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

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПРОВЕРЕННА
Рецензент

_____
«_____» _____2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент
_____К.В. Осинцев
«___»_____2020 г.

Реконструкция высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 13.03.01.2020 442.18.ПЗ ВКР

Консультант по разделу
«Безопасность жизнедеятельности»
к.т.н., доцент
_____ _____И.П. Платинская
«____» _____2020 г.

Консультант по разделу
«Экономика и управление»
старший преподаватель
_____Р.А. Алабугина
«_____» _____2020 г.

Руководитель работы,
старший преподаватель
_____А.Г. Реш
«_____»_____2020 г.

Автор работы
студент группы ПЗ-579
_____С.В. Федотов

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____Р.А. Алабугина
«___» _____2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Федотов С.В. Реконструкция ККЦ ПАО «ЧМК» за счет установки высокоэффективного газоочистного оборудования конвертера № 1. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ЗФ,2020, 83 с., 10 ил., библиогр. список – 52 наим., 5 листов чертежей ф. А1, 2 демонстрационный лист ф. А1

В выпускной квалификационной работы (ВКР) бакалавра по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» предложен вариант реконструкции Кислородно-конвертерного цеха ПАО «ЧМК» путем установки высокоэффективного газоочистного оборудования конвертера №1.

Целью ВКР является Утилизация отходящих конвертерных газов с целью их более эффективного охлаждения и очищения.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения и библиографического списка.

ВКР включает тепловой расчет котла-утилизатора ОКГ-160У-2, расчет системы очистки отходящих газов. Рассмотрены система КИП и автоматики, вопросы экологии. В экономической части анализируется окупаемость проведенной реконструкции. В разделе безопасность и жизнедеятельность обозначены мероприятия, необходимые для безопасной эксплуатации котла-утилизатора ОКГ-160У-2 и системы очистки отходящих газов.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD на 7 листах формата А1.

					13.03.01.2020.442.18			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработала		Федотов С.В.			Реконструкция высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1	Литера	Лист	Листов
Проверил		Реш А.Г.				В К Р	3	83
						ЮУрГУ Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»		
Н.контр.		Алабугина Р.А.						
Зав.каф.		Осинцев К.В.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …….. 5
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ …… 10
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ …….... 11
3 РЕКОНСТРУКЦИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНВЕРТЕРА №1 ……. 13
3.1 Краткая характеристика газоотводящего тракта конвертера ……. 13
3.2 Техническое описание котла-охладителя ……. 14
3.3 Газоочистка…… 19
3.4 Тепловой расчет котла…… 30
3.4.1 Средние характеристики продуктов сгорания…… 30
3.4.2 Теплосодержание продуктов сгорания…… 31
3.4.3 Конструктивные характеристики…… 31
3.4.4 Тепловой баланс котла…….. 34
3.4.5 Расчет топочной камеры…… 35
3.4.6 Расчет подъемного газохода…….. 36
3.4.7 Расчет переходного газохода…… 37
3.4.8 Расчет конвективных ширм…… 38
4 РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ …….. 41
4.1 Расчет параметров конвенторгоно газа…… 41
4.2 Расчет скруббера …… 47
4.3 Расчет конструктивных параметров трубы Вентури …… 51
4.4 Определение конструктивных параметров каплеуловителя…….. 52
5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ…… 54
6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ…… 59
7 СИСТЕМА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ …… 64
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ …… 66
9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ…….. 73
9.1 Технико-экономический расчет…… 73
9.1.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию…… 73
9.1.2 Расчет текущих затрат на обслуживание…… 74
9.1.3 Расчет срока окупаемости проекта…… 76
9.2 SWOT-анализ вариантов реализации проектов…… 77
9.3 Дерево целей проекта реконструкции высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора № 1…… 78
9.4 График Ганта реализации проекта…… 79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ …….. 80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…….. 81

ВВЕДЕНИЕ

За десять дней до начала Великой Отечественной войны Советом Народных Комиссаров СССР было принято Постановление о строительстве Бакальского металлургического завода (ныне Челябинского металлургического комбината) на Першинской площадке Челябинска.

С осени 1941 года на строительную площадку начали прибывать эшелоны с металлургическим оборудованием с Алчевского металлургического завода, подмосковной «Электростали», Запорожья, Липецка, Сталинградского «Красного Октября». Строительство завода началось в марте 1942 года. 1 мая 1942 года был уложен первый кубометр бетона в фундамент будущего электросталеплавильного цеха, а 19 апреля 1943 года первый металл хлынул в разливочный ковш, возвещая о рождении нового завода.

К концу 1944 года на заводе уже работали две коксовые батареи и две доменные печи, выдавали продукцию пять 30-тонных электропечей и два прокатных стана, вступила в строй теплоэлектроцентраль. К весне 1945 года завод выдал уже сотни тысяч тонн кокса, чугуна, стали и проката. Челябинский металлургический завод превратился в самого крупного в стране поставщика высококачественной электростали для нужд оборонной промышленности, подшипниковых заводов и для ряда других предприятий.

В послевоенный период развитие Челябинского металлургического завода продолжалось в рамках комплексного проектного задания, ориентированного на производство сортового высококачественного металла, горячекатаного и холоднокатаного нержавеющего листа, поковок жаропрочной стали и специальных сталей. Многое в отечественной металлургии впервые было освоено на Челябинском металлургическом комбинате:

- производство свинецсодержащих сталей повышенной обрабатываемости;
- технология выплавки нестареющих сталей в большегрузных мартеновских печах;
- производство трансформаторной стали в конвертерах по сульфидному варианту с высокотемпературным нагревом сляб;
- технология производства сталей и сплавов в плазменно-дуговых печах;
- прокатка металла из трудно деформируемых, малопластичных, тугоплавких марок стали на прокатных станах.

Сегодня ПАО «ЧМК» входит в состав Публичного Акционерного Общества «Мечел» или в сокращенном варианте – ПАО «Мечел» (металлургический сегмент ООО «УК Мечел-Сталь»). Вертикально-интегрированный холдинг «Мечел» – одна из ведущих российских компаний в металлургической и горнодобывающей отраслях. Компания объединяет производителей стали, проката, метизной продукции, угля, железорудного концентрата и никеля. Предприятия, контролируемые ООО «УК Мечел-Сталь», расположены в шести регионах России – Челябинской, Кемеровской, Оренбургской, Иркутской областях, Республиках Башкортостан и Карелия, а также в странах Восточной Европы – Румынии, Хорватии и Литве.

Металлургическое направление Группы представляют Челябинский металлургический комбинат – крупнейший в России производитель специальных сталей и сплавов, Белорецкий металлургический комбинат, завод «Уральская кузница», Вяртсильский метизный завод, комбинат специальных сталей «КОСТ», трубный завод «Мечел Железара», металлургическое предприятие «Индустрия Сырмей» и метизный завод «Нямуно». Сырьевое направление представлено угольной компанией «Южный Кузбасс», которая является одной из крупнейших российских производителей коксующихся и энергетических углей, Коршуновским ГОКом – производителем железорудного концентрата и комбинатом «Южуралникель».

Челябинский металлургический комбинат – предприятие с полным металлургическим циклом, занимающее шестое место в России по производству металлургической продукции и являющееся крупнейшим в стране производителем специальных сталей и сплавов. Номенклатура выпускаемой им продукции разнообразна:

- литые прутки;
- прокат сортовой горячекатаный;
- лист из коррозионностойкой стали;
- лист горячекатаный;
- лист из стали повышенной прочности;
- арматурная сталь;
- угловая сталь;
- катанка;
- катанка для изготовления сварочной проволоки;
- трубная заготовка;
- слябы;
- товарная сутунка;
- полоса катаная.

Основными рынками сбыта продукции ПАО «ЧМК» является Российская Федерация, СНГ, Дальнее Зарубежье.

В таблице 1.1 указаны доли отгрузки продукции ПАО «ЧМК» в 2019 г. На долю внутреннего рынка приходится более 50 % всей отгрузки.

Таблица 1.1 – География продаж ПАО «ЧМК» в 2019 г.

Направление	Процент от общей отгрузки, %
Экспорт в страны дальнего зарубежья	41,5
Экспорт в страны – участники СНГ	5,2
Отгрузка на внутренний рынок	53,3

Распределение объемов поставок на внутренний рынок металлопродукции по регионам РФ представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Объемы поставок ПАО «ЧМК» на внутренний рынок РФ в 2019г.

Регион	Объем отгрузки, %
Поволжский	35–40
Центральный	18–20
Уральский	18–20
Северо-Западный	5–10
Северо-Кавказский	5–10
Западно-Сибирский	1–5
Волго-Вятский	1–5
Восточно-Сибирский	Менее 1
Центрально-Черноземный	Менее 1
Дальневосточный	Менее 1

Основная доля отгрузки приходится на Поволжский, Центральный, Уральский регионы РФ. Рынок ближнего зарубежья определяется основными потребителями стран: Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана, Туркменистана.

На внутреннем рынке основными отраслевыми потребителями металлопроката ПАО «ЧМК» являются предприятия металлургической отрасли, а именно трубные и метизные заводы на которые в 2019 году пришлось более трети продаж. Основными потребителями ПАО «ЧМК» являются:

– ООО «ТД Мечел»;

– ОАО Белорецкий металлургический комбинат (ОАО «БМК»).

Поставщики, на долю которых приходится более 10 % всех поставок товарно-материальных ценностей, с указанием их доли в общем объеме поставок представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные поставщики ПАО «ЧМК»

Наименование поставщика	Поставляемый материал	Доля от общей поставки, %
ООО «ТД Мечел», Москва	угольный концентрат	100
ООО «ТД Мечел», Москва	железорудное сырье	99,71
ООО «ТД Мечел», Москва	металлолом	99,96
ООО «ТД Мечел», Москва	ферросплавы	99,67
ООО «ТД Мечел», Москва	доломит, плавиковый шпат	41,25
ООО «ТД Мечел», Москва	электроды	100
ООО «ТД Мечел», Москва	ГСМ	86,6

В составе Челябинского металлургического комбината имеются все переделы полного металлургического цикла – аглодоменный, сталеплавильный, спецэлекторметаллургии, прокатный, и мощный комплекс инженерных служб. За 60 лет челябинскими металлургами произведено более 150 миллионов тонн кокса, 160 миллионов тонн чугуна, 220 миллионов тонн стали и 200 миллионов тонн товарного проката. Разработана и освоена технология производства свыше тысячи марок сталей и сплавов и более четырехсот профилеразмеров проката.

В сложные годы реформ челябинские металлурги сумели сохранить в работоспособном состоянии все основные агрегаты, технологические навыки и высокую квалификацию персонала, что позволяет получать металл широкого марочно-размерного сортамента.

На протяжении последних лет комбинат планомерно наращивает объемы производства, активно претворяя в жизнь политику технического перевооружения.

История комбината неразрывно связана с развитием и становлением оборонного комплекса страны. Космос и авиация, атомная энергетика, тяжелое, химическое, энергетическое, автомобильное и сельскохозяйственное машиностроение, подшипниковые и трубопрокатные заводы, строительство, медицинское оборудование и инструмент – вот далеко не полный перечень применения продукции челябинских металлургов.

В апреле 2010 года комбинат получил международный сертификат TÜV Rheinland (Германия) в соответствии с моделью ГОСТ Р ИСО 9001-2008.

Кислородно-конвертерный цех – крупнейший производитель стали на комбинате. Производительность ККЦ составляет 3,5 млн. тонн стали в год, в настоящее время на его долю приходится выплавка 75 % всей стали ЧМК. В состав основных технологических агрегатов цеха входят три конвертера, каждый объемом садки 160 тонн, две установки «ковш-печь» и две машины непрерывного литья заготовок – МНЛЗ № 3 и № 4.

Кислородно-конвертерный цех является основным потребителем чугуна, поэтому от его работы зависит положение дел в другом крупном цехе – доменном. Как следствие необходимости увеличения объемов производства стали, в апреле 2009 года после капитального ремонта была запущена доменная печь № 4, что позволило увеличить объем производства конечной металлопродукции ЧМК. В последнее время конвертерный цех заметно улучшил свои количественные и качественные показатели. В мае этого года был достигнут максимальный объемы производства стали за всю историю ККЦ – 330 тысяч тонн.

С момента ввода в эксплуатацию, характерной особенностью кислородно-конвертерного цеха стала внепечная обработка металла: продувка аргоном в ковше, обработка жидким синтетическим шлаком, использование порционного вакууматора. Металл конвертерной плавки имеет низкое содержание серы, азота, повышенную пластичность, высокие механические свойства. Это позволяет производить низколегированные, электротехнические стали, стали для трубной заготовки и высокоуглеродистые чистые стали.

Несмотря на свой возраст кислородно-конвертерный цех представляет собой современное производство. В соответствии с программой перспективного развития комбината в ККЦ в мае 2004 года осуществлен проект по вводу сортовой радиальной 6-ручьевой машины непрерывного литья заготовок сортовой стали сечением 100х100 мм, производительностью 1 млн. тонн заготовки в год. Превысив проектную производительность, на МНЛЗ была достигнута максимальная скорость разливки до 6 метров в минуту.

В декабре 2006 года в цехе вступила в строй вторая МНЛЗ № 4 производительностью 1 млн. тонн заготовки в год. Замена высокозатратной технологии производства сортового проката путем разливки в слиток и последующей обработки на блюминге на технологию непрерывного литья сегодня позволяет повышать экономические показатели комбината за счет снижения расходного коэффициента, а также значительно повышает качество конечной продукции.

В планах перспективного развития кислородно-конвертерного цеха ЧМК – строительство новой установки «ковш-печь», вакууматора и МНЛЗ № 5 – первой очереди реализации проекта рельсобалочного стана комбината. Именно конвертерная сталь предприятия станет сырьем для производства новой импортозамещающей и передовой продукции ЧМК – рельсов длиной до 100 метров, необходимых для строительства высокоскоростных магистральных путей на всей территории России.

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Энергия – это движущая сила любого производства. Тот факт, что в распоряжении человека оказалось большое количество относительно дешевой энергии, в значительной степени способствовало индустриализации и развитию общества. Топливно-энергетический комплекс является важнейшей структурной составляющей экономики России, одним из ключевых факторов обеспечения жизнедеятельности производительных сил и населения страны. Однако влияние топливно-энергетического комплекса на окружающую среду носит отрицательный характер. Уже сейчас очевидно, что экологически «чистых» энергоносителей быть не может. Использование каждого из них неизбежно сопровождается тепловым загрязнением окружающей среды, выбросами токсичных веществ и CO2, искажением естественных ЭМ-полей и т.д.

В настоящее время мы стоим перед дилеммой: с одной стороны, без энергии нельзя обеспечить благополучия людей, а с другой – сохранение существующих темпов ее производства и потребления может привести к разрушению окружающей среды, и как следствие – к снижению жизненного уровня и даже нанести серьезный ущерб человеческой популяции, влияя на генетический код человека.

Тема выбранная мной «Реконструкция газоочистного оборудования конвертера № 1» выбрана неслучайно. На многих промышленных предприятиях эксплуатируется пыле-газоочистное оборудование, установленное более 20–40 лет тому назад. Такие установки на сегодняшний день морально и физически устарели и экономически неэффективны в их использовании. Дальнейшее его применение ставит экологическую безопасность под угрозу.

Переход на экологически чистые технологии и оборудование является одним из приоритетных направлений в корпоративной программе модернизации предприятий группы «Мечел». Модернизация газоочистных сооружений позволит максимально сократить выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Работы по модернизации газоочистных сооружений дают дополнительный импульс к развитию предприятия, увеличению объёмов выпускаемой продукции и созданию новых рабочих мест.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Выпускная квалификационная работа сделана согласно «Энергетической стратегии России до 2030 года» от 13 ноября 2009года, а также «Стратегии социально-экономического развития Челябинской области до 2020 года» от 2 марта 2014 года.

