.01.2018.542.01 ПЗ

самостоятельной проводкой. Взрывобезопасное освещение может быть использовано и как аварийное [42].

8.2.3. Виброакустические факторы

Шум

Многие технологические операции сопровождаются образованием шумов.

В котельном цехе значительный шум вызывает:

- резкие перепады давления в трубопроводе;
- работа предохранительных клапанов;
- пробивание прокладок фланцевых соединений
- движение газов в трубах с большой скоростью.

Кроме того, при кипении воды возникают значительные шумы. В случае резонанса сила звука резко возрастает.

Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха [38].

Допустимые шумовые характеристики (таблица 8.2.5) рабочих мест регламентируются:

1) ГОСТ 12.1.003-83 "ССБТ. Шум, общие требования безопасности"[39].

2) СН 3223-85 «Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах» с изменениями и дополнениями от 29.03.1988 года №122-6/245-1[40].

По характеру спектра шум следует подразделять на:

- широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы;
- тональный, в спектре которого имеются выраженные дискретные тона.

По временным характеристикам шум следует подразделять на:

- постоянный, уровень звука которого за 8-часовую рабочую смену изменяется во времени не более чем на 5 дБА;
- непостоянный, уровень звука которого за 8-часовую рабочую смену изменяется во времени более чем на 5 дБА;

Непостоянный шум следует подразделять на:

- колеблющийся во времени, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;
- прерывистый, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;
- импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

Таблица 8.2.5 - Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности, в дБА

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

В котельном цехе, с целью снижения уровня шума, проводят следующие мероприятия:

- улучшение режима эксплуатации оборудования;
- центровка и балансировка механизмов;
- наложение шумовой изоляции (шумозащитные кожухи).

При кратковременном пребывании в очень шумном помещении применяют наушники - противоушины или беруши.

Инфразвук

Наибольшую интенсивность инфразвуковых колебаний создают машины и механизмы, имеющие поверхности больших размеров, совершающие низкочастотные механические колебания (инфразвук механического происхождения) или турбулентные потоки газов и жидкостей (инфразвук аэродинамического или гидродинамического происхождения).

Максимальные уровни низкочастотных акустических колебаний от промышленных и транспортных источников достигают 100-110 дБ.

Исследования биологического действия инфразвука на организм показали, что при уровне от 110 до 150 дБ и более, он может вызывать у людей неприятные субъективные ощущения и многочисленные реактивные изменения, к числу которых следует отнести изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной системах, вестибулярном анализаторе [39].

Нормирование инфразвука осуществляется в соответствии с документами:

1. СН 2.2.4/2.1.8.583-96 "Инфразвук на рабочих местах в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки"

Нормируемыми характеристиками постоянного инфразвука (таблица 8.2.6) являются уровни звукового давления (L_p) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц, в дБ.

Таблица 8.2.6 - Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах.

Назначение помещений	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами			
	2	4	8	16
Работы различной степени тяжести и напряженности рудового процесса в производственных помещениях	100	95	90	100

Вибрация

Работа промышленных установок, оборудования сопровождается колебаниями их фундаментов, элементов, конструкций, которые называются вибрацией.

Промышленные вибрации имеют широкий диапазон частот (от 1,2 до 3000 Гц), а наиболее опасный диапазон от 1 до 25 Гц.

При воздействии общей вибрации более выражены изменения со стороны ЦНС: головокружение, шум в ушах, сонливость. Ухудшается память, нарушается координация движений, наблюдается возрастание энергозатрат и похудение. Со стороны сердечно-сосудистой системы наблюдается неустойчивость артериального давления, появление гипертонии. Поражения костно-суставного аппарата локализуется преимущественно в ногах и позвоночнике.

Нормирование вибрации осуществляется в соответствии с документами:

1. ГОСТ 12.1.012-90*(96) «Вибрационная безопасность. Общие требования»

2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»[38].

Воздействие вибрации на человека нормируется по виду, по способу передачи, по направлению.

В качестве факторов, влияющих на степень и характер неблагоприятного воздействия вибрации, должны учитываться:

- риски (вероятности) проявления различных патологий вплоть до профессиональной вибрационной болезни;
- показатели физической нагрузки и нервно-эмоционального напряжения;
- влияние сопутствующих факторов, усугубляющих воздействие вибрации (охлаждение, влажность, шум, химические вещества и т.п.);
- длительность и прерывистость воздействия вибрации;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.01.2018.542.01 ПЗ

- длительность рабочей смены.

1) Норму вибрационной нагрузки на оператора устанавливают для длительности 8 ч, соответствующей длительности рабочей смены, в зависимости от временной структуры рабочей смены.

2) Нормируемый диапазон частот устанавливается: для общей вибрации - октавных и 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 Гц.

3) Общую вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_o, Y_o, Z_o (рисунок 1), где X_o (от спины к груди) и Y_o (от правого плеча к левому) - горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_o - вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т.п.[38].

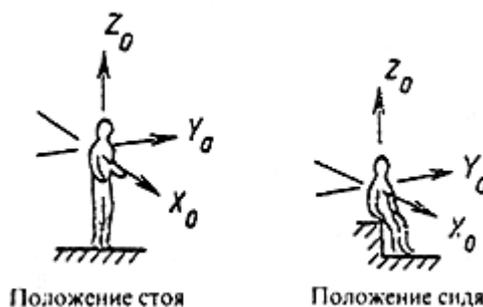


Рисунок 1 - Направление координатных осей при действии вибрации.

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 указаны в таблице 8.2.7.