Энергетическая стратегия России формирует новые ориентиры развития энергетического сектора в рамках перехода российской экономики на инновационный путь развития, предусмотренный концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г.

Главной целью энергетической программы Челябинской области является обеспечение промышленного и аграрного комплекса энергоносителями по ценам, приемлемым с точки зрения конкурентоспособности местной продукции на федеральном рынке, создание условий для динамического развития региона и снижение нагрузки на природную среду. Для достижения этой цели необходимы активная политика энергосбережения, реконструкция действующих объектов теплоснабжения, использование новых перспективных энергетических технологий, максимальное вовлечение в топливный цикл местных ресурсов и дешевых ресурсов соседних регионов.

Немаловажным документом является «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Основными задачами государственной политики в документе призваны:

– внедрение экологически эффективных инновационных технологий, предотвращение и снижение текущего негативного воздействия на окружающую среду;

– восстановление нарушенных естественных экологических систем;

– обеспечение экологически безопасного обращения с отходами.

При выполнении работы по реконструкции высокоэффективного газоочистного оборудования конвертера №1 была использована временная инструкция по эксплуатации газоочистного оборудования конвертера № 1.

Тепловой расчет котельного агрегата выполнен согласно «Тепловой расчет котельных агрегатов» Н.В. Кузнецов.

Основным документом при написании раздела «Энергосбережение» является «Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». В разделе «экологии» применена следующая литература: «Очистка дымовых газов. Ч. 1: конспект лекций» Грибанов; «Расчёт дымовой трубы. Методическое пособие» А.И. Грибанов.

При написании раздела «экономики и управление» была использована следующая учебно-методическая литература Экономико управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие / А. А. Алабугин, Р.А. Алабугина.

При написании раздела «Безопасность жизнедеятельности» использовались следующие основные нормативные документы: ГОСТ 12.0.003-80. Опасные и вредные производственные факторы; ГОСТ Р 12.4.026-2001 ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний; ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ И-1.01.86. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит; ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ И-1.08.87. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление; ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования; ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ И-01.04.83. Взрывобезопасность. Общие требования; НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности и другие.

3 РЕКОНСТРУКЦИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНВЕРТЕРА № 1

Система очистки отходящих газов предназначена для отвода конвертерных газов с полным дожиганием оксида углерода в ОКГ, доохлаждения их после котла, очисткой до необходимых концентраций и выброса в атмосферу.

В систему очистки входит:

- скруббер-охладитель с гидрозатвором;
- орошаемый газоход от скруббера до труб Вентури;
- трубы Вентури (спаренные в одном корпусе);
- два каплеуловителя;
- два бункера;
- гидрозатвор, общий для труб Вентури и каплеуловителей;
- нагнетатель 7500-11-3;
- газоходы от каплеуловителя до нагнетателя и от нагнетателя до дымовой трубы;
- объемный влагоотделитель;
- дымовая труба;
- система отвода конденсата;
- система КИПиА, сигнализации и блокировок.

3.1 Краткая характеристика газоотводящего тракта конвертера

Кислородно-конвертерный цех ПАО «ЧМК» имеет в составе три конвертера садкой 160 т.

Назначение газоотводящего тракта

Газоотводящий тракт предназначен для организованного отвода газов, образующихся при работе конвертера, их охлаждения и очистки. Газоотводящий тракт, включает:

- газоходы котла-охладителя конвертерных газов;
- газоход охлажденного «грязного» газа;
- газоочистное оборудование;
- газоход «чистого» газа;
- нагнетатель (дымосос);
- свечу сброса газа в атмосферу.

Котел-охладитель предназначен для дожигания окиси углерода (CO), составляющего до 90 % выделяющихся из конвертера газов в период плавки, и охлаждения горячих (до 1700 °С) газов до температур обеспечивающих безопасную работу газоочистного оборудованя.

Газоочистное оборудование предназначено для очистки от пыли запыленных (до 200 г/м^3) газов, уносимых из конвертера в период плавки, до 100 мг/м^3.

Нагнетатель предназначен для транспортировки газов по газоотводящему тракту.

Свеча предназначена для сброса очищенного газа на высоту, обеспечивающую рассеяние остаточного количества пыли в атмосфере до предельно допустимой концентрации.

Газоотводящий тракт конвертера работает в следующих режимах:

– режим периода кислородной продувки, когда в газоотводящий тракт поступают газы образующиеся при окислении углерода в конвертере в период продувки его кислородом, состоящие из диоксида углерода (CO_2) и монооксида углерода (CO), и содержащие до 200г/м^3 пыли. Газоотводящие тракты конвертеров ПАО «ЧМК» работают с полным дожиганием CO в котле-охладителе за счет воздуха, подсасываемого в зазор между горловиной конвертера и котлом, при избытке воздуха $\alpha = 1,2$;

– межпродувочный период, когда продувка конвертера кислородом не производится, а давление в котле-охладителе поддерживается за счет сжигания в подтопочной горелке котла газообразного топлива (природного газа) и по газоотводящему тракту транспортируются чистые (не запыленные) газы.

Основные параметры работы газоотводящего тракта конвертера № 1 в период продувки представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные параметры работы газоотводящего тракта конвертера № 1 в период продувки

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Садка конвертера	т	160
Интенсивность кислородного дутья номинальная	нм^3/мин	500
Режим отвода конвертерных газов		С полным дожиганием CO
Расход конвертерных газов максимальный	тыс.нм^3/ч	65
Температура газов на входе в тракт (котел-охладитель)	^{o}C	1700
Запыленность газов на входе в тракт	г/м^3	до 200
Состав конвертерных газов: – CO – CO_2	%	 90 10
Температура газов на выходе из тракта (перед дымососом)	^{o}C	55
Запыленность газов на выходе из тракта	мг/м^3	100

3.2 Техническое описание котла-охладителя

Конструкция и основные характеристики.

Котел-охладитель конвертерных газов ОКГ 160У-2 (далее котел) представляет собой радиационно-конвективный, П-образной компоновки, водотрубный, барабанный котел, выполненный из газоплотных мембранных панелей, с комбинированной циркуляцией котловой воды:

– экраны подъемного газохода работают с естественной циркуляцией;

– экраны кессона, переходного газохода, опускного газохода, ширмы, защитный экран нижних коллекторов кессона, защитный экран подъемного газохода работают с принудительной циркуляцией.

Крышка, уплотнительные экраны (кессончики) окон сыпучих материалов, окна кислородной фурмы, узел уплотнения окна измерительной фурмы, защитные экраны стыка кессона с подъемным газоходом, защитный экран узла уплотнения опускного газохода котла сухим бункером в контуры циркуляции котла не включены и охлаждаются проточной технической водой.

Технические и конструктивные характеристики котла представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические и конструктивные характеристики котла

Наименование характеристик	Единицы измерения	Величина	
Температура газов на входе в котел	°С	до 1700	
Температура газов на выходе из котла	°С	до 585	
Давление пара в барабане максимальное рабочее	МПа	4,0	
Паропроизводительность (максимальная)	т/ч	300	
Температура выработанного пара	°С	250	
Расход природного газа на подтопочную горелку в межпродувочный период	$м^3/ч$	3700	
Давление природного газа на подтопочную горелку	кПа	30	
Поверхность нагрева: - экранов кессона - экранов подъемного газохода - экранов переходного газохода - экранов опускного газохода с ширмами	$м^2$	 142 398,8 40,3 1631,8	
Сечение для прохода газов: - кессона - подъемного газохода - переходного газохода - опускного газохода	$м^2$	 17,85 17,85 17,425 16,414	
Скорость газов: - кессона - подъемного газохода - переходного газохода - опускного газохода	м/сек	 28,88 28,88 20,52 15,81	
Скорость воды в экранных трубах: - кессона, защитных экранов кессона и газохода - подъемного газохода - переходного газохода - опускного газохода - ширм - крышки	м/сек	в период продувки 0,8-0,9 0,7-0,8 0,6-0,7 0,6 0,6 1,9	в межпрод. период 1,2-1,5 0,2 0,9 0,8 0,8 1,9

Конструктивно котел состоит из:

– экранированного газохода;
– барабана;
– контуров охлаждения тепловоспринимающих поверхностей;
– системы подтопки;
– системы подпитки котла водой;
– системы сепарации пара;
– системы отвода пара от котла;
– системы подпитки;
– системы поддержания водно-химического режима (непрерывной продувки);
– системы подтопки котла в межпродувочный период;
– системы контроля и управления.

Газоход состоит из откатного кессона и стационарного газохода.

Кессон – нижняя часть газохода, расположенная над горловиной конвертера. Конструктивно кессон представляет собой 4-хгранный газоплотный газоход с размерами поперечного сечения 4200×4250 мм, продольная ось нижней вертикальной части которого соосна с вертикальной осью конвертера, а продольная ось верхней наклонной части составляет 36°52' к вертикальной оси.

Стены кессона выполнены из мембранных экранов. Каждый стеновой экран кессона собран из 84 труб Ø 38×5мм с шагом 50 мм. Для обеспечения равномерного распределения воды между экранными трубами в их входных участках установлены съемные дроссельные шайбы диаметром 8мм, защищенные решетчатыми фильтрами. Входные коллекторы экранов изготовлены из трубы Ø 219×16 мм, выходные – Ø 273×20 мм. Входные коллекторы оборудованы горловинами, закрываемыми съемными лючками, выходные коллекторы – штуцерами с приварными лючками.

На наклонном участке левого экрана разводкой труб выполнены окна для прохода кислородной и измерительной фурм.

На нижних участках фронтового и заднего экранов разводкой труб выполнены окна для ввода в конвертер сыпучих материалов.

Левый экран кессона оборудован 3-ма поперечными балками жесткости, правый – двумя.

Кессон установлен на откатной тележке через опорный пояс, выполненный из труб Ø 325 мм. Опорный пояс кессона с помощью вертикальных ребер прикреплен к наклонным участкам фронтового и заднего экранов. Горизонтальная ось опорного пояса соответствует отм. 19.450 мм. С целью уменьшения коэффициента трения под скользящие опоры пояса при монтаже подсыпается графит. Для обеспечения близких значений тепловых расширений экранов кессона и опорного пояса последний включен в контур циркуляции котла.

Нижние коллекторы экранов кессона защищены от излучения из конвертера и от механического воздействия со стороны настылей на горловине конвертера

защитным экраном кессона. Экран представляет собой плоскую одноходовую газоплотную панель выполненную из 12 труб Ø 38×5 мм и 1-й трубы Ø 57×5мм. Экран крепится снизу к нижним коллекторам стеновых экранов кессона. Входной и выходной коллекторы экрана выполнены из трубы Ø 159 мм.

Верхняя часть кессона примыкает к нижней части подъёмного газохода. Зазор между кессоном и подъемным газоходом уплотняется и по периметру снаружи перекрывается 2-мя защитными экранами стыка кессона с подъемным газоходом: П-образным и плоским.

П-образный экран крепиться к нижним коллекторам подъемного газохода (левому, заднему и правому), а плоский – к верхнему коллектору фронтового экрана кессона.

Экраны выполнены из 3-х параллельно расположенных с шагом 50 мм труб Ø 38×5 мм, входного и выходного коллекторов.

Стационарный газоход П-образной компоновки, состоит из подъёмного и опускного газоходов и соединяющего их переходного газохода.

Стационарный газоход установлен на металлоконструкциях цеха с помощью трубчатого опорного пояса прикрепленного вертикальными косынками к каждому экрану подъемного и опускного газоходов. Горизонтальная ось опорного пояса соответствует отметке 36.550 мм. Для обеспечения близких значений тепловых расширений экранов газохода и опорного пояса последний включен в контур циркуляции котла. Под скользящие опоры опорного пояса для уменьшения коэффициента трения при монтаже подсыпается графит.

Подъёмный газоход конструктивно представляет собой 4-х гранный газоплотный газоход с размерами поперечного сечения 4200×4250 мм, продольная ось нижней наклонной части которого соосна с осью верхней наклонной части кессона, а продольная ось верхней части вертикальна.

Экраны подъемного газохода выполнены из труб Ø 57×5 мм, установленными с шагом 75 мм цельносварными панелями. Каждый экран собран из 56 труб. Входные и выходные коллекторы выполнены из труб Ø 273×20 мм. Ось входного коллектора правого экрана соответствует отметке 20.500мм, ось входного коллектора правого экрана – отметке 23.955 мм, ось выходного коллектора заднего экрана – отметке 37.800 мм, ось выходных боковых и фронтового экранов отметке 45.250 мм. По высоте газохода расположены пояса жесткости из двутавра 20. Во фронтовом экране разводкой труб выполнено окно для установки подтопочной горелки. Горизонтальная ось окна соответствует отметке 24.450 мм.

Проем над подъемным газоходом, образованный боковыми и фронтовым экранами подъемного газохода и задним экраном опускного газохода, перекрывается съемным плоским газоплотным потолочным экраном (крышкой). Крышка выполнена из 12 труб Ø 38×5 мм, размещенных с шагом 60 мм в виде 8-мизаходного змеевика. Входной и выходной коллекторы крышки выполнены из трубы 159 мм.

Уплотнение зазора между проемом и крышкой обеспечивается погружением «ножа» крышки (полосы приваренной по периметру крышки перпендикулярно к ее плоскости со стороны газохода) в ванну, заполненную песком. Ванна

образована по периметру проема наклонными верхними участками экранов, образующих проем, и защитным экраном подъемного газохода примыкающим к этими. Защитный экран газоплотный коробчатой формы, одноходовой, выполнен из 9 параллельных горизонтально расположенных друг над другом с шагом 50 мм труб Ø 38×5 мм. Входной и выходной коллекторы экрана установлены вертикально и примыкают друг к другу.

Опускной газоход конструктивно представляет собой вертикальный 4-хгранный газоплотный газоход с размерами поперечного сечения 4200×4250мм, стены (экраны) которого выполнены из труб Ø 38×5 мм, с шагом 60 мм. Каждый экран собран из 70 труб.

Фронтовой экран опускного газохода Г-образный. Верхний участок экрана образует нижнюю часть переходного газохода, а короткий выходной участок опускается вниз до стыка с верхней частью заднего экрана подъемного газохода.

Задний экран опускного газохода также выполнен Г-образный. Верхний горизонтальный участок экрана образует потолочную часть опускного и переходного газоходов.

Боковые экраны опускного газохода плоские прямые. В них разводкой труб выполнены окна для ремонтных лазов: на левом экране – 4, на правом – 5.

Входные коллекторы экранов выполнены из труб Ø 219×16 мм, выходные – из труб Ø 273×20 мм. Ось входных коллекторов соответствует отметке 24.250 мм, ось выходных боковых экранов – отметке 44.950 мм.

В опускном газоходе параллельно боковым экранам газохода с шагом 420мм размещены 9 вертикальных конвективных ширм, выполненных из труб Ø 38×4 мм с шагом 60 мм. Каждая ширма собрана из 58 труб. Входные коллекторы ширм выполнены из труб Ø 219×16 мм, выходные – Ø 273×20 мм. Торцевые участки входных коллекторов через окна, выполненные разводкой труб фронтового и заднего экранов на отметке 25.000 мм, выходят наружу за пределы опускного газохода. Верхние участки ширм через продольные щели, выполненные разводкой труб в горизонтальном участке заднего экрана опускного газохода, выходят наружу за пределы опускного газохода. Ширмы подвешены к металлоконструкциям цеха тягами, прикрепленными к их верхним коллекторам.

Уплотнение зазора между нижними коллекторами опускного газохода и сухим бункером газоочистки обеспечивается с помощью «ножа» (полосы, приваренной по периметру опускного газохода), погруженного в «ванну», заполненную песком. Ванна приварена по периметру сухого бункера. Защита ножа от воздействия высоких температур осуществляется защитным экраном опускного газохода, представляющего собой 2-х ходовую газоплотную коробчатую панель, выполненную из 2-х труб Ø 38×5 мм расположенных с шагом 50 мм, приваренную по периметру к нижним коллекторам экранов опускного газохода.

Переходной газоход.

Переходной газоход образован верхними участками фронтового и заднего экранов опускного газохода и боковыми экранами переходного газохода. Каждый экран переходного газохода представляет собой плоский вертикальный экран, выполненный из 35 труб Ø 38×5 мм с шагом 60 мм.

Входные коллекторы экранов выполнены из труб Ø 219×16 мм, выходные – из труб Ø 273×20 мм. Ось входных коллекторов соответствует отметке 38.800 мм, ось выходных боковых экранов – отметке 45.250 мм.

3.3 Газоочистка

Проектные данные:

- расход кислорода до 500 нм^3/мин;
- расход конвертерных газов 60÷65 тыс. нм^3/час;
- расход газа на входе в газоочистку 185÷200 тыс. нм3/час;
- температура газа за газоочисткой 55 ÷ 60 °С;
- максимальная запыленность конвертерных газов до 160 г/нм^3;
- гранулометрический состав 80% менее 1 мкм;
- общий расход воды на газоочистку 650 м^3/час. В том числе по аппаратам: на скруббер с орошаемым газоходом 250 м3/час, на трубы Вентури 350 м^3/час, на каплеуловители (периодически в межпродувочный период) 50 м^3/час;
- конечная запыленность не более 100 мг/м^3;
- давление оборотной воды перед раздающим коллектором 0,5 МПа;
- разрежения по тракту:
- после скруббера – 1,8 кПа;
- после труб Вентури – 14,5 кПа;
- после каплеуловителя – 15,3 кПа;
- перед нагнетателем – 16,3 кПа;
- за нагнетателем – 0,5 кПа;
- общий напор нагнетателя – 16,8 кПа.

Скруббер

Скрубберы аппараты различной конструкции для промывки жидкостями газов с целью их очистки и для извлечения одного или нескольких компонентов, а также барабанные машины для промывки полезных ископаемых. Широко используются при улавливании продуктов коксования и очистке промышленных газов от пыли, для увлажнения и охлаждения газов, в различных химико-технологических процессах.

Газоочистительные аппараты основаны на промывании газа жидкостью. Газ промывается водой либо другим рабочим раствором, при этом смешении и взаимодействии происходит процесс очистки его. Такой метод смешения называют методом мокрой очистки. Таким образом, можно очистить газ от частиц любого размера. Метод мокрой очистки газов является механическим и применяется на заключительном этапе охлаждения

Скруббер является первой ступенью очистки газа. Он представляет собой цилиндрическую конструкцию. Диаметр скруббера 4,5 м, высота цилиндрической части 10,5 м.

Скруббер представлен на рисунке 3.1.

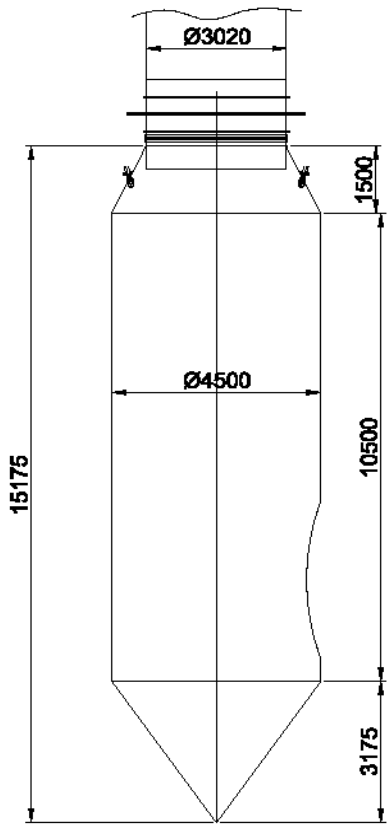


Рисунок 3.1 – Скруббер

Для осмотра и ремонта в корпусе скруббера установлено четыре люка с быстрозакрывающимися крышками.

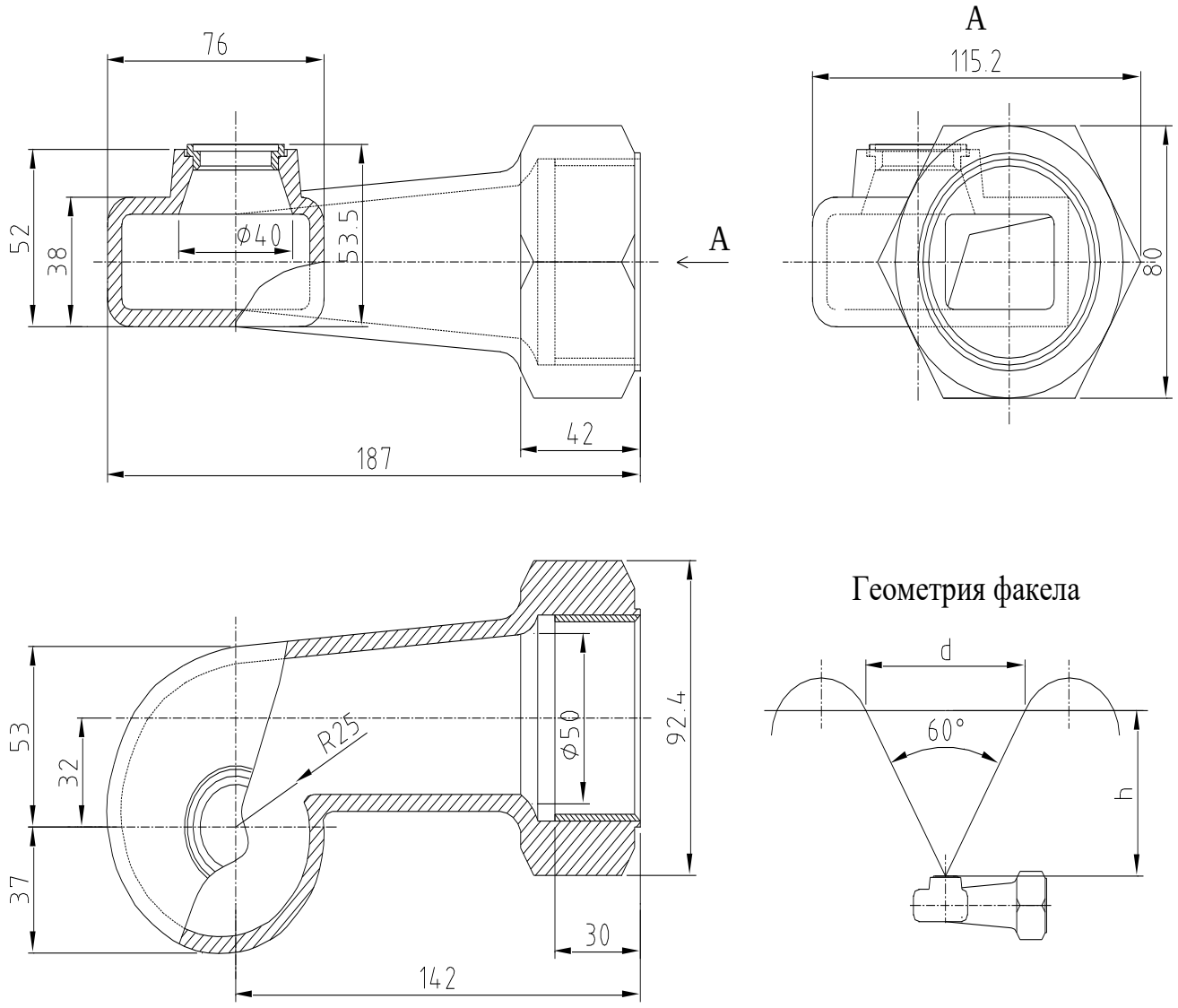
Нижняя часть бункера под скруббером выполнена горизонтально Ø 1,2 м, для уменьшения попадания крупных кусков кирпича и шлама в гидрозатвор патрубок отвода шламовой воды поднят над днищем и прикрыт сеткой. Для уменьшения выноса капель из скруббера выходной патрубок заведен внутрь скруббера.

В скруббере установлены два яруса орошения. Первый ярус орошения в верхней конусной части включает 6 эвольвентных форсунок $d_{вых}$ = 20 мм с общим расходом воды 85 м^3/ч при давлении 0,25 МПа. На втором ярусе орошения, который находится на 2,5 м ниже первого, располагаются 8 эвольвентных форсунок с выходным отверстием $d_{вых}$ = 20 мм и общим расходом воды 110 м^3/ч.

В орошаемом газоходе после скруббера и перед трубами Вентури размещаются по 2 эвольвентные форсунки с расходом воды 55 м^3/ч.

Вода через форсунки подается непрерывно и затем, спускаясь по стенкам скруббера, защищает их от перегрева и абразивного износа. Расход воды на все форсунки скруббера 250 м^3/час. Газ после котла-охладителя через газоход попадает в скруббер, смешивается с распыленной водой и охлаждается. Происходит улавливание крупных частиц пыли, и они вместе со шламовой водой через гидрозатвор по шламопроводу подаются в систему оборотного водоснабжения. В скруббере-охладителе улавливается до 85 % пыли отходящих газов.

На рисунке 3.2 изображена форсунка скруббера.



Характеристика эвольвентного сопла 2" с D25 выходного отверстия

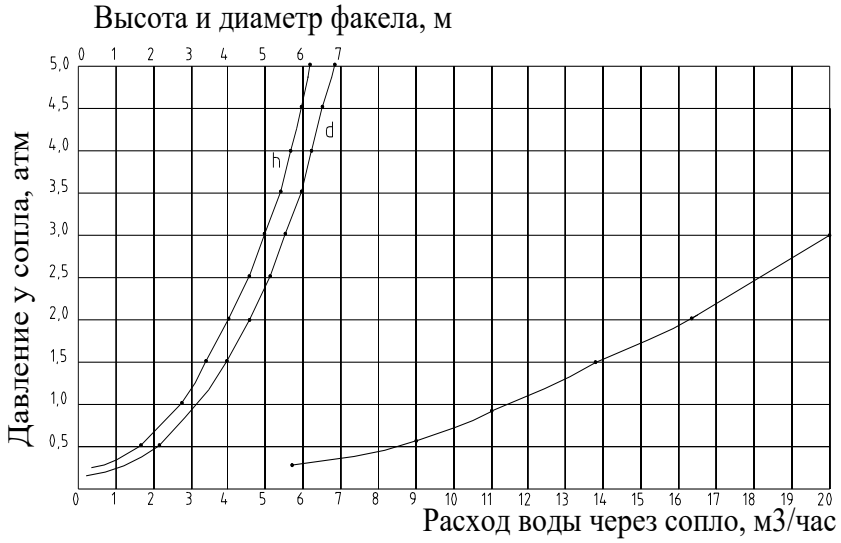


Рисунок 3.2 – Форсунка скруббера и её характеристика

Гидрозатвор скруббера

Гидрозатвор установлен под скруббером на отметке 13,000 и предназначен для отвода шламовой воды в шламопровод и исключения попадания дымовых газов в атмосферу, а так же подсасывания воздуха в скруббер.

Орошаемый газоход

Орошаемый газоход предназначен для пропуска газа из скруббера в трубы Вентури. Для осмотра и очистки установлены 2 люка.

В начале газохода установлены по 2 подвода осветленной оборотной воды с форсунками (расход воды – 55 $м^3$/час). Факелы форсунок направлены вертикально вниз – навстречу газовому потоку.

Трубы Вентури

Трубы Вентури являются второй ступенью очистки конвертерных газов. Установлены две прямоугольные (спаренные в одном корпусе) регулируемые трубы Вентури с сечением горловины при полном раскрытии 0,26×2,0 м, площадь при полном раскрытии двух труб 1,04 $м^2$, в рабочем положении – 0,55–0,65 $м^2$. Сечение конфузора и диффузора 2×2,5 м. Высота труб Вентури – 4,8 м.

Для орошения каждой трубы Вентури устанавливается 9 центробежных форсунок типа ФВК с выходным сечением 25 мм, разработанных УкрГНТЦ «Энергосталь». Гидрозатвор труб Вентури рассчитаны на разрежение не менее 16 кПа. Сечение площади бункера под трубами Вентури рассчитано на скорость не более 7 м/с. Подвод воды к форсункам производится сверху, подводящий коллектор закольцован.

Труба Вентури состоит из конфузора, горловины с регулируемым зазором и диффузора. Регулирование зазора каждой трубы осуществляется подвижной створкой, установленной на продольном валу. Положение створки каждой трубы регулируется рычажной системой с электроприводом. Оптимальное положение створок определяется при пуско-наладочных работах, а в процессе непрерывной работы может корректироваться с пульта управления конвертором через систему АРМ.

Дымовые газы поступают из скруббера через орошаемый газоход в трубы Вентури. По мере движения вниз конфузора они ускоряются. Глубокая очистка осуществляется в горловинах труб Вентури, над которыми расположены распылительные форсунки.

Расход воды на форсунки определяется из расчета около 1 л на 1 $м^3$. В результате проведенного теплового расчёта охлаждения газов в трубах Вентури при расходе воды 350 $м^3$/ч с температурой 35 °С температура газа после труб Вентури составит 55 °С (максимум), температура вытекающей воды – 53 °С (максимум). Давление воды на коллекторе форсунок около 0,3 МПа.

В горловине ускоренный поток газа дробит распылённую воду на мелкие капли. Большая часть пыли коагулирует и с потоком воды через диффузор, замедляясь, поступает в приёмный бункер и дальше через гидрозатвор в шламопровод.

На рисунке 3.3 изображен гидрозатвор скруббера.