Таблица 8.2.7 - Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа "а"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
2,0	0,079	0,14	98	103	0,63	1,30	102	108
4,0	0,056	0,10	95	100	0,22	0,45	93	99
8,0	0,056	0,10	95	100	0,11	0,22	87	93
16,0	0,110	0,20	101	106	0,11	0,20	87	92
31,5	0,220	0,40	107	112	0,11	0,20	87	92

63,0	0,450	0,79	113	118	0,11	0,20	87	92
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,10		100		0,20		92

Интенсивность вибрации деталей агрегатов, имеющих большие излучающие поверхности (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. д.) следует уменьшать путем:

- облицовки этих поверхностей или заполнение специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими материалами;
- устройство гибких связей между этими деталями и узлами агрегата вызывающих вибрацию;
- замена металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- использование минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;
- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. д.);

Рабочим, работающим на машинах и агрегатах, передающих вибрацию на рабочие места, рекомендуется работать в виброгасящей обуви, в случае необходимости применять наколенники. Передача вибрации на руки при работе пневматическим инструментом может быть ослаблена применением специальных виброзащитных рукавиц [38].

8.3 Безопасность производственных процессов и оборудования

Травмоопасность оборудования

Опасными местами в котельном цехе являются: топка котла, трубопроводы пара и горячей воды, предохранительные клапаны, насосы, электродвигатели и электропускатели.

В зоне обслуживания оборудования оператора котла могут иметь место следующие травмоопасные факторы:

- электроопасность;
- ожоги от горячих поверхностей, горячей воды и выходящего пара;
- взрыв котла с вероятностью пожара (из-за перегрева и избыточного давления), травмы, вызванные действием взрывной волны, летящими осколками, пламенем, паром и др.;
- возможны взрывы газозвушной смеси в газоходе или топке котла, приводящие к разрушению обмуровки и выбрасыванию пламени и горячей воды;

- удушье от вдыхания воздуха с низким содержанием кислорода;
- отравление окисью углерода или другими продуктами сгорания в воздухе, в частности, в случае неисправной вентиляции или недостаточного притока воздуха в горелки (острое отравление окисью углерода может вызвать головные боли, головокружение, тошноту, потерю сознания, кому и смерть);
- наличие площадок для обслуживания котла, расположенных на высоте, пологие и высокие лестницы;
- соскальзывание и падение на ровные поверхности, в частности, на скользкий пол, на который разлиты вода, топливо, масла и др.;
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигаемые изделия.

Для защиты от воздействия опасных и вредных факторов необходимо принимать соответствующие меры:

- при обслуживании вращающихся механизмов не должно быть развеваемых частей одежды, которые могут быть захвачены движущимися частями механизмов;
- при необходимости нахождения вблизи горячих частей оборудования следует принять меры по защите от ожогов и действия высоких температур (ограждение оборудования, вентиляция, теплая спецодежда);
- при нахождении в помещениях с действующим технологическим оборудованием (за исключением щитов управления) необходимо носить защитную каску для защиты головы от ударов случайными предметами.

Оператор котельной установки должен работать в спецодежде и применять средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

8.4 Электробезопасность

Проходя через тело человека, электрический ток раздражает и возбуждает живые ткани организма, вызывая непроизвольные судорожные сокращения мышц, в том числе дыхательных мышц грудной клетки и мышцы сердца. При этом возникают различные нарушения в организме, а также прекращение дыхания или деятельности сердца.

При прохождении электрического тока через организм человека, имеющий определенное сопротивление, возникают различные тепловые эффекты, которые также влияют на деятельность внутренних органов. Помимо этого, электрический ток проявляет и электролитическое действие, вызывающее в тканях организма сложные физико-химические изменения. Воздействуя на центральную нервную систему, электрический ток вызывает расстройство деятельности жизненно важных органов [45].

Следствием непроизвольных сокращений мышц под воздействием тока могут быть разрывы кожи, кровеносных сосудов, нервной ткани, вывихи суставов, а также откровенные и компрессионные переломы костей.

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При воздействии на человека электрического тока исход поражения во многом определяется факторами:

- величиной протекающего через тело человека тока;
- частотой этого тока;
- родом тока;
- длительностью протекания тока;
- направлением протекания тока;
- сопротивлением тела человека.

Различают ощутимые, неотпускающие и фибрилляционные токи. Ощутимый ток, вызывает раздражение организма, и его минимальная величина составляет 1-1,5 мА для мужчин. Дальнейшее увеличение тока, протекающего через тело человека, вызывает эффект «неотпускания».

Неотпускающий ток обуславливает непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, контактирующей с токоведущей частью. Наименьшая величина неотпускающего тока 10-15 мА для мужчин.

Фибрилляционные токи. Сердечная мышца состоит из отдельных волокон, называемых фибриллами, которые колеблются синхронно, обеспечивая тем самым работу мышцы. При воздействии на фибриллы электрического тока последние начинают хаотично сокращаться, а мышца дергаться. Это приводит к нарушению деятельности сердца. Минимальное значение тока, вызывающего фибрилляцию, составляет 80 мА.

С увеличением тока, протекающего через тело человека, опасность поражения возрастает. Наряду с величиной тока на исход поражения оказывает влияние и частота тока. Ток с частотой 1 - 10 Гц оказывает самое опасное воздействие, т.к. он вступает в резонанс с организмом (головной мозг, сердце, легкие). Ток с 10 - 50 Гц менее опасен, а с частотой 50 - 700 Гц оказывает практически одинаковое воздействие и она не несет определяющего воздействия. Ток с частотой больше 700 Гц оказывает тепловое воздействие [45].

Влияние рода тока на исход поражения. При производстве, преобразовании, распределении и потреблении электроэнергии возникают искажения формы кривой синусоидальной тока (напряжения). Эти искажения возникают при генерации, передаче и главным образом при потреблении электроэнергии, связанном в основном с преобразованием переменного тока в постоянный. При возникновении поражения электрическим током тела человека, как правило, протекает несинусоидальный ток.

Длительность протекания тока. Этот фактор связан с работой сердечной мышцы. Длительность одного цикла сердечной мышцы не более 1 секунды, поэтому при протекании тока через тело человека кратковременно (менее 0,5 с) явление фибрилляции может и не возникнуть. И чем меньше время воздействия, тем меньше вероятность возникновения фибрилляции.