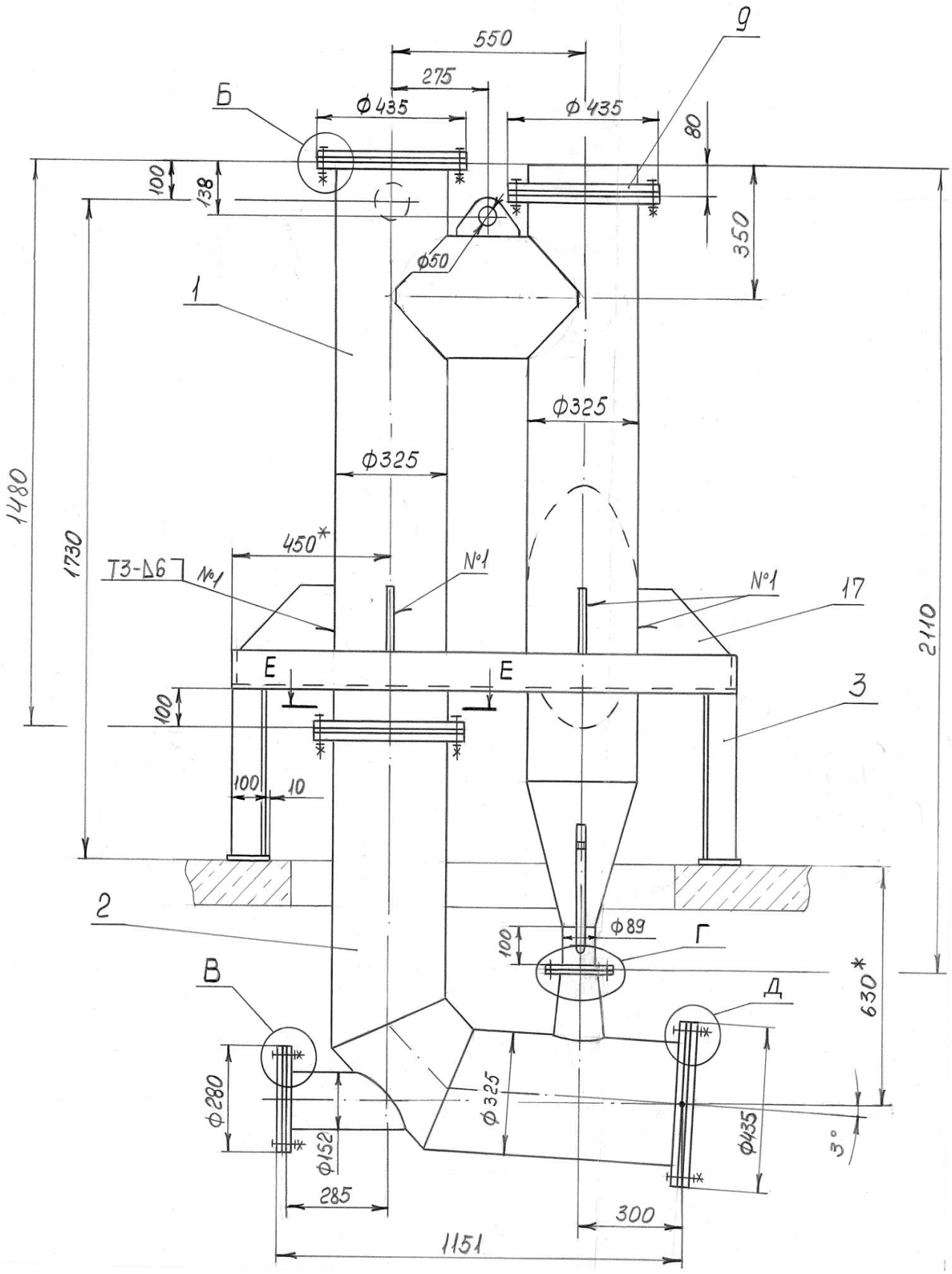


Рисунок 3.3 – Гидрозатвор скруббера

На рисунке 3.4 изображен орошаемый газоход.

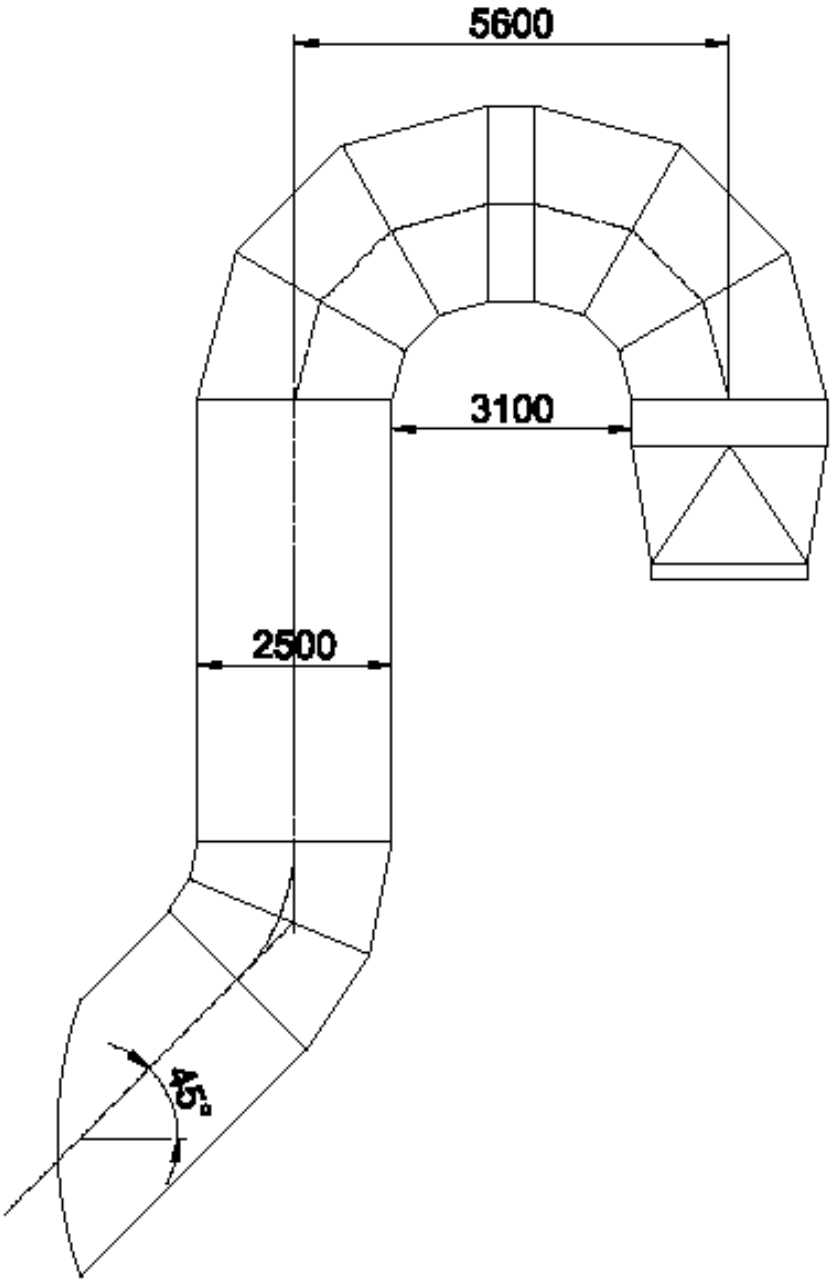


Рисунок 3.4 – Орошаемый газоход

Техническая характеристика труб Вентури, представленных на рисунке 3.5:

Расход газов, $м^3$/час	280000 – 540000
Температура газов, °С	50 – 80
Гидравлическое сопротивление, кПа	13,0 – 18,0
Испытательное давление (разрежение), кПа	23,0
Скорость газа в горловине при рабочем расходе, м/сек	150 – 180
Ширина щели между лопатками при рабочем режиме, мм	140 – 170
Ширина щели между лопатками при минимальном раскрытии, мм	0
Ширина щели между лопатками при максимальном раскрытии, мм	300
Расход воды на одну трубу Вентури, $м^3$/час	150 – 180
Давление воды перед форсунками, МПа	0,3

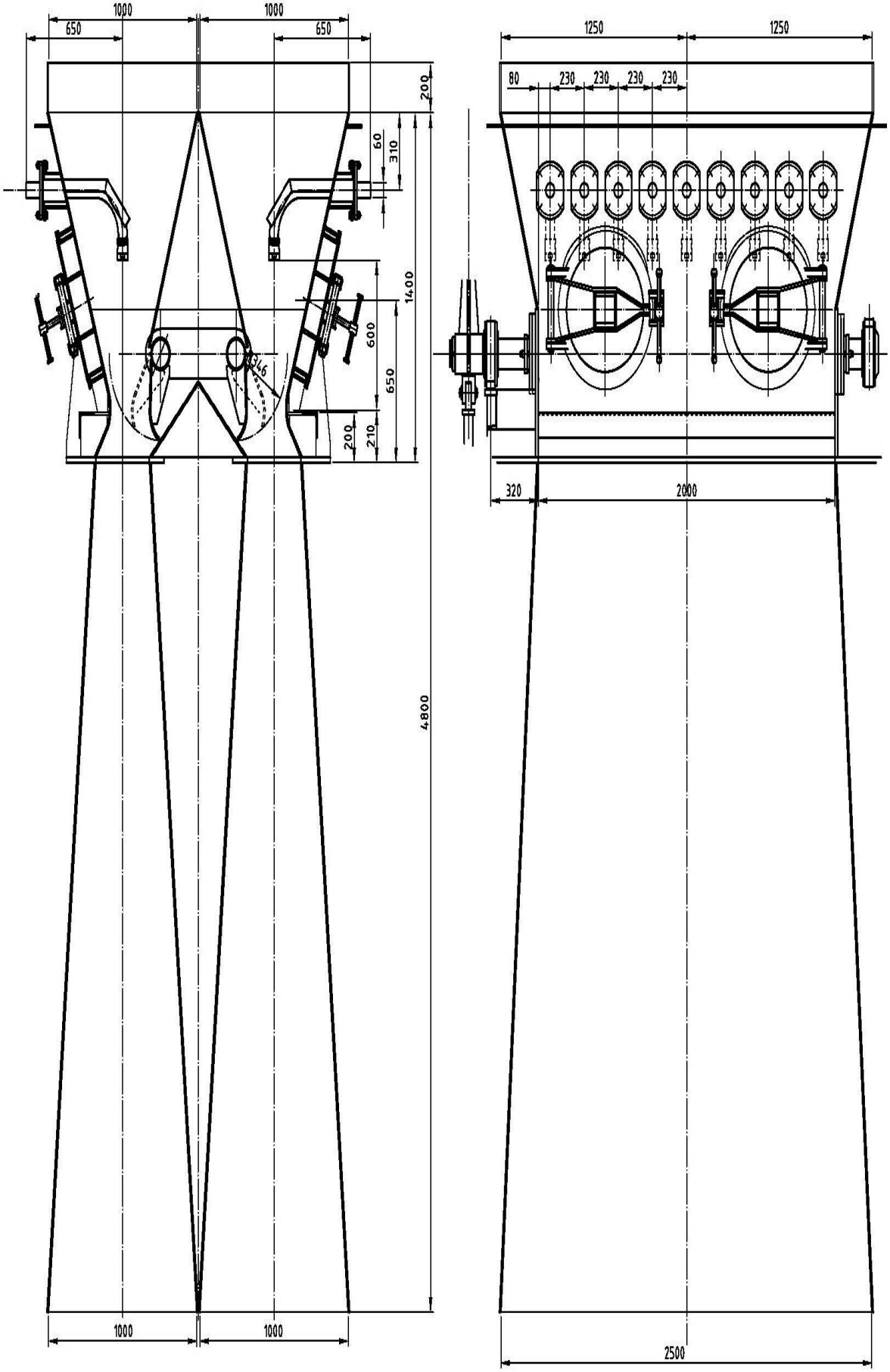


Рисунок 3.5 – Трубы Вентури

На рисунке 3.6 представлена форсунка труб Вентури.

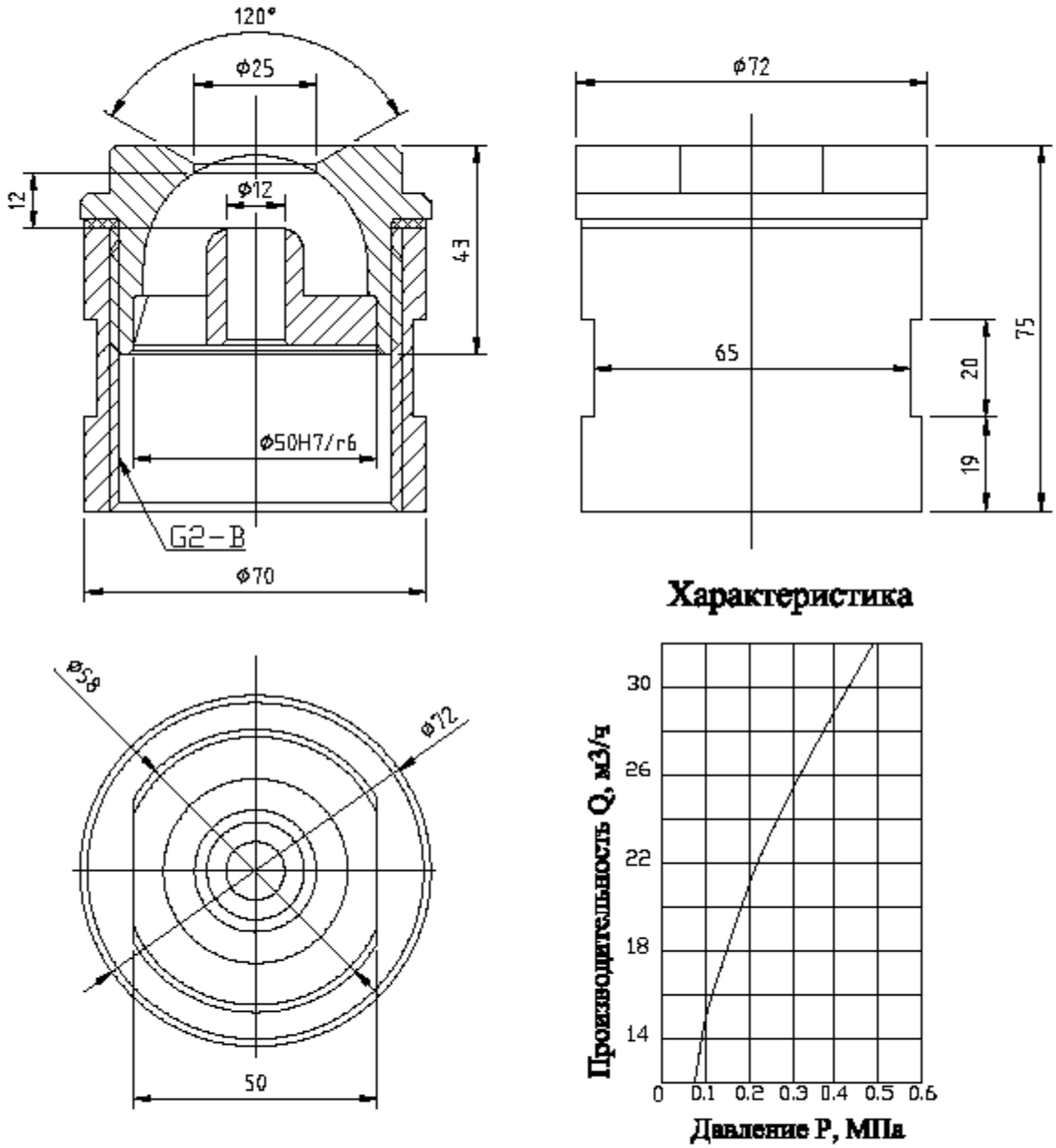


Рисунок 3.6 – Форсунка труб Вентури

Каплеуловитель

После труб Вентури газы направляются в два центробежных каплеуловителя с односекционными завихрителями. Для смыва отложений пыли в верхнюю и нижнюю часть каплеуловителей периодически подается вода в количестве 50 $м^3$/ч.

Диаметр каплеуловителя и необходимая высота рассчитываются на основании ранее проведенных в УкрГНТЦ «Энергосталь» исследований. Два центробежных каплеуловителя Ø2920 мм, высотой цилиндрической части 11850 мм, с односекционными завихрителями имеют расширения в верхней части с подачей воды на смыв отложений.

Каплеуловитель предназначен для улавливания капельной влаги уносимой газами после труб Вентури. Каплеуловитель оборудован на входе газа односекционным завихрителем. Лопатки завихрителя перед пуском устанавливается по проекту с углом наклона 45°. При наладке выбирается оптимальный угол установки лопаток. В верхней части каплеуловителя установлена расширительная секция для улавливания пленочной влаги.

Отходящие газы, проходя через завихритель, завихряются и капли отбрасывается на внутреннюю стенку каплеуловителя. Газ движется по спирали до выпускного патрубка очищенного газа, теряя избыточную воду под действием центробежной силы. Для очистки днища расширительной секции предусмотрена подача воды по одному подводу с форсункой. Промывочная вода и уловленная влага отводятся в гидрозатвор.

Остаточный каплеунос при скорости газов в каплеуловителе до 7,5 м/сек составляет 0,1 г/м^3. Гидравлическое сопротивление каплеуловителя – 0,8 кПа. Общий вид каплеуловителя представлен на рисунке 3.7. Температура газов за каплеуловителем составляет 54°С.