Другим является тот факт, что с течением времени наблюдается увеличение тока, протекающего через тело человека, хотя приложенное напряжение остается постоянным по величине.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

Еще один фактор, определяющий исход поражения - направление протекания тока, влияние которого связано с такими явлениями:

- неодинаковым сопротивлением тела человека для различных путей протекания тока;
- непосредственным или рефлекторным действием тока на жизненно важные органы (сердце, легкие, головной мозг).

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества

Действующими нормативными документами являются:

1. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ "Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
2. ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»[45].
3. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»

Предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека не должны превышать значения, указанных в таблице 8.3.1.

Таблица 8.3.1 - Напряжение прикосновения и токи при нормальных режимах работы электроустановок

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

Таблица 8.3.2 - Напряжение прикосновения и токи при аварийных режимах работы электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия, сек	Нормируемая величина	
	Напряжение, В.	Сила тока, мА
0,01-0,08	220	220
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
-----	----	----

Для создания безопасных условий работ с электрическими установками существует ряд защитных приспособлений: ограждение и блокировка; средства, изолирующие рабочего от земли; предостерегающие надписи и плакаты; сигнализация.

В качестве ограждения используют решетки, сплошные щиты, ящики шкафы и т. п. Все ограждения закрываются на замок или снабжаются блокировкой, исключающие входа за ограждение или открывание ящиков, камер при включенном напряжении.

Средствами, служащими для изолирования рабочего от земли, являются изолирующие подставки, резиновые коврики, резиновые галоши и боты, резиновые перчатки и другие средства индивидуальной защиты.

Управления двигателями и вспомогательными агрегатами осуществляется дистанционно с пультов управления.

Учитывая, что все помещения котельного цеха относятся к особо опасным или с повышенной опасностью, корпуса электрооборудования напряжением 380/220 В переменного тока, 220 и 440 В постоянного тока необходимо заземлять.

Подстанция и ее помещения должны быть не доступны для посторонних [44].

8.5 Пожаровзрывобезопасность

Нормирование:

ГОСТ 12.1.004-91 "Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования"[43].

Так как технологический процесс связан со сжиганием топлива, то возможный источник пожара в котельной - это утечка топлива из газопровода и образование взрывоопасных газоздушных смесей. Котельная по пожарной безопасности относится к категории "Г". По огнестойкости строительных конструкций степень огнестойкости здания котельной "П".

Применяемы меры по ограничению масштабов пожаров:

- разделение зданий противопожарными средствами - это перегородки, разделяющие здание котельной на секции;
 - устройство противопожарных преград (гребни, бортики, козырьки, пояса и т.д.);
 - устройство противопожарных дверей и ворот.
- Противопожарные перекрытия примыкают к наружным стенам, выполненным из огнестойких материалов без зазоров.

Для предупреждения образования взрывоопасных газоздушных смесей большое значение имеет контроль воздушной среды производственного

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

помещения. Наиболее прогрессивен контроль воздушной среды производственных помещений автоматическими сигнализаторами до взрывных концентраций. При включении предупредительной сигнализации и аварийной вентиляции предусматривается автоматическое или ручное отключение всего или части технологического оборудования.

Противопожарные стены и перекрытия пересекаются каналами и трубопроводами для транспортировки горючих веществ.

Для борьбы с пожаром котельная оборудована противопожарным инвентарем по существующим нормам противопожарной охраны. В состав этого инвентаря входят:

- пенные химические огнетушители;
- порошковые огнетушители;
- гидранты;
- ящики с песком;
- лопаты;
- ведра.

Весь инвентарь расположен в доступном месте на входе в котельную. Для быстрого вызова пожарной службы в котельной установлены извещатели и телефон.

В здании предусмотрено четыре выхода с разных сторон.

Во взрывоопасных помещениях разрешается применение только взрывобезопасной осветительной аппаратуры, а также временная установка дополнительных светоточек открытого типа на расстоянии вне зоны распространения газа.

Отыскание мест утечек газа производить только с помощью мыльного раствора, а проверку присутствия газа в помещении - газоанализатором.

Во избежание искрообразования во время ремонта должен применяться инструмент из цветного металла, кроме ключей, зубил, которые смазываются солидолом.

До начала работ в местах проведения газоопасных работ должны быть подготовлены первичные средства пожаротушения. Отогревание любых газопроводов и газовых аппаратов производить паром или теплой водой. Возле газопроводов, газовых установок, помещений, где имеется оборудование или газоаппаратура, заполненная газом, не допускать разведения огня, установку электронагревательных приборов, курение, хранение легковоспламеняющихся жидкостей, лесоматериалов и других материалов.

Тушение электроустановок и электропроводки производить углекислотными огнетушителями.

Тушение легковоспламеняющихся жидкостей производить пенными огнетушителями и песком.

Во всех случаях после окончания работ на газопроводах, аппаратах и оборудовании, с применением деревянных лесов, щитов и мостиков, последние должны быть немедленно сняты.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

При появлении опасности воспламенение газа или возникновение пожара немедленно сообщить в пожарную команду по телефону 01, назвать точное место пожара, свою фамилию и цех. До прибытия пожарной команды тушение производить имеющимися под руками средствами пожаротушения и с целью предотвращения дальнейшего распространения огня.

К средствам пожаротушения относятся: пар, пена, углекислота, азот, аргон, песок, глина.

Пенные огнетушители содержат щелочной раствор двууглекислой соды и серную кислоту, которая, вступая во взаимодействие со щелочью, образует пену. Пенные огнетушители применяются для тушения дерева, легковоспламеняющихся жидкостей, бензина, керосина.