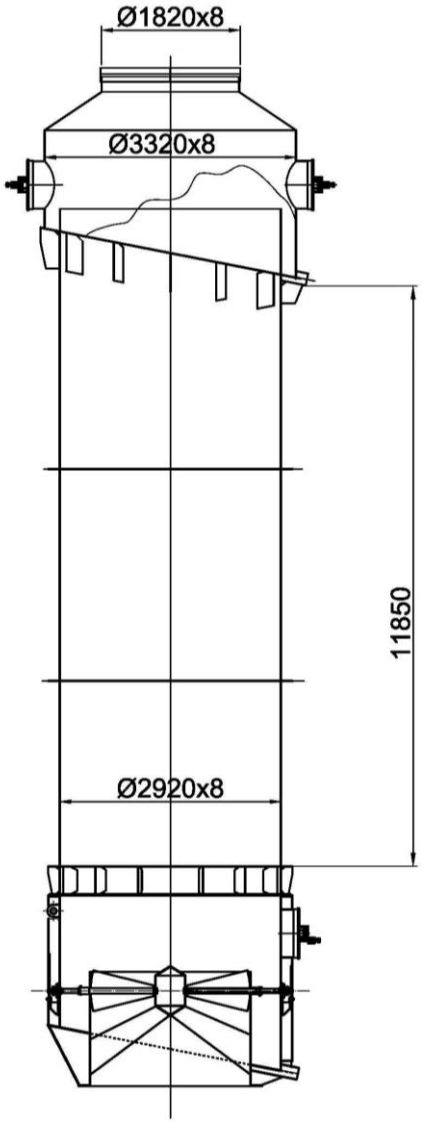


Рисунок 3.7 – Каплеуловитель

Гидрозатвор труб Вентури и каплеуловителя.

Гидрозатвор установлен под общим бункером труб Вентури и каплеуловителями на отметке 12,350 и предназначен для отвода шламовой воды в цеховой шламопровод и исключения попадания дымовых газов в атмосферу, а также подсасывания воздуха.

Гидрозатвор после труб Вентури типа «гусак», с диаметром трубы Ø 425 мм обеспечивает поддержание разряжения в трубах Вентури 16 кПа. Для очистки от отложений шлама предусмотреть периодическую подачу в гидрозатвор воды через шланговый затвор и подачу сжатого воздуха.

Газоходы

Газоходы предназначены для отвода газа от газоочистки до нагнетателя и после нагнетателя до общецехового газопровода. Газоход до нагнетателя представляет собой трубу диаметром Ø 2420 мм, сваренную из листов кислотоупорной стали толщиной 10 мм. Для удаления влаги перед нагнетателем установлен объемный влагоотделитель с отводом конденсата.

Водоводы

Осветленная вода на газоочистку подается из цехового водовода по трубе диаметром Ø426×7 мм и разводиться тремя водоводами на аппараты газоочистки (скруббер, орошаемый газоход, трубы Вентури, каплеуловители). Для очистки воды на водоводе подаче к блоку труб Вентури предусмотрены два вертикальных сетчатых фильтра (рабочий и резервный) диаметром Ø 500 мм, с диаметром отверстий сетки Ø 8 мм.

Далее на рисунке 3.8 изображен гидрозатвор труб Вентури.

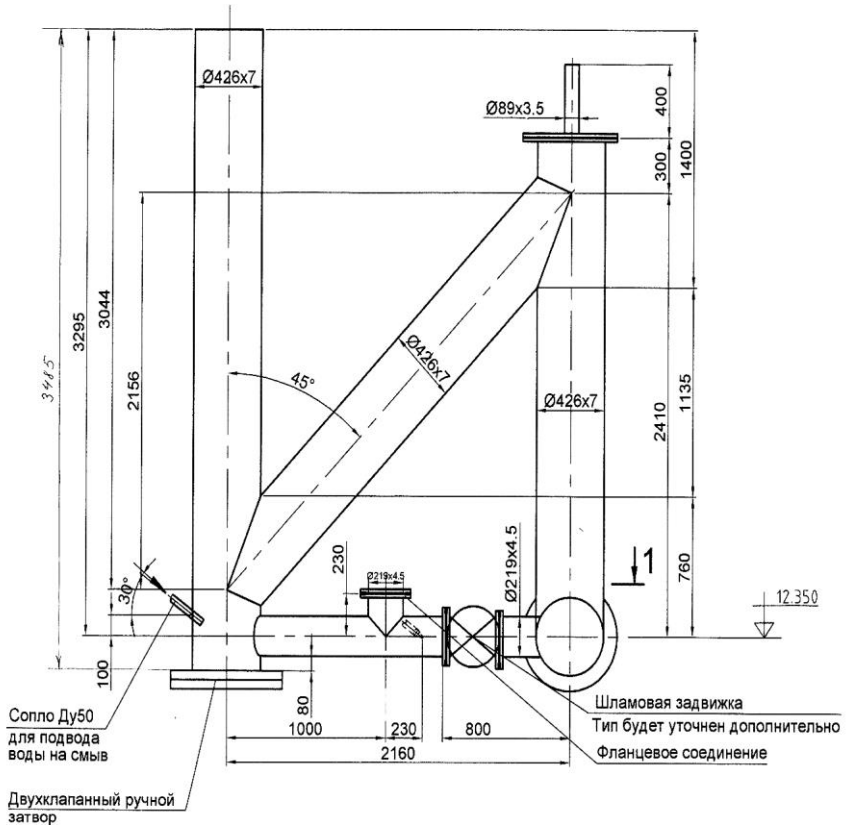


Рисунок 3.8 – Гидрозатвор труб Вентури

На рисунке 3.9 представлен объемный влагоотделитель.

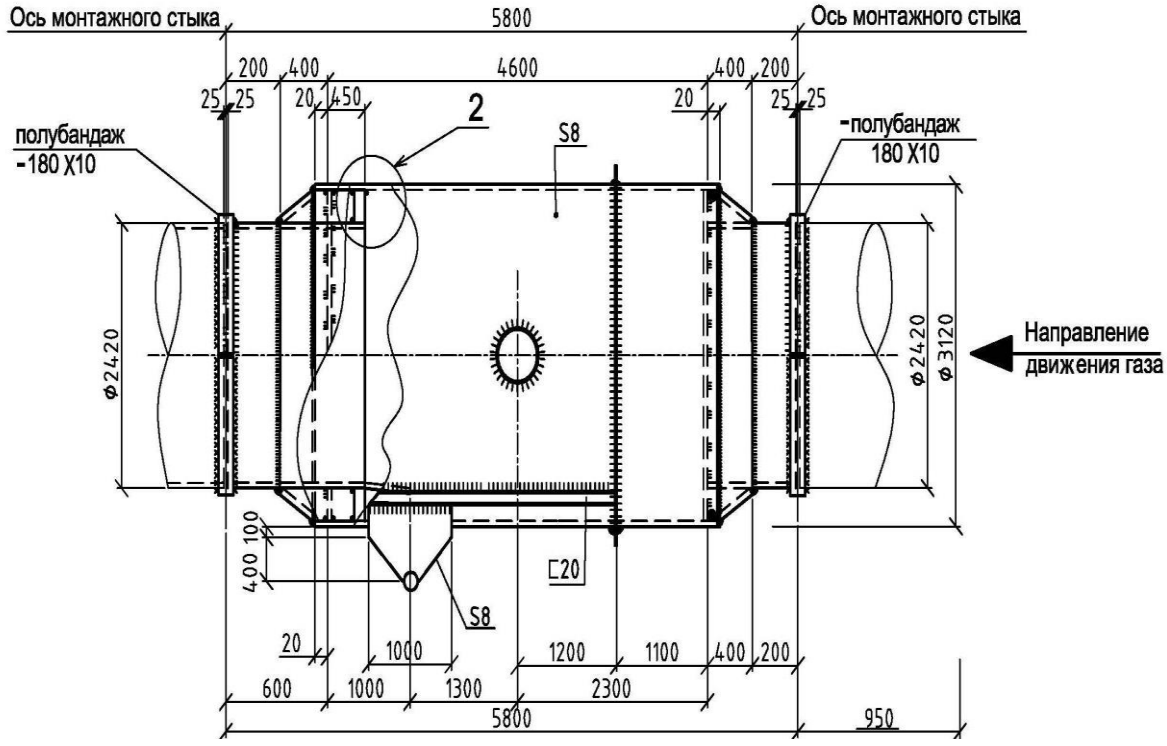


Рисунок 3.9 – Объемный влагоотделитель

Шламповоды.

Отвод шламовых вод из гидрозатворов скруббера, труб Вентури и каплеуловителей осуществляется в шламовые лотки.

Нагнетатель

Нагнетатель предназначен для обеспечения необходимой тяги, для компенсации потерь давления газового потока по тракту от конвертера до нагнетателя и создания напора для транспортировки газа от нагнетателя до места выброса его в атмосферу из дымовой трубы. Нагнетатель 7700-12-1 с модернизированным ротором производства ОАО «Энергомаш» г. Чудово.

Техническая характеристика нагнетателя:

тип конструкции	с двумя всасами, радиальный
тип крыльчатки	кривая
производительность	360 000 м^3/час
общая компрессия	17,0 кПа
температура газа на входе	55°С
скорость вращения вала	1500 об/мин
тип двигателя	электрический
мощность двигателя	2500 кВт

Привод (главный электродвигатель) нагнетателя работает в ручном и автоматическом режимах. Запуск привода производится с ручным управлением, расположенным в помещении нагнетателя.

3.4 Тепловой расчет котла

Тепловой расчёт котла выполняется по нормативному методу. Для теплового расчёта котла ОКГ-160У-2 используются следующие характеристики, приведенные в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики для теплового расчета котла ОКГ-160У-2

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Расход конвертерных газов	*Bp*	тыс.нм^3/ч	60
Температура газов на входе в тракт (котел – охладитель)	t	^{0}C	1700
Запыленность газов на входе в тракт	$g_п$	г/м^3	до 200
состав конвертерного газа:	CO CO_2	%	90 10
Коэффициент избытка воздуха	α	-	1,2
Температура холодного воздуха	$t_{хв}$	^{0}C	30

3.4.1 Средние характеристики продуктов сгорания

Средние характеристики продуктов сгорания определяются по таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние характеристики продуктов сгорания

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Расчетная формула	Расчет
Теоретическое количество воздуха	V^0	м^3/м^3	0,0476×0,5×CO	0,0476×0,5×90=2,14
Теоретический объем азота	$V^0_{N_2}$	м^3/м^3	0,79V^0	0,79×2,14=1,69
Теоретический объем водяных паров	$V^0_{H_2O}$	м^3/м^3	0.0161 V^0	0,0161×2,14=0,0345
Объем водяных паров	V_{H_2O}	м^3/м^3	$V^0_{H_2O}$+0.0161× × (α-1)×2.14	0.0345+0.0161×(1.2 -1) ×2.14=0.0414
Теоретический объем трехатомных газов	V_{RO_2}	м^3/м^3	0.01×(CO+CO_2)	0.01×(90+10)=1
Объем дымовых газов	$V_г$	м^3/м^3	V_{RO_2}+$V^0_{N_2}$+V_{H_2O}+ +(α-1)×V^0	1+1.69+0.0414+(1. 2-1) × ×2.14=3.159
Объемная доля трехатомных газов	r_{RO_2}	м^3/м^3	$V_{RO_2}/V_г$	1/3.159=0.317
Объемная доля водяных паров	r_{H_2O}	м^3/м^3	$V_{H_2O}/V_г$	0.0414/3.159=0.013
Суммарная объемная доля трехатомных газов	r_n	м^3/м^3	r_{RO_2}+r_{H_2O}	0.317+0.013=0.33

3.4.2 Теплосодержание продуктов сгорания

Теплосодержание продуктов сгорание определяется по таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Теплосодержание продуктов сгорания

ϑ, ^{0}C	$(c\vartheta)_{RO_2}$, кДж/м^3	$(c\vartheta)_{N_2}$, кДж/м^3	$(c\vartheta)_{H_2O}$, кДж/м^3	$(c\vartheta)_B$, кДж/м^3	I_r^0, кДж/м^3	I_B^0, кДж/м^3	$I_{\text{П}}^0$, кДж/м^3	$I_r = I_r^0 + (\alpha - 1) \times I_B + I_{\text{П}}$, кДж/м^3	ΔI, кДж/м^3
100	170	129,6	150,5	132,4	395	282,9	10,45	462,2	483,2
200	357,5	259,9	304,5	266,4	808,8	571,4	22,5	945,6	576,3
300	558	391,3	461,8	402,1	1239,4	861,3	35,1	1521,9	457,3
400	771,9	526,5	626,2	541,8	1668,6	1158,6	61	1979,2	525,9
500	994,8	662,9	793,4	683	2149,4	1462	63,1	2505,1	545,8
600	1224,6	804,1	968,2	829,7	2618,7	1774,4	77,8	3005,9	566
700	1458,8	944,7	1145,3	978,1	3104,9	2095	93,2	3616,9	577,7
800	1704,9	1093,6	1334,4	1129,1	3627,8	2417,3	108,7	4194,6	589,4
900	1947,9	1241,5	1521,5	1279	4114,4	2741,2	124,6	4784	593,6
1000	2203,5	1391,7	1722,9	1437,3	4625,2	3071,1	137,9	5377,6	602,7
1100	2453,7	1542,4	1922,8	1592,6	5141,4	3411,3	154,7	5980,3	607
1200	2716,6	1697,2	2132,3	1753,4	5665,6	3751,5	171,4	6587,3	614,4
1300	2971,9	1847,6	2340,8	1910,3	6195,2	4091,8	188,1	7201,7	633,7
1400	3239,1	2008,7	2559,1	2076,2	6736,1	4440,8	209	7835,4	618,6
1500	3498,7	2161	2775,5	2236,3	7270,3	4789,8	250,8	8454	636,2
1600	3768,8	2324,5	3001,8	2402,9	7811,6	5139,3	234	9090,2	598,6
1700	4029,5	2478,7	3222,8	2562,3	8357,5	5488,3	250,8	9688,8	632,9
1800	4304,7	2643,6	3458,4	2731,9	8902,9	5837,8	250,8	10321,7	641,1
1900	4564,9	2800,6	3682,5	2892,6	9455,9	6196	267,5	10962,8	647,1
2000	4844,1	2965,1	3925,5	3065,6	10006,5	6553,8	292,6	11609,9	632,9
2100	510,9	3122,5	4154,9	3226,9	10563,7	6912,1	296,8	12242,8	646,6
2200	5386,6	3289,2	4401,9	3401,6	11120,9	7270,3	314,3	12889,4	648
2300	5647	3452,7	4635,6	3561,4	11681,4	7628,1	330,2	13537,4	644,9
2400	5918,9	3611,5	4886,4	3732,7	12219,8	7991,3	351,1	14182,3	638,3
2500	6194,8	3797,5	5124,7	3904,1	12790,4	8362,5	357,4	14820,6	

3.4.3 Конструктивные характеристики

3.4.3.1 Подъемный газоход

Конструктивные характеристики подъемного газохода определяются по таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Конструктивные характеристики подъемного газохода

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
Площадь левого экрана	$Н_Л$	$м^2$	По чертежу	(1,5+2×1,063+6,9+3,25+19,2)× ×4,2=139
Правый экран	$Н_П$	$м^2$	По чертежу	(1,15+2×5,8+3,9+1,5+19,7)× ×4,2=134,6
Фронтовой экран	$Н_Ф$	$м^2$	По чертежу	(0,8×4,25+2×1,42×4,25+6,19× ×4,25)+(2,5+2×1,42+19)× ×4,25=145,2
Задний экран	$Н_З$	$м^2$	По чертежу	145,2-6,5×4,25=117,5
Потолок	$Н_К$	$м^2$	По чертежу	4,2×4,25=17,9
Суммарная лучевоспринимающая поверхность	$Н_Т$	$м^2$	$Н_Л + Н_П + +Н_Ф + Н_З + +Н_К$	139+134,6+145,2+117,5+ +17,9=554,2
Объем топочной камеры	$V_Т$	$м^3$		145,2×4,2=609,8
Эффективная толщина излучающего слоя	S	м	$\frac{3.6V_Т}{Н_Т} + +Н_К$	3,6×609,8/554,2+17,9=3,84