Углекислотные огнетушители дают наибольший эффект при тушении пожара в закрытых помещениях и электроустановках. Углекислота для тушения применяется в газообразном состоянии, она не электропроводна; не портит предметов, подвергающихся тушению, и не изменяет своих качеств во время хранения.

При тушении загоревшегося газа нужно иметь в виду, что с прекращением горения газа будет отравляться атмосфера, поэтому необходимо обеспечить себя средствами газозащиты, убрать лишних людей, вызвать газоспасателя и принять меры по устранению утечки газа.

При обнаружении горящего газа на газопроводе необходимо:

- если имеется небольшая утечка горящего газа на фланцевых соединениях необходимо убрать находящиеся рядом с пламенем другие сгораемые материалы, после чего произвести обтяжку и чеканку фланцев;

- если факел горения небольшой, сбить его войлоком, фуфайкой, вязкой глиной, после чего произвести ликвидацию утечки газа;

- если горение газа обнаружено в местах разрыва газопроводов на длине не более 200 мм, пламя необходимо тушить струей из огнетушителя или паром с последующим наложением бандаж с сальниковой набивкой на месте утечки газа с обваркой бандаж электросваркой.

При пожаре на газопроводе немедленно вывести из цеха людей, не связанных с ликвидацией аварии, и, не ожидая прибытия пожарной команды, принять следующие меры:

- снизить давление газа на аварийном участке газопровода до 0,5 кПа (50 мм в ст.), о снижении давления газа предупредить начальника смены, мастера и диспетчера газового цеха,

- подать пар в газопровод через все паропродувочные штуцера с целью вытеснения газа паром и прекращения огня, после потухания пламени газопровод должен быть выключен с целью наложения бандаж на щель и ее уплотнения.

Взрывоопасность определяется физическими свойствами газа и соотношением количества воздуха и газа. Минимальное содержание газа в воздухе, при котором возможен взрыв, называется нижним пределом взрываемости, макси-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

мальное содержание газа в воздухе, выше которого смесь не взрывоопасна, называется верхним пределом взрываемости.

Нижний предел взрываемости для природного газа соответствует приблизительно 5%, верхний предел взрываемости соответственно 15%.

При наличии взрывоопасно смеси газа с воздухом любой источник воспламенения (зажженная спичка, искра, горящая папироса, факел) вызывает взрыв.

Температура воспламенения взрывоопасной смеси - 550-650 °С. Температура может быть понижена до 300°С за счет катализаторов, которыми могут быть водяные пары, сернистая медь, отложения углерода, горячая шамотная поверхность [43].

Меры по предупреждению взрывов делятся на 2 группы:

-не допускать образования смеси воздуха с газом (надежная герметизация всех газовых установок и поддержания в них положительного давления не ниже 0,5 кПа);

-не допускать соприкосновения газа с каким-либо источником воспламенения.

8.6 Эргономика и производственная эстетика

Выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости.

Для оператора котла "часто" - менее двух операций в минуту.

Существует три зоны выполнения ручных операций и размещения органов управления:

1^я зона: в ней размещены наиболее важные и очень часто используемые органы управления;

2^я зона: в ней размещены часто используемые органы управления;

3^я зона: в ней размещены редко используемые органы управления.

Для знаков безопасности поверхностей конструкций и элементов производственного объединения применяют сигнальные цвета.

В соответствии с ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности, разметка сигнальная устанавливаются следующие цвета - сигнальные знаки безопасности: красный, желтый, синий, зеленый.

На пульте управления красным светом обозначены рукоятки отключения, аварийной остановки, а также лампы, сигнализирующие о нарушении технологического процесса. Желтым цветом обозначены подъемно-транспортное оборудование, постоянные и временные ограждения, устанавливаемые на границе опасных зон. Синий цвет применяется для подписывающих знаков. Зеленый цвет для световых табло, сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы котлов [43].

9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					

9.1 Техничко-экономический расчет

9.1.1 Расчет сметы капитальных затрат на реконструкцию

Цены на разработку проекта (включая экспертизу проекта), расходные материалы, монтажные работы, пуско-наладочные работы (ПНР) и режимно-наладочные испытания (РНИ), по данным КП «Монтаж. Наладка. Пуск» приведены в таблице 9.1.1.

Таблица 9.1.1 - Смета капитальных затрат, тыс.руб.

Наименование	Значение
1. Стоимость на разработку проекта (включая экспертизу проекта)	120
2. Стоимость расходных материалов	83
3. Стоимость монтажных работ	79
4. Стоимость пуско-наладочные работы и режимно-наладочные испытания	68

Капитальные затраты рассчитываются по формуле (9.1):

$$K_{\text{кап.вл}} = K_n + K_{\text{р.м}} + K_{\text{м.р}} + K_{\text{ПНРиРНИ}}, \quad (9.1)$$

где K_n – стоимость на разработку проекта, тыс.руб.;

$K_{\text{м.р.}}$ – стоимость монтажных работ, тыс.руб.;

$K_{\text{р.м.}}$ – стоимость расходных материалов, тыс.руб.;

$K_{\text{ПНРиРНИ}}$ – стоимость пуско-наладочных и режимно-наладочных испытаний, тыс.руб.;

$$K_{\text{кап.вл}} = 120 + 83 + 79 + 68 = 350 \text{ тыс.руб.}$$

9.1.2 Калькуляция текущих затрат

Расход топлива (9.2):

$$B^{E-220} = \frac{D \cdot (i_{\text{не}} - i_{\text{нг}}) \cdot 100}{Q_p^p \eta_{\text{нг}}} \quad (9.2)$$

где D – паропроизводительность котлоагрегата, кг/с.

$$B^{E-220} = \frac{61,11 \cdot (3285 - 610) \cdot 100}{19940 \cdot 93,5} = 8,76 \text{ м}^3 / \text{с} = 242196,5 \text{ тыс.м}^3 / \text{год}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ				

Затраты на природный газ (9.3):

$$I_m = C_m \cdot B, \quad (9.3)$$

где C_m - цена природного газа, $C_m = 1,35$ тыс. руб/тыс. м³ у.т. (по данным расчетного отдела)

C_r – цена смеси коксового и доменного газа, $C_r = 0,6$ тыс. руб/тыс. м³ у.т. (по данным расчетного отдела)

B – расход топлива, тыс.м³/год.