3.4.3.2 Переходный газоход

Конструктивные характеристики переходного газохода определяются по таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Конструктивные характеристики переходного газохода

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
Потолочный экран	$Н_{ПОТ}$	$м^2$	По чертежу	2,18×4,25=9,3
Под	$Н_{ПОД}$	$м^2$	По чертежу	2,91×4,25=12,4
Правый и левый экран	$Н_{БОК}$	$м^2$	По чертежу	(4,62×2,18+0,5×2,18×1,92) ×2=24,3
Суммарная поверхность	$Н_{СУМ}$	$м^2$	По чертежу	9,3+12,4+24,3=46
Объем переходного газохода	V	$м^3$	$А×Н_{БОК}/2$	4,25×24,3/2=51,63
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{ЭФ}$	м	$3,6V/Н_{СУМ}$	3,6×51,63/46=4,04

3.4.3.3 Отпускной газоход

Конструктивные характеристики отпускного газохода определяются по таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Конструктивные характеристики отпускного газохода

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
Испарительные ширмы	$Н_{ш}$	$м^2$	По чертежу	2×(3,35×20,8-0,5×3,35×1,1)× ×0,88×9=1077
Сечение для прохода среды	$f_{ш}$	$м^2$		0,78×0,032×6×59=0,285
Поперечная часть ширм	$Н_{Ш}^{ПОП}$	$м^2$	По чертежу	2×(3,35×4,62-0,5×3,35×0,5)× ×0,88×9=219
Продольная часть ширм	$Н_{Ш}^{ПР}$	$м^2$	По чертежу	1077-219=858
Боковые экраны	$Н_{БОК}$	$м^2$	По чертежу	2(4,2×20,8-0,5×4,2×1,1)=170
Фронтовой экран	$Н_{Ф}$	$м^2$	По чертежу	4,25×(19,65+3,5)=98,4
Задний экран	$Н_{З}$	$м^2$	По чертежу	4,25×16,5=70,1
Суммарная поверхность экранов	$Н_{ЭКР}$	$м^2$	По чертежу	170+98,4+70,1=338,5
Поперечная поверхность экранов	$Н_{ЭКР}^{ПОП}$	$м^2$	По чертежу	2×(4,25×4,62-0,5×4,25×1)=35,03
Продольная поверхность экранов	$Н_{ЭКР}^{ПР}$	$м^2$	По чертежу	338,5-35=303,5
Суммарная продольная поверхность экранов	$Н_{ПР}$	$м^2$	По чертежу	858+303,5=1161,5
Суммарная поперечная поверхность экранов	$Н_{ПОП}$	$м^2$	По чертежу	219+35=254
Эффективная толщина излучающего слоя	S	м	$\frac{1,8}{\frac{1}{А}+\frac{1}{В}+\frac{1}{С}}$	$\frac{1,8}{\frac{1}{3,35}+\frac{1}{0,6}+\frac{1}{19,75}}=0,89$
Сечение для прохода газа в поперечном сечении	$F_{ПОП}$	$м^2$	AB-n×d	4,26×4,25-9×4,62×0,038=18,6
Сечение для прохода газа в продольном сечении	$F_{ПР}$	$м^2$	AB-0,785dn	4,2×4,25-0,785×(0,038×6,62+0,052×3×44)=1
Эквивалентный диаметр	$d_{ЭК}$	м		$4×17/(2×(4,2+4,25)+ +3,14×(0,0038×372+ 0,057×132))=0,8$
Суммарная поверхность газохода	$Н_{СУМ}$	$м^2$		882,5+172=1055
Средний диаметр труб	$d_{СР}$	мм		$\frac{38×716+57×3385}{1055}=44$

3.4.4 Тепловой баланс котла

Расчет теплового баланса котла представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Тепловой баланс котла

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
1	2	3	4	5
Средняя теплоемкость конвертерных газов	$C_{КГ}$	$\frac{кДж}{м^3 {}^0C}$	$0,01(90C_{CO}+$ $+10C_{CO_2})$	0,01(1,33×90+2,37×10)= =1,57
Физическое тепло газов	$Q_{ФИЗ}$	кДж/м^3	$C_{КГ}$×t	1,57×1700=2669
Теплота сгорания конвертерных газов	Q_H^P	кДж/м^3	$0,9C_{V_{CO}}$	0,9×12615=11352
Располагаемое тепло топлива	Q_P^P	кДж/м^3	$Q_{ФИЗ}+Q_H^P+Q_П$	2669+11352+250=14271
Температура уходящих газов	$V_{УХ}$	^{0}C	Принята с посл. уточнением	450
Энтальпия уходящих газов	$I_{УХ}$	кДж/м^3	$V-\vartheta_{табл}$	2242
Энтальпия холодного воздуха	$I_{ХВ}^0$	кДж/м^3	$C_В$+$t_{ХВ}$+V^0	1,3×30×2,14=83
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	$\frac{I_{УХ}-\alpha_{УХ}{}^{\times}I_{ХВ}^0}{Q_P^P}$	$\frac{2242-1,2^{\times}83}{14271}{}^{\times}100$ $=19$
Потери тепла от химической неполноты сгорания	q_3	%	Нормы	1,5
Потери тепла в окружающую среду	q_5	%	Нормы	3,5
Сумма потерь тепла	Σ_q	%	$q_2+q_3+q_5$	19+1,5+3,5=24
Коэффициент полезного действия	η	%	$100-\Sigma_q$	100-24=76
Коэффициент сохранения тепла	φ	%	$1-\frac{q_5}{\eta+q_5}$	$1-\frac{3,5}{76+3,5}=0,95$
Давление в барабане	$P_Б$	МПа	Задано	4,0
Энтальпия насыщенного пара	$i_Н$	кДж/м^3	Табл.	2795,2
Энтальпия котловой воды	$i_К$	кДж/м^3	Табл.	1080,1
Скрытая теплота парообразования	r	кДж/кг	Табл.	1715
Температура насыщенного пара	$t_Н$	^{0}C	Табл.	249
Влажность пара	1-х	%	Табл.	1

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4	5
Энтальпия влажного пара	i_X	кДж/кг	$i_н$-r× ×(1-x)×1,0×0,01	2795,2-1715× ×1×0,01=2778,05
Температура питательной воды	$t_{ПВ}$	^{0}C	Задано	104
Энтальпия питательной воды	$i_{ПВ}$	кДж/кг	Табл.	438
Процент продувки	$q_П$	%	Принято	10
Паропроизводительноо сть котла	D	т/ч	$B\times Q_P^P\times\eta/(10^3\times \times(i_H - i_{ПВ}) + +q_{ПР}\times(i_К - i_{ПВ}))$	$60\times10^3\times14271\times0,76 /(10^3\times \times(2795-438)+0,1\times \times(1080,1-438)) = 284$

3.4.5 Расчет топочной камеры

Тепловой расчет топочной камеры представлен в таблице 3.10

Таблица 3.10 – Тепловой расчет топочной камеры

Наименование величины	Обозначение	Величина	Размерная формула или способ определения	Расчет
1	2	3	4	5
Температура газов на выходе из топки	$V_Т$	^{0}C	Принята с последующими уточнениями	1300
Энтальпия газов на выходе из топки	I_r''	кДж/кг	Из таблицы	7201
Тепло, вносимое в топку воздухом	$Q_В$	кДж/кг	$\alpha\times I^0_{ХВ}$	1,2×83=99,6
Полезное тепловыделение в топке	$Q_Т$	кДж/кг	$Q_P^P\times\frac{100-q_З}{100}+Q_В$	$14271\times\frac{100-1,5}{100}+ +99,6=14156$
Теоретическая температура горения	V_0	^{0}C	Из таблицы	2396
Степень черноты топки	$d_Т$	-	Обобщения	1,0
Коэффициент	Mψ		По рекомендации	0,23
Температура на выходе	$V_Т''$	^{0}C	$\frac{V_0}{M\psi\left(\frac{4,9\times10^{-8}\times H_Л\times d_r\times V_0^3}{\varphi\times B_r\times V_{ср}}\right)^{0,6}}$	$\frac{2396}{0,23\left(\frac{4,9\times10^{-8}\times581,8\times2369^3}{0,95\times60\times10^3\times6,5}\right)^{0,6}} = 1420$
Энтальпия газов на выходе из топки	$I_Т''$	кДж/кг	Из таблицы 4.2	7960

Продолжение таблицы 3.10

1	2	3	4	5
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$V_{ср}$	$\frac{кДж}{м^3 {}^0C}$	$\frac{V_Т - I''_Т}{V_0 - V''_Т}$	$\frac{14156 - 7201}{2396 - 1300} = 6,5$
Лучистое тепло топки	$Q_Л$	кДж/кг	$\varphi(Q_T - I''_T)$	0,95×(14156-7960)=5409

3.4.6 Расчет подъемного газохода

Тепловой расчет подъемного газохода представлен в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Тепловой расчет подъемного газохода

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
1	2	3	4	5
Температура газов на входе в конвертер	v'_K	^0C	По техническим характеристикам	1700
Энтальпия газов на входе в конвертер	I'_K	кДж/кг	Из таблицы	10112,8
Тепло, вносимое в конвертер воздухом	$Q_В$	кДж/кг	$\alpha \times I^0_{ХВ}$	1,2×83=99,6
Полезное тепловыделение в конвертере	$Q_К$	кДж/кг	$Q_P^P \times \frac{100 - q_з}{100} + Q_В$	$14255 \times \frac{100 - 1,5}{100} + +99,6 = 14140$
Тепло, вносимое в котел конвертером	$Q_{ВХ}$	кДж/кг	$B_Р \times I'_К$	18,05×10112,8= =182592,2
Адиабатическая температура горения	$\upsilon_а$	^0C	Из таблицы	2396
Параметр	M		Принят	0,48
Коэффициент эффективности экранов	ζ		Обобщения	0,47
Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания	$V_{ср}$	$\frac{кДж}{м^3 {}^0C}$	$\frac{Q_К - I'_к}{v_а - v'_к}$	$\frac{14140 - 10112,8}{2396 - 1700} = = 5,78$
Произведение	pr_ns	м×МПа	$p \times r_n \times s$	1×0,33×3,84=1,26

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4	5
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	$k_г$	$\frac{1}{м^{\times}МПа}$	Номонограмма 3(9)	0,7
Оптическая толщина излучающего слоя	kps		$K_г P_n S$	0,7×1,26=0,882
Степень черноты факела	$a_ф$		$1-e^{-kps}$	$1-e^{-0,882}$=0,587
Степень черноты топки	a_m		$\frac{a_ф}{a_ф + (1 - a_ф)^{\times}\psi_{ср}}$	$\frac{0,587}{0,587+(1-0,587)^{\times}0,43}$= = 0,768
Температура газов на выходе из конвертера	v''_K	^{0}C	Из формулы 5-3	1520
Энтальпия газов на выходе из конвертера	I''_K	кДж/кг	Из таблицы 4.4	8954
Лучистое тепло конвертера	$Q_Л$	кДж/кг	$\varphi^{\times}(Q_Т - I''_к)$	0,95×(14140--8954)=4926,7
Полезное тепловосприятие в подъемный газоход	$Q''_{вых}$	кДж/кг	$Q''_{вых} - Q_Л$	182592,2--4926,7=177665,5

3.4.7 Расчет переходного газохода

Тепловой расчет переходного газохода представлен в таблице 3.12

Таблица 3.12 – Тепловой расчет переходного газохода

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
1	2	3	4	5
Температура газов на входе	v'_k	^{0}C	Из расчета топки	1420
Энтальпия газов на входе	I'_k	кДж/кг	Из расчета топки	7960
Температура газов на выходе	$v''_П$	^{0}C	Принята с последующим уточнением	1350

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3	4	5
Средняя температура газов	$V_{СР}$	^{0}С	$\frac{V_T'' + V_П''}{2}$	$\frac{1420 + 1350}{2} = 1385$
Энтальпия газов на выходе	I''	кДж/кг	Из таблицы	7740
Тепловосприятие по балансу	$Q_б$	кДж/кг	$\varphi(I_k' - I_n'')$	0,95(7960-7740)=192
Тепловосприятие из топки	$Q_Л^Т$	кДж/кг	$Q_Л \times \frac{Н_Л^{ОК}}{Н_Т^Л} \times у$	$5409 \times \frac{27,6}{581,8} \times 0,5 = 128$
Коэффициент загрязнения экранов	$\varepsilon_{экр}$	-	-	0,0025
Средняя температура газов	$Т_{СР}$	К	$V_{СР}$+273	1385+273=1658
Температура загрязненной стенки	$Т_З$	К	$t_{ср} + \varepsilon_{экр} \frac{(Q_B + Q_Л^Т) \times В_Р}{Н_Л}$	$(249 + 273) + 0,0025 \times \times \frac{(193 + 128) \times 60 \times 10^3}{46} = 1568$
Лучистое тепло	$Q_Л$	кДж/кг	$\frac{4,9 \times 10^{-8} \times \alpha_К \times Н_Л}{В_р} \times \times (Т_{ср}^4 + Т_З^4)$	$\frac{4,9 \times 10^{-8} \times 0,584 \times 46}{60 \times 10^3} \times \times (1658 + 1568) = 332$

3.4.8 Расчет конвективных ширм

Тепловой расчет конвективных ширм представлен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Тепловой расчет конвективных ширм

Наименование величины	Обозначения	Размерность	Размерная формула или способ определения	Расчет
1	2	3	4	5
Диаметр труб ширм	$d_ш$	мм	По чертежу	38×3
Продольная поверхность ширм и экранов	$Н_{ПР}$	м^2	Конструктивные характеристики	882,5
Поперечная поверхность ширм и экранов	$Н_{ПОП}$	м^2	Конструктивные характеристики	172
Эффективная толщина излучающего слоя	S	м	Конструктивные характеристики	0,89
Эквивалентный диаметр	$d_{ЭКВ}$	м	Конструктивные характеристики	0,80
Температура газов на входе	v'	^{0}С	Из расчета переходного газохода	1350

Продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5
Энтальпия газов на входе	I'	кДж/кг	Из расчета переходного газохода	7518
Температура газов на выходе из газохода	v''	^{0}C	Принята с последующим уточнением	650
Энтальпия газов на выходе из газохода	I''	кДж/кг	По таблице	3310
Тепловосприятие газохода по балансу	$Q_б$	кДж/кг	$\varphi^{\times}(I' - I'')$	0,95×(7518-3310)=3366
Температурный напор	Δt	^{0}C	$\frac{(V' - t) - (V'' - t)}{2{,}3lg\frac{V' - t}{V'' - t}}$	$\frac{(1350 - 249) - (650 - 249)}{2{,}3lg\frac{1101}{401}} = 693$
Скорость газов в поперечном сечении	$W_{ПОП}$	м/сек	$\frac{B_р^{\times} V_г^{\times}(V_{СР} + 273)}{3600^{\times}273^{\times}F_{ПОП}}$	$\frac{60^{\times}10^{3\times}3{,}159^{\times}(1000 + 273)}{3600^{\times}273^{\times}18{,}6} = 13{,}2$
Средняя температура газов	$V_{СР}$	^{0}C	$\frac{V' + V''}{2}$	$\frac{1350 + 650}{2} = 1000$
Скорость газов в продольном сечении	$W_{ПР}$	м/сек	$\frac{B_р^{\times} V_г^{\times}(V_{СР} + 273)}{3600^{\times}273^{\times}F_{ПР}}$	$\frac{60^{\times}10^{3\times}3{,}159^{\times}(1000 + 273)}{3600^{\times}273^{\times}17{,}0} = 14$
Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании	$\alpha_К^{ПОП}$	м^2 ^{0}C/кДж	Номограмма 12(9)	49,5
Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании	$\alpha_К^{ПР}$	м^2 ^{0}C/кДж	Номограмма 14(9)	16,2
Произведение	P_nS	м×МПа	$P^{\times}r_n^{\times}S$	0,89×0,33=0,29
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$К_Г$	$\frac{1}{м^{\times}МПа}$	При монограмме 3(9)	0,78
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$К_{ЗЛ}$	$\frac{1}{м^{\times}МПа}$	При номограмме 4(9)	1,57