$I_{пр.г.}^{E-220} = 1,35 \cdot 242196,5 = 326,9$ тыс. руб / год, при работе на природном газе.

$I_{см.г.}^{E-220} = 0,6 \cdot 242196,5 = 145,3$ тыс. руб / год, при работе на смеси газов.

Экономия на закупке топлива, найдем по формуле 9.4:

$$\Delta = I_{пр.г.}^{E-220} - I_{см.г.}^{E-220} \quad (9.4)$$

$$\Delta = 326938 - 145317 = 181621 \text{ руб./год.}$$

Можно сделать вывод, что работа котла E – 220 – 3,2 – 425 на смеси коксового и доменного газов более выгодна.

9.1.3 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости проекта реконструкции рассчитывается по формуле 9.5:

$$T_{ок.рек} = \frac{K_{кап.влож}}{\Delta I} \quad (9.5)$$

$$T_{ок.рек} = \frac{K_{кап.влож}}{\Delta I} = \frac{350000}{181621} = 1,92 \text{ года.}$$

Вывод: Срок окупаемости составил 1,92 года при норме не более 5 лет, это сравнительно небольшой период для промышленных предприятия. Следовательно, сделаем вывод, что работа по переводу котла E -220-3,2-425 на смесь коксового и доменного газов экономически целесообразна.

9.2 SWOT – анализ вариантов проектных решений

Перевод котла E-220-3,2-425-ГД на смесь коксового и доменного газа.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ				

Необходимо проанализировать сильные и слабые стороны предприятия. Для этого выполним SWOT – анализ и сведем в таблицу 9.2.1:

Таблица 9.2.1 - SWOT – анализ при переводе котла Е – 220-3,2-425ГД на смесь коксового и доменного газов

S: Сильные стороны	W: Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> 1. Экономия природных ресурсов. 2. Минимум капитальных затрат. 3. Возможность применять ВЭР. 4. Развитие предприятия, увеличение производственного потенциала. 5. Возможность продавать излишки теплоты. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сложность регулирования системы. 2. Сложность обслуживания оборудования.
O: внешние благоприятные возможности	T: внешние угрозы предприятию
<ol style="list-style-type: none"> 1. Положительное влияние на экологическую обстановку. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость поставки газа от работы металлургии. 2. Недостаток обученного персонала.

SWOT – анализ при работе котла Е – 220-3,2-425ГД на природном газе сведем в анализ 9.2.2.

Таблица 9.2.2 - SWOT – анализ при работе котла Е – 220-3,2-425ГД на природном газе

S: Сильные стороны	W: Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none"> 1. Простота регулирования системы. 2. Простота обслуживания оборудования. 3. Возможность применять вторичные энергоресурсы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость топлива. 2. Необходимость утилизации коксового и доменного газа.
O: внешние благоприятные возможности	T: внешние угрозы предприятию
<ol style="list-style-type: none"> 1. Положительное влияние на экологическую обстановку. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость от поставки природного газа. 2. Рост цен на топливо.

Из SWOT- анализа можно сделать вывод, что работа котла Е – 220 – 3,2 – 425 ГД на смеси коксового и доменного газа более выгодна, так как имеет больше положительных сторон.

9.3 Планирование целей проекта

9.3.1 Планирование целей проекта в дереве целей

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дерево целей – структурная модель, показывающая соподчиненность и связь целей подразделения в иерархии управления (рисунок 2).

Миссия - предназначение организации в условиях постоянно меняющихся факторах внешней среды.