Окончание таблицы 3.13

1	2	3	4	5
Оптическая толщина	K_{ps}	$\frac{1}{м \times МПа}$	$(K_Г \times r_п + K_{ЗЛ}) \times PS$	$(0,78 \times 0,33 + 1,57) \times 0,89 = 1,62$
Суммарная оптическая толщина	α		Номограмма 2(9)	0,82
Коэффициент загрязнения	ε		Принят	0,002
Лучистое тепло	$Q_Л$	кДж/кг	Из расчета переходного газохода	$\frac{(476,9 + 116) \times 19,6}{46 + 19,6} = 177,14$
Температура загрязненной стенки	$t_з$	^{0}C	$t_Н + \varepsilon \times \frac{(Q_Б + Q_Л) \times B_Р}{Н}$	$249 + 0,002 \times \frac{(4729,1 + 177,1) \times 65 \times 10^3}{1412,5} = 700,54$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_Л$	м^2 ^{0}C/кДж	Номограмма 19(9)	$1065 \times 0,82 = 873,3$
Коэффициент использования	ζ	-	Принято	0,85/1,0
Коэффициент теплоотдачи от газов при поп. омывании	$\alpha'_{ПОП}$	м^2 ^{0}C/кДж	$\zeta \times \left(\alpha_К \times \frac{\pi \times d}{2 \times S_2 \times x} + \alpha_Л\right)$	$0,85 \times \left(49,5 \times \frac{\pi \times 38}{2 \times 50 \times 0,88} + 873,3\right) = 799,35$
Коэффициент теплоотдачи от газов при продольном омывании	$\alpha'_{ПР}$	м^2 ^{0}C/кДж	$\zeta \times \left(\alpha_К \times \frac{\pi \times d}{2 \times S_2 \times x} + \alpha_Л\right)$	$1,0 \times \left(16,2 \times \frac{\pi \times 38}{2 \times 50 \times 0,88} + 873,3\right) = 895,26$
Средний коэффициент теплоотдачи	α'	м^2 ^{0}C/кДж	$\frac{\alpha'_{ПОП} \times H_{ПОП} + \alpha'_{ПР} \times H_{ПР}}{Н}$	$\frac{799 \times 266,8 + 895 \times 1145,7}{1412,5} = 877,08$
Коэффициент теплоотдачи	К		$\frac{\alpha'}{1 + \varepsilon\alpha'}$	$\frac{877,08}{1 + 0,002 \times 877,08} = 318,93$
Тепловосприятие по уравнению теплопередачи	$Q_Т$	кДж/кг	$\frac{K \times \Delta t \times Н}{B_Р \times 10^3}$	$\frac{318,93 \times 688,76 \times 1412,5}{65 \times 10^3} = 4773,51$
Расхождение расчетных тепловосприятий	ΔQ	%	$\frac{Q_т - Q_Б}{Q_Б} \times 100$	$\frac{4773,51 - 4729,1}{4729,1} \times 100 = 0,94$

4 РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Для выполнения расчетов необходимы исходные данные, которые определяются по имеющимся инструкциям и измерениям:

Параметры конверторного газа после котла-охладителя:

Температура конвертерного газа перед котлом охладителем составляет $t_{гк}$=1700 ^{0}C, после котла – перед скруббером: $t_{гскр}$=400 – 700 ^{0}C ≈ 550^{0}C

Температура газа после газоочистки $t_{гго}$=(40 – 70) ^{0}C ≈ 55^{0}C

- расход Gг =200 000 м^3/ч = 55,6 м^3/с;
- температура $t_{г1}$=550 (°C);
- химический состав: C_{CO}=90%, C_{CO2}=10%;
- запыленность неочищенного газа Z_1=160 (г/м^3);
- требуемая запыленность очищенного газа Z_2=0,1 г/м^3.

Параметры воды, используемой в системе очистки газа:

- температура $t_в$=35 (°C);
- давление $P_в$=0,5 МПа.

Среднее значение атмосферного давления в районе источника выбросов: $P_б$=10^5 Па.

Характеристика источника выбросов (вид пыли или тумана) – пыль кислородного конвертера

4.1 Расчет параметров конвертерного газа

Предварительно производится расчет следующих параметров конвертерного газа.

Плотность газа (при нормальных условиях), состоящего из нескольких компонентов (кг/м^3) рассчитывается по формуле (3.1):

$$\rho_{гн} = C_{CO}\,\rho_{CO2} + C_{CO2}\,\rho_{CO2},\ кг/м^3, \qquad (4.1)$$

где C_{CO}, C_{CO2} – объемная концентрация в долях единицы;

ρ_{CO}, ρ_{CO2} – плотности компонентов (при нормальных условиях), кг/м^3.

$$\rho_{гн} = 0{,}9\cdot 1{,}25 + 0{,}1\cdot 1{,}9768 = 1{,}323\ кг/м^3,$$

Плотность газов на входе в скруббер рассчитывают по формуле (3.2):

$$\rho_{г1} = \frac{\rho_{гн}(P_б - P_{г1})273}{101325(273+t_{г1})},\ (кг/м^3), \qquad (4.2)$$

где $P_б$ – барометрическое давление, Па;

$t_{г1}$ – температура газа перед трубой Вентури, °C;

$P_{г1}$ – разрежение в газоходе перед трубой Вентури, Па., задается предварительно 10^4 Па., в дальнейшем уточняется в процессе расчета.

$$\rho_{г1} = \frac{1{,}323\cdot(10^5-10^4)\cdot 273}{101325\cdot(273+550)} = 0{,}39 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход газа на входе в трубу Вентури (4.3):

$$Q_{г1} = G/\rho_{г1}\text{ , (м}^3\text{/с)} \qquad (4.3)$$

где G – массовый расход газа на входе в трубу Вентури, кг/с.

$$G=Q_{г1}\cdot\rho_{г1}=55{,}6\cdot 0{,}39 = 21{,}68 \text{ кг/с.}$$

Дальнейший расчет ведем на основе закона сохранения энергии. Потерями тепла в окружающую среду через стенки оборудования можно пренебречь (4.4):

$$q_1 = q_2\text{ ,} \qquad (4.4)$$

где q_1 – количество тепла, вносимое сухим газом и орошающей водой на входе в трубу Вентури, кДж/с;

q_2 – количество тепла, выносимое сухим газом, водой и водяными парами, содержащимися в газе из скруббера Вентури (3.5):

$$q_1 = q_{сг1}+q_{в1}\text{, кДж/с.} \qquad (4.5)$$

Количество тепла, вносимое сухим газом в скруббер (3.6):

$$q_{сг1} = C_{рг}\, G_г\, t_{г1}\text{ , кДж/с,} \qquad (4.6)$$

где $C_{рг}$ – теплоемкость конвертерного газа перед скруббером,

$C_{рг}$=1,415, кДж/м^3 град = 0,55 , кДж/кг град;

$G_г$ – массовый расход дымового газа (сухого) на входе в систему очистки, кг/с;

$t_{г1}$ – температура газа на входе в трубу Вентури, °С.

$$q_{сг1}= 0{,}55\cdot 21{,}68\cdot 550= 6580 \text{ кДж/с}$$

Количество тепла, вносимое орошающей водой в скруббер (4.7):

$$q_{в1} = C_в\, G_{в1}\, t_{в1}\text{ , кДж/с,} \qquad (4.7)$$

где $C_в$ – теплоемкость воды, подаваемой на орошение в трубу Вентури, кДж/кг град. $C_в$=4,19 кДж/кг град.;

$G_{в1}$ – расход воды, подаваемой на орошение в трубу Вентури, кг/с. Принимаем $G_{в1}$=70 кг/с = 250 м^3/ч;

$t_{в1}$ =35°С – температура орошающей воды.

$$q_{в1} = 4{,}19 \cdot 70 \cdot 35 = 10266 \text{ кДж/с}$$

$$q_1 = q_{сг1} + q_{в1}. \qquad (4.8)$$

$$q_1 = 6580 + 10266 = 16846 \text{ кДж/с}$$

Расчет ведем методом последовательного приближения. Задаем значение температуры газа на выходе из скруббера $t_{г2}$, считая, что парогазожидкостная смесь на выходе из трубы Вентури находится в состоянии термодинамического равновесия.

Предположим, что $t_{в2}=t_{г2}=55^0$С. Парциальное давление водяных паров в зависимости от температуры определяется по таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Парциальное давление водяных паров в зависимости от температуры

$t_{г2}$, ^{0}С	$P_{парц}$, кПа	$t_{г2}$, ^{0}С	$P_{парц}$, кПа	$t_{г2}$, ^{0}С	$P_{парц}$, кПа	$t_{г2}$, ^{0}С	$P_{парц}$, кПа
39	701	44	9,3	49	12,0	54	15,3
40	7,5	45	9,8	50	12,6	55	16,1
41	7,9	46	10,3	51	13,2	56	16,8
42	8,4	47	10,8	52	13,9	57	17,7
43	8,8	48	11,4	53	14,6	58	18,5

Влажность газов (концентрация водяных паров, отнесенная к единице массы сухого газа):

$$d = \frac{0{,}804 P_{парц}}{(P - P_{парц})\rho_{гн}} = \frac{0{,}804 \cdot 16{,}8 \cdot 10^3}{(10^5 - 16{,}8 \cdot 10^3) \cdot 1{,}323} = 0{,}123$$

где P – атмосферное давление газа, Па.

Расход водяных паров, содержащихся в газе на выходе из скруббера (кг/с):

$$G_п = G_г \, d. = 21{,}68 \cdot 0{,}123 = 2{,}66 \text{ кг/с}$$

Расход воды на выходе из скруббера Вентури определяется из уравнения материального баланса (3.9):

$$G_{B2} = G_{B1} - G_г \, d, \text{ кг/с}, \qquad (4.9)$$

$$G_{B2} = 70 - 21{,}68 \cdot 0{,}123 = 67{,}33 \text{ кг/с}$$

Определяем количество тепла, выносимое из скруббера сухим газом (4.10):

$$q_{сг2} = C_{рг}\, G_г\, t_{г2}\,, \text{кДж/с}, \qquad (4.10)$$

где $t_{г2}$ – температура газа на выходе из скруббера Вентури,°С.

$$q_{сг2} = 0{,}55 \cdot 21{,}68 \cdot 55 = 655{,}8 \text{ кДж/с}$$

Количество тепла, выносимое из скруббера вытекающей водой (4.11):

$$q_{в2} = C_в \cdot G_{в2} \cdot t_{в2}\,, \text{кДж/с}, \qquad (4.11)$$

где $G_{в2}$ – расход воды, выходящей из скруббера Вентури, кг/с;
$t_{в2}$ – температура воды, выходящей из скруббера.

$$q_{в2} = 4{,}19 \cdot 67{,}33 \cdot 55 = 15516{,}2 \text{ кДж/с}$$

Количество тепла, выносимое из скруббера водяным паром, содержащимся в газе (4.12):

$$q_{п2} = i_п\, G_п, \qquad (4.12)$$

где $i_п$ – энтальпия водяных паров, содержащихся в газе на выходе из скруббера, кДж/кг.

$$q_{п2} = 2607 \cdot 2{,}66 = 6934 \text{ кДж/с}$$

$$i_п = 2501 + 1{,}93\, t_{г2}\,. \qquad (4.13)$$

$$i_п = 2501 + 1{,}93 \cdot 55 = 2607 \text{ кДж/кг}$$

$$q_2 = q_{сг2} + q_{в2} + q_{п2}\,. \qquad (4.14)$$

$$q_2 = 655{,}6 + 15516 + 6934 = 23105{,}6 \text{ кДж/с}$$

При правильно заданной температуре $t_{г2}$, значения q_1 и q_2 отличаются не более чем на 5%.

У нас $q_1 < q_2$, задаем новое значение $t_{г2}^1$, меньше $t_{г2}$ и повторяем расчет.

$$t_{г2}^1 = 40\ ^0\text{C}$$

$$d = \frac{0{,}804 P_{парц}}{(P - P_{парц})\rho_{гн}} = \frac{0{,}804 \cdot 7{,}5 \cdot 10^3}{(10^5 - 7{,}5 \cdot 10^3) \cdot 1{,}323} = 0{,}05$$

$$G_п = G_г \cdot d. \quad (4.15)$$

$$G_п = 21{,}68 \cdot 0{,}05 = 1{,}08 \text{ кг/с}$$

$$G_{В2} = G_{В1} - G_г \, d. \quad (4.16)$$

$$G_{В2} = 70 - 21{,}68 \cdot 0{,}05 = 68{,}92 \text{ кг/с}$$

$$q_{сг2} = C_{рг} \, G_г \, t_{г2}. \quad (4.17)$$

$$q_{сг2} = 0{,}55 \cdot 21{,}68 \cdot 40 = 477 \text{ кДж/с}$$

$$q_{в2} = C_в \cdot G_{в2} \cdot t_{в2}. \quad (4.18)$$

$$q_{в2} = 4{,}19 \cdot 68{,}92 \cdot 40 = 11550 \text{ кДж/с}$$

$$i_п = 2501 + 1{,}93 \, t_{г2}. = 2501 + 1{,}93 \cdot 40 = 2578 \text{ кДж/кг}$$

$$q_{п2} = i_п \cdot G_п \, . \quad (4.19)$$

$$q_{п2} = 2578 \cdot 1{,}08 = 2784 \text{ кДж/с}$$

$$q_2 = q_{сг2} + q_{в2} + q_{п2} \quad (4.20)$$

$$q_2 = 477 + 11550 + 2784 = 14811 \text{ кДж/с}$$

$$t_{г2}^1 = 45 \, ^0\text{C}$$

$$d = \frac{0{,}804 P_{парц}}{(P - P_{парц})\rho_{гн}} = \frac{0{,}804 \cdot 9{,}8 \cdot 10^3}{(10^5 - 9{,}8 \cdot 10^3) \cdot 1{,}323} = 0{,}066$$

$$G_п = G_г \cdot d. \quad (4.21)$$

$$G_п = 21{,}68 \cdot 0{,}066 = 1{,}43 \text{ кг/с}$$

$$G_{В2} = G_{В1} - G_г \, d. \quad (4.22)$$

$$G_{В2} = 70 - 21{,}68 \cdot 0{,}066 = 68{,}57 \text{кг/с}$$

$$q_{сг2} = C_{рг} \cdot G_г \cdot t_{г2}. \quad (4.23)$$

$$q_{сг2} = 0{,}55 \cdot 21{,}68 \cdot 45 = 436 \text{ кДж/с}$$

$$q_{в2} = C_в \cdot G_{в2} \cdot t_{в2}\,. \quad (4.24)$$

$$q_{в2}=4{,}19 \cdot 68{,}57 \cdot 45 = 12929 \text{ кДж/с}$$

$$i_п = 2501+1{,}93\, t_{г2}. \quad (4.25)$$

$$i_п = 2501+1{,}93 \cdot 45 = 2588 \text{ кДж/кг}$$

$$q_{п2} = i_п\, G_п. \quad (4.26)$$

$$q_{п2}= 2588 \cdot 1{,}43 = 3700 \text{ кДж/с}$$

$$q_2 = q_{сг2}+q_{в2} + q_{п2}\,. \quad (4.27)$$

$$q_2=436 + 12929 + 3700 = 17065 \text{ кДж/с}$$

$$q_1 = 16846 \text{ кДж/с}$$

$$q_2 = 17065 \text{ кДж/с}$$

Разница составляет 1 %, то есть достаточно высокая точность расчета температуры выходящих газов из скруббера.