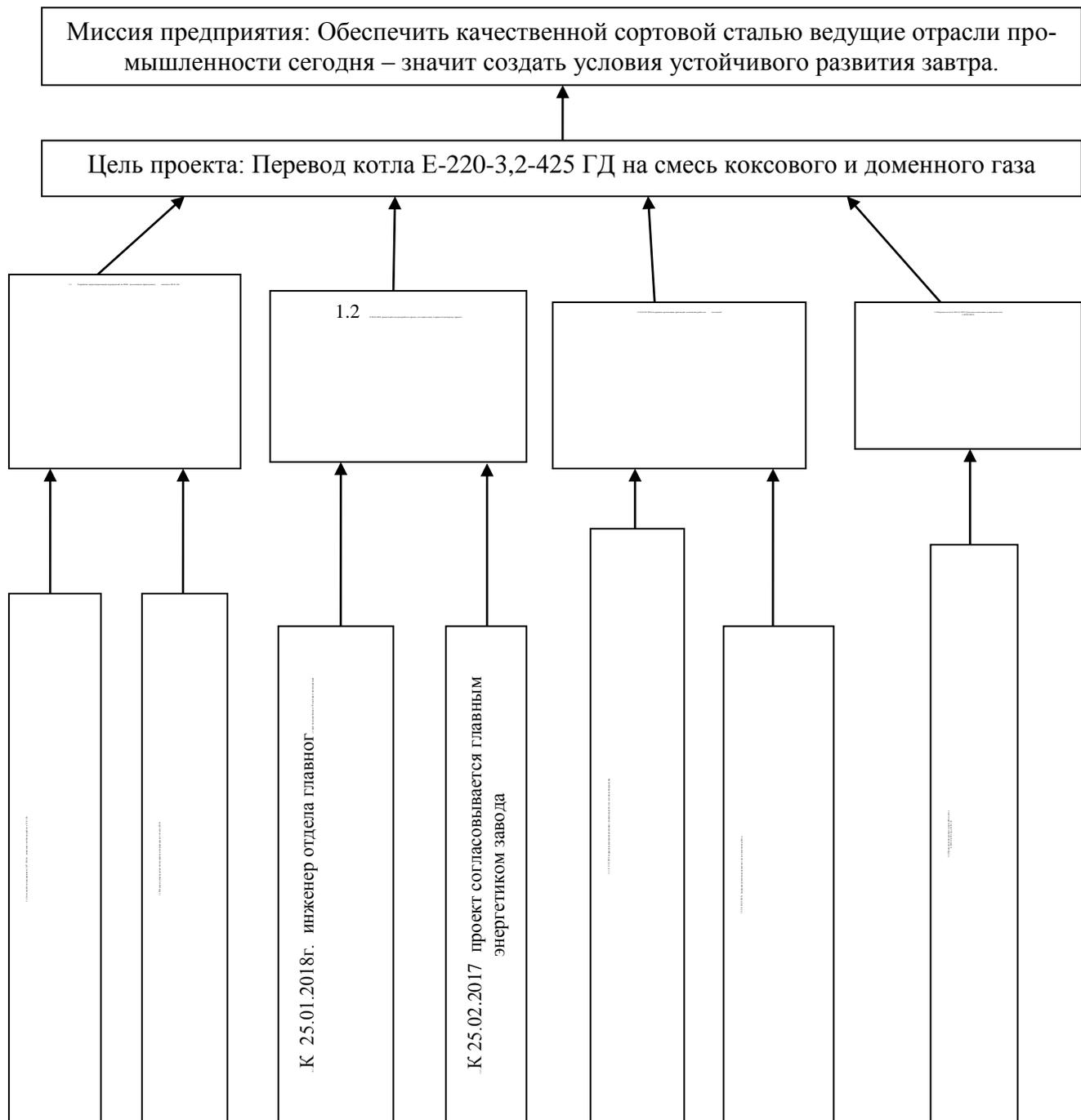


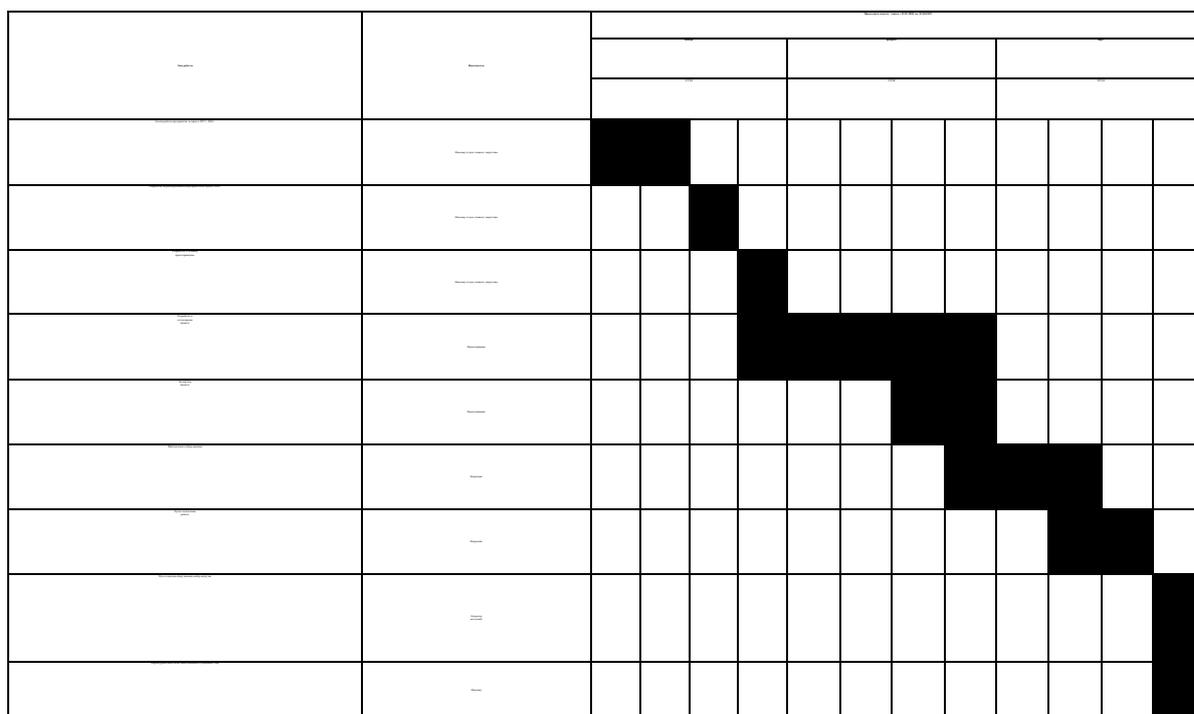
Рисунок 2 – Дерево целей проекта

9.3.2 План-график Ганта по реализации целей

					13.03.01.2018.542.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Небольшой комплекс работ может быть показан в виде ленточного графика по этапам проектных работ. График отображает примерное распределение процессов во времени и их логическую последовательность, должен быть скорректирован и дополнен при детальной проработке проекта изменений. По этапам назначаются исполнители и ориентировочная продолжительность работ. План-график Ганта по реализации целей показан в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – План – график Ганта по реализации целей



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из важнейших элементов ТЭЦ является паровой котел, надежность которого во многом определяет надежность и эффективность всей станции в целом.

Результатом выпускной квалификационной работы является предложение по переводу котла Е-220-3,2-425 на смесь коксового и доменного газа. Предлагается перевести работу котельного агрегата на постоянную работу на смеси коксового и доменного газов.

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы произведен поверочный расчет котельного агрегата Е-220-3,2-425, топливом которого является смесь коксового и доменного газа. Определены температуры воды, пара, воздуха и продуктов сгорания, КПД, расход топлива.

Рассмотрены вопросы энергосбережения в котельной и предложены основные энергосберегающие мероприятия. Представлены основные принципы авто-

матического управления котельным агрегатом. Проведен анализ осуществления данной работы. Определен срок окупаемости XXгода при норме 5 лет.

В главе «Вопросы экологии» описана надежность котла с точки зрения охраны окружающей среды. Предложены пути снижения вредных выбросов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 <http://www.mechel-energo.ru>
- 2 Бузников, Е.Ф. «Производственные и отопительные котельные»/ Е.Ф. Бузников, К.Ф.Роддатис.- М.: Энергоатомиздат, 1984
- 3 Киселев, Н.А. «Промышленные котельные установки».- М.: «Энергия», 1965 г.
- 4 <http://ru.wikipedia.org/>
- 5 Смирнов, А.Д., К. М. Антипов «Справочная книжка энергетика». - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248с.
- 6 Федеральный закон N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», утв. Президентом РФ, 23.11.2009.
- 7 <http://www.minenergo.gov.ru>
- 8 Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года, утв. Президентом РФ, 30.04.2012.
- 9 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утв. Правительством РФ, 13.11.2009.
- 10 Тепловой расчет котлов: нормативный метод – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 2010. - 256 с.
- 11 Частухин, В.И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов: учебное пособие / Частухин В.И. – М.: Изд-во Высшая школа, 2009. – 315с.
- 12 Сидельковский, Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. – М.: Изд-во Бастет, 2009. – 348с.
- 13 Н.В. Кузнецов. Тепловой расчет котельных агрегатов: Нормативный метод. - М.: Изд-во Энергия, 1973.
- 14 Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для вузов/ Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков – М.: 2009. – 240с.
- 15 Сычев, В.В. Техническая термодинамика: учебник для вузов/ Сычев В.И., Кириллин В.А., Шейндлин А.Е. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 387с.
- 16 Вергазов, В.С. Устройство и эксплуатация котлов: справочник/ В.С. Вергазов. Издание 4-е перераб. – М.: Изд-во Стройиздат 2009. 271с.
- 17 <https://cyberleninka.ru/article/v/optimizatsiya-rezhimov-energeticheskikh-kotlov-pri-szhiganii-ver>
- 18 Виноградов, В.С. Аэродинамические исследова-

ния пучков труб.: дис.канд.тех.наук/ В.С. Виноградов. – Комсомольск-на-Амуре, 2002. – 2015с.

- 19 <http://www.alz-gmbh.de>
- 20 <http://www.aprovis-gmbh.de/>
- 21 <http://www.w-essert.de>
- 22 <http://www.bikz.ru>
- 23 <http://tkz.su>
- 24 <http://www.zaokmz.ru>
- 25 Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник/ Ривкин С.Л., Александров А.А. Издание 2-е перераб. – М.: Изд-во Энергия 2011. – 206 с.
- 26 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник/ Данилов О.Л. и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 355с.
- 27 Клименко, А.В., Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В., Вакулко А.Г. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2010. – 235с.
- 28 Григорьев, В.И. Справочник энергетика / В.И. Григорьев и др.; под ред. А.Н. Чохонидзе, - М.: Изд-во Колосс, 2011. – 108с.
- 29 Иванова, Г.М. Технологические измерения и приборы: учебное пособие / Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С., - М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 247с.
- 30 Калиниченко, А.В. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике/ Калиниченко А.В. – М.: Изд-во Энергия, 2010. – 200с.
- 31 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть дипломного проекта: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск.: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 46 с.
- 32 Горфинкель, В.И. Экономика предприятия : учебное пособие/ Горфинкель. – М.: Изд-во ЮНИТИ ,2009. – 87с.
- 33 Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильянская и др.; Под общей редакцией С.В. Белова, 5-изд. – М. : Высшая шк. 2009. – 605с.
- 34 Васильев, П.П. Безопасность жизнедеятельности: Экология и охрана труда, Количественная оценка и примеры: Учебное пособие для вузов/ П.П. Васильев. – М.: Изд-во ЮНИТИ,2011. – 188с.
- 35 Фролов, А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: Учебное пособие для вузов/ А.В. Фролов. – Ростов: Изд-во Феникс, 2010. – 735с.
- 36 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 37 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

- 38 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 .Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 39 ГОСТ 12.1.003-83. Шум, общие требования безопасности
- 40 СН 2.2.4/2.1.8.583-96 /Инфразвук на рабочих местах в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.
- 41 СНиП 23-05-95* .Естественное и искусственное освещение. Правила проектирования.
- 42 ГОСТ 17677-82 ССБТ. Светильники. Общие технические условия.
- 43 ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 44 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 45 ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 46 Расчет выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанции: Методические указания/ сост. А.Л. Мельников. – М.: Изд-во Атомизд,2009. – 57с.
- 47 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды: Учебное пособие для вузов/ П.В. Росляков. – М.: Изд-во МЭИ,2009. – 286с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень оборудования

Таблица А.1 – Перечень оборудования

Поз.	Назначение	Обозн. по схеме	Наименование	Тип	Кол.
1	2	3	4	5	6
1	Регулирование температуры перегретого пара после пароперегревателя	1а	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК-0515 710-21	1
		1б	Электронный регулирующий прибор	РПИБ-Т	1
		1в	Универсальный переключатель	УП-5315-С457	1
		1г	Дистанционный показатель положения	ДУП-М	1

		1д	Магнитный пускатель		1
		1е	Исполнительный механизм	МЭО 10/25	1
		1ж	Клапан регулирующий	ДХ - 250	1
		1пу	Задатчик	ЗД-50	1
		1ку	Переключатель универсальный	УП 53- 15-А70	1
2	Температура перегретого пара после пароперегревателя	2а	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-21	1
		2б	Потенциометр автоматический	КСПЗ- П-1001	1
3	Температура насыщенного пара, перегретого пара, природного газа и воздуха	3а 3г	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-21	2

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
		3б 3в	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-41	2
		3д	Переключатель	АМТ-6	1
		3е	Милливольтметр	Ш 4500	1
4	Температура дымовых газов перед дымососом	4а	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-41	1
		4б	Милливольтметр регулирующий	Ш 4501	1
5	Температура насыщенного пара перед перегревателем, перегретого пара после пароперегревателя II ступени, природного газа, возду-	5б 5г	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-21	2
		5а,5в 5д	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК- 0515 710-41	3

	ха и дымовых газов	5е	Потенциометр автоматический	КСПЧ - 41-463-50-030	1
		ТС1-ТС4	Табло световое	ТС6/2	4
6	Температура стенок труб пароперегревателя	6а-6к	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХКП-ХVIII	10
		6л	Потенциометр автоматический многоточечный	КСП4-41-513-50-101	1
		ТС5	Табло световое	ТС6/2	1
7	Отсечка газа	7е	Клапан отсечной	ДХО-80	1
		7д	Автоматическое закрытие клапана	АЗК-063	1
		7ж	Клапан электропневматический	ЭПК-1/4	1
8	Давление перегретого пара после пароперегревателя II ступени	7а	Манометр	МЭД-22365	1
		7б	Манометр показывающий	МОШ1-160-25	1

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
		7в	Прибор вторичный	КСДЗ-1001	1
9	Давление насыщенного пара перед пароперегревателем	8а	Манометр показывающий	МОШ1-160-25	1
10	Давление природного газа перед ПП	9а	Диафрагма камерная	ДК-16-80	1
		9б	Дифманометр мембранный	ДМ-3564	1
		9в	Напоромер мембранный	НМП-52	1
		9г	Прибор вторичный	КСДЗ-1001	1
11	Давление воздуха перед горелкой	10а	Датчик реле-напора	ДН-100-11	1
		10б	Напоромер мембранный	НМП-52	1

		ТС7	Табло световое	ТС6/2	1
12	Давление газа розжига перед горелкой	11а	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	1
		11б	Напоромер мембранный	НМП-52	1
		11в	Прибор вторичный	КВД1-501	1
13	Наличие кислорода в дымовых газах	12а	Датчик газоанализатора		1
		12б	Приемник		1
		12в	Мост автоматический	КСМ2-024	1
14	Регулирование разряжения в топке	13а	Дифманометр колокольный	ДКО-3702	1
		13в	Прибор вторичный	КСДЗ-1201	1
		13г	Прибор электронный регулирующий	РПИБ-Т	1
		13пу	Задатчик	ЗД-50	1
		13д	Переключатель универсальный	УП-5315-С457	1

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
		13е	Указатель положения дистанционный	ДУП-4	1
		13и	Аппарат направляющий дымососа		1
		13ку	Переключатель универсальный	УП-5313-А70	1
15	Разряжение в топке	13б	Тягонапоромер мембранный	ТНМП-52	1
16	Разряжение в опускном газоходе после водяного экономайзера	14а	Дифманометр колокольный	ДКО-3702	1
		14б	Прибор вторичный	КВД1-501	1

17	Разряжение в газоходу перед газоподогревателем	15а	Дифманометр колокольный	ДКО-3702	1
		15б	Прибор вторичный	КВД1-501	1
18	Разряжение в газоходу после газоподогревателя	16а	Дифманометр колокольный	ДКО-3702	1
		16б	Прибор вторичный	КВД1-501	1
19	Разряжение в воздухоподогревателе	17а	Дифманометр колокольный	ДКО-3702	1
		17б	Прибор вторичный	КВД1-501	1
20	Разряжение газов перед дымососом	18а	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	1
		18б	Прибор вторичный	КВД1-501	1
21	Расход пара после пароперегревателя	19а	Сосуд конденсационный	СКМ-40	1
		19б	Диафрагма камерная	ДК-25-200	1
		19в	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	1

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
		19г	Прибор вторичный	КСДЗ-1001	1
22	Регулирование соотношения газ-воздух	20а	Диафрагма камерная	ДК-25-200	1
		20б 20в	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	2
		20г 20д	Прибор вторичный	КСДЗ-1001	2
		20е	Прибор электронный регулирующий	РПИВ-Т	1
		20ку	Задатчик	ЗД-50	1
		20ж	Переключатель универсальный	УП-5315-А70	1

		20з	Указатель положения дистанционный	ДУП-М	1
		20пу	Переключатель универсальный	УП-5315-С457	1
		20и	Пускатель магнитный		1
		20к	Механизм исполнительный	МЗО-10/25	1
		20л	Клапан регулирующий	ДП-80	1
		ТС10 ТС11	Табло световое	ТС6/2	2
23	Контроль наличия факала	21а	Датчик ионизационный		1
		21б	Датчик пламени		1
		21в 21г	Блок управления	W-Г-М100	2
		21д	Трансформатор		1
		21ку	Устройство ввода параметров		1
		21е	Вентиль электромагнитный		1
		ТС12 ТС13	Табло световое	ТС6/2	2

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
24	Расход и температура воды после экономайзера	22а	Диафрагма камерная	ДК-25-200	1
		22б	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	1
		22в	Прибор вторичный	КСДЗ-1001	1
		23а	Термометр термоэлектрический хромель-копелевый	ТХК-0515 710-41	1
		23б	Милливольтметр	Ш4500	1
		24а	Дифманометр мембранный	ДМ-23-573	1
		24б	Прибор вторичный	КСДЗ-	1

				1001	
		ТС14-16	Табло световое	ТС6/2	1
25	Общие элементы схемы автоматизации	25а	Кнопка	КЕ-511	1
		25б	Звонок бытовой		1
		ТС17-20	Табло световое	ТС6/2	3
26	Общие элементы схемы сигнализации	26а 26б	Кнопка	КЕ-511	1
		ТС21-24	Табло световое	ТС6/2	4

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.01.2018.542.01 ПЗ					14