Фактическая плотность влажного газа на выходе из скруббера (4.28):

$$\rho_{г2} = \frac{2{,}17 \cdot 10^{-3}(1+d)(P_б \pm P_{г2})}{(0{,}804/\rho_{гн}+d)(273+t_{г2})}; \text{ кг/м}^3, \quad (4.28)$$

где $P_б = 10^5$ Па барометрическое давление, Па;

$P_{г2}$ =-1,8 кПа избыточное давление (разрежение) в газоходе на выходе из скруббера, Па.

$$\rho_{г2} = \frac{2{,}17 \cdot 10^{-3}(1+0{,}066)(10^5 - 1{,}8 \cdot 10^3)}{(0{,}804/1{,}323+0{,}066)(273+45)} = 1{,}063 кг/м^3$$

В нашем случае значением $P_{г2}$ из-за незначительного аэродинамического сопротивления участка газохода от скруббера до выхода из дымовой трубы можно пренебречь: $P_{г2}=0$.

Объемный расход газа на выходе из скруббера (4.29):

$$Q_{г2} = G_г(1+d)/\rho_{г2}\,, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.29)$$

$$Q_{г2}=21{,}68(1+0{,}066)/1{,}063=21{,}74 \text{ м}^3/\text{с}$$

4.2 Расчет скруббера

Задачей расчета скруббера является определение основных конструктивных размеров трубы Вентури и каплеуловителя.

Необходимая степень очистки запыленного газа (4.30):

$$\eta = (Z_1 – Z_2)/Z_1, \quad (4.30)$$

$$\eta = (160 – 0,1)/160 = 0,999375$$

где Z_1 – запыленность неочищенного газа, (г/м^3);

Z_2 – запыленность очищенного газа (при н.у.), (г/м^3).

Воспользуемся энергетическим методом расчета пылеуловителей. Зависимость между степенью очистки газа и затратами энергии выражается формулой (3.31).

$$\eta = 1 – \exp(-B \cdot K_ч^{\chi}), \quad (4.31)$$

где B, χ – безразмерные параметры;

$K_ч$ – суммарная энергия контакта фаз, Дж/м^3.

Подбираем параметры B и χ для заданного вида пыли, являющиеся функцией дисперсного состава, плотности, формы частицы и других свойств пыли.

Приближенные значения B и χ можно определить, пользуясь таблицей 4.2.

Таблица 4.2 – Приближенные значение параметров B и χ для заданного вида пыли

Вид пыли	B	X
Конверторная пыль	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663
Ваграночная пыль	$1,355 \cdot 10^{-2}$	0,6210
Пыль доменной печи	0,1925	0,3255
Пыль известковых печей	$6,5 \cdot 10^{-4}$	1,0529
Пыль мартеновских печей, работающих на кислородном дутье	$1,565 \cdot 10^{-6}$	1,619
Пыль мартеновских печей, работающих на воздушном дутье	$1,74 \cdot 10^{-6}$	1,594
Зола дымовых газов ТЭС	$4,34 \cdot 10^{-3}$	0,3

Суммарная энергия контакта, необходимая для достижения заданной степени очистки газа определяется из уравнения η, и равняется (Дж/м^3) (4.32):

$$K_ч = \exp\left(\frac{\ln^{-\ln(1-0,999375)}}{0,4663}\right) = \exp(9,24) = 10301 Дж/м^3$$

В скруббере Вентури суммарная энергия контакта расходуется на преодоление гидравлического сопротивления аппарата и распыливание орошающей воды.

$$К_ч = \Delta P_{скр} + P_{в1} (Q_{в1}/Q_{г1}), \quad (4.33)$$

где $\Delta P_{скр}$ – гидравлическое сопротивление скруббера, включающее в себя гидравлическое сопротивление трубы Вентури и каплеуловителя, Па;

$Q_{в1}$, $Q_{г1}$ – объемные расходы воды и газа на входе в скруббер, $м^3/с$;

$P_{в1}$ – давление распыливаемой жидкости, Па. Рассчитывается по формуле (4.34).

$$P_{в1} = P_{во} – \rho_в g H, \quad (4.34)$$

$$P_{в1} = 500000 – 1000 \cdot 9{,}8 \cdot 20 \approx 300000 Па = 0{,}3 МПа$$

где H – высота расположения орошающей форсунки над уровнем земли.

Принимаем h=20 м.

Решая уравнение для расчета $К_ч$, рассчитываем гидравлическое сопротивление скруббера (4.35):

$$\Delta P_{скр} = К_ч – P_{в1}(Q_{в1}/Q_{г1}), Па. \quad (4.35)$$

$$К_ч = 10301 Дж/м^3 = 10{,}3 кПа$$

$$\Delta P_{скр} = 10{,}3 – 300(0{,}07/55{,}6 = 9{,}92 кПа$$

Объемный расход воды определяется по формуле (4.36):

$$Q_{в1} = G_в/\rho_в , м^3/с, \quad (4.36)$$

$$Q_{в1.} = 55{,}6 м^3/с$$

Учитываем, что

$$\Delta P_{скр} = \Delta P_{ТВ} + \Delta P_{капл}, \quad (4.37)$$

где $\Delta P_{тв}$ – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Па;

$\Delta P_{капл}$ – гидравлическое сопротивление каплеуловителя, Па.

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури равно (4.38):

$$\Delta P_{ТВ} = \Delta P_{скр} – \Delta P_{капл}; \quad (4.38)$$

$$\Delta P_{капл} = \xi_{капл} \rho_{г2} (\omega^2_{апп}/2), \quad (4.39)$$

где $\xi_{капл}$ – коэффициент гидравлического сопротивления каплеуловителя (для каплеуловителя малогабаритного прямоточного циклона $\xi_{капл}$ принимаем равным 18);

$\omega_{апп}$ – скорость газа в аппарате (рекомендуется принимать в пределах 4,5 – 5,5 м/с).

$$\Delta P_{капл} = 18 \cdot 1{,}063 \ (5^2/2) = 239{,}2 \text{ Па} \approx 0{,}24 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{ТВ} = 9{,}92 - 0{,}24 = 9{,}68 \text{ кПа}$$

Находим скорость газа в горловине трубы Вентури, обеспечивающую ее гидравлическое сопротивление $\Delta P_{ТВ}$. Расчет ведется методом последовательного приближения.

Задаем значение скорости газа $\omega_г$ в пределах 50–170 м/с. Рассчитываем гидравлическое сопротивление трубы Вентури при заданной скорости (4.40):

$$\Delta P`_{ТВ} = \Delta P_Г + \Delta P_В, \text{ Па}, \qquad (4.40)$$

где $\Delta P_Г$ – доля гидравлического сопротивления, обусловленная движением газов, Па;

$\Delta P_В$ – доля гидравлического сопротивления, обусловленная введением орошающей жидкости (4.41):

$$\Delta P_Г = \xi_г \ \rho_{г2} \ (\omega_г^2/2), \text{ Па}, \qquad (4.41)$$

$$\Delta P_Г = 0{,}197 \cdot 1{,}063 \cdot (150^2/2) = 2356 \text{ Па}$$

где $\xi_г$ – коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури.

Доля гидравлического сопротивления, обусловленная введением орошающей жидкости, равна (4.42):

$$\zeta_г = 0{,}165 + 0{,}034 \frac{l_г}{d_г}\left(0{,}06 + 0{,}28 \frac{l_г}{d_г}\right) M, \qquad (4.42)$$

где M – число Маха;

$\frac{l_г}{d_г}$ – отношение длины к диаметру горловины трубы Вентури, задается в пределах от 1,5 до 3.

$$\xi_Г = 0{,}165 + 0{,}034 \cdot 2{,}4(0{,}06 + 0{,}28 \cdot 2{,}4) \cdot 0{,}54 = 0{,}197$$

$$M = \omega_г / \omega_{зв}, \qquad (4.43)$$

где $\omega_{зв}$ – скорость звука в газе, м/с.

$$M = 150/278 = 0{,}54$$

$$\omega_{зв} = \sqrt{2\frac{K}{K+1}}\sqrt{\frac{RT}{\mu}}, \quad (4.44)$$

где К – коэффициент адиабаты для воздуха (Па), К=1,4.

$$\omega_{зв} = \sqrt{\frac{2\cdot1,4}{1,4+1}}\sqrt{\frac{8314(273+65)}{42,4}} = 278 \text{ м/с}.$$

$$\Delta P_В = \xi_В \rho_В m \omega_г^2/2, \quad (4.45)$$

где m – удельный расход орошающей жидкости, который равен $m=Q_{в1}/Q_{г1}$, $m=0,07/55,6 = 0,00126$;

$\xi_в$ – коэффициент гидравлического сопротивления, обусловленного введением орошающей жидкости, $\xi_в=0,63\ \xi_г\ m^{-0,3}=0,63\cdot 0,197\cdot 0,00126^{-0,3} = 0,92$

$\rho_в$ – плотность орошающей жидкости, кг/м^3.

$$\Delta P_В = 0,92\cdot1000\cdot0,00126\cdot(150^2/2)=13041 \text{ Па}.$$

Если значение полученного гидравлического сопротивления трубы Вентури при заданной скорости совпадает с ранее найденным, то считаем, что скорость газа в горловине трубы Вентури задана правильно.

$$\Delta P`_{ТВ} = \Delta P_Г+\Delta P_В, \quad (4.46)$$

$$\Delta P`_{ТВ} = 2356 + 13041 = 15397 \text{ Па}$$

В нашем расчете $\Delta P'_{ТВ} > \Delta P_{ТВ}$, задаем новое значение $\omega_г' < \omega_г$ и повторяем расчет $\Delta P_{ТВ}$.

$$\omega_{г-}=100 \text{ м/с}$$

$$M = \omega_г/\omega_{зв}. \quad (4.47)$$

$$M=100/278 =0,36$$

$$\xi_Г = 0,165 + 0,034\cdot2,4(0,06+0,28\cdot2,4)\cdot0,36 = 0,186$$

$$\Delta P_Г = \xi_г\ \rho_{г2}\ (\omega_г^2/2), \quad (4.48)$$

$$\Delta P_Г = 0,186\cdot1,063\cdot(100^2/2)=989 \text{ Па}$$

$$\xi_в=0,63\ \xi_г\ m^{-0,3}, \quad (4.49)$$

$$\xi_в = 0{,}63 \cdot 0{,}186 \cdot 0{,}00126^{-0{,}3} = 0{,}87$$

$$\Delta P_В = 0{,}87 \cdot 1000 \cdot 0{,}00126 \cdot (100^2/2) = 5481 \text{ Па}$$

$$\omega_{г-} = 120 \text{ м/с}$$

$$M = \omega_г / \omega_{зв} = 120/278 = 0{,}43$$

$$\xi_Г = 0{,}165 + 0{,}034 \cdot 2{,}4(0{,}06 + 0{,}28 \cdot 2{,}4) \cdot 0{,}36 = 0{,}190$$

$$\Delta P_Г = \xi_г \ \rho_{г2} \ (\omega_г^2/2), \qquad (4.50)$$

$$\Delta P_Г = 0{,}19 \cdot 1{,}063 \cdot (120^2/2) = 1454 \text{Па}$$

$$\xi_в = 0{,}63 \ \xi_г \ m^{-0{,}3} \qquad (4.51)$$

$$\xi_в = 0{,}63 \cdot 0{,}19 \cdot 0{,}00126^{-0{,}3} = 0{,}887$$

$$\Delta P_В = 0{,}887 \cdot 1000 \cdot 0{,}00126 \cdot (120^2/2) = 8047 \text{ Па}$$

$$\Delta P'_{ТВ} = \Delta P_Г + \Delta P_В, \qquad (4.52)$$

$$\Delta P'_{ТВ} = 1454 + 8047 = 9501 \text{ Па}$$

$$\Delta P'_{ТВ} = 9501 \text{ Па} ; \ \Delta P_{ТВ} = 9680 \text{ Па}$$

Разница составляет 1,1 %

Скорость газа в горловине трубы Вентури $\omega_{г-}$=120 м/с, обеспечивает ее гидравлическое сопротивление $\Delta P_{ТВ}$.

4.3 Расчет конструктивных параметров трубы Вентури

Конструктивные параметры трубы Вентури можно определить, пользуясь расчетной схемой и следующими рекомендуемыми соотношениями:

Расчетная скорость газа на входе в конфузор 120 м/с.
Угол сужения конфузора 20^0.
Угол раскрытия диффузора 6^0.

Диаметр горловины трубы Вентури определяем по формуле (4.53)

$$d_г = \sqrt{\frac{4F_г}{\pi}}, \qquad (4.53)$$

где $F_г$ – площадь сечения горловины трубы Вентури, м^2;

dг – расчетный размер. Принимаем диаметр горловины dг ≈ 2 м – фактический размер dг = 1,9 м.

$$F_г = Q_{г2} / \omega_{г.}, \quad (4.54)$$

$$F_г = 21,74 / 120 = 0,18 \text{ м}^2 \approx 0,2 \text{ м}^2 – \text{расчетная}$$

$$F_г = 0,25 \text{ м}^2 – \text{фактическая}$$

Форма горловины, как и конфузора и диффузора имеют прямоугольную форму откуда размеры горловины a ×b = 0,14 × 1,8 м = 0,25 м^2, а конфузора и диффузора a × b = 1 × 2,5 м = 2,5 м^2 – у каждой трубы.

Диаметр конфузора и диаметр диффузора определяем по аналогичным формулам

$$l_к = \frac{d_к - d_г}{2\text{tg}\left(\frac{\alpha_к}{2}\right)}. \quad (4.55)$$

Длину конфузора находим по формуле (м)

Аналогично находим длину диффузора (м).

Длину горловины принимаем в диапазоне (0,15 – 3) $d_г$ =0,15·2=0,3 м

Длину трубы Вентури определяем как сумму длины конфузора, диффузора и горловины (4.56).

$$L_{ТВ} = l_к + l_г + l_д . \quad (4.56)$$

$$L_{ТВ} = 1 + 0,3 + 3,5 = 4,8 \text{ м}$$

4.4 Определение конструктивных параметров каплеуловителя

Конструктивные параметры каплеуловителя можно определить, пользуясь следующими соотношениями.

Диаметр каплеуловителя (4.57):

$$d_{капл} = \sqrt{\frac{4F_{капл}}{\pi}} = 2,5м \quad (4.57)$$

где $F_{капл}$ – площадь сечения каплеуловителя, м^2

$$F_{капл} = Q_{г2}/\omega_{апп} . \quad (4.58)$$

$$F_{капл} = 21,74/4,5 = 4,83 \text{ м}^2.$$

Высота каплеуловителя определяем по формуле (м)

$$h_{капл} = 5d_{капл} = 12,5 \text{ м}$$

Скорость газа во входном патрубке $\omega_{вх} = 4, 5$ м/с.
Отношение высоты к ширине входного патрубка а/в = 3, а = 1,5 м в = 0,5 м
Соотношение площадей входного и выходного патрубков

$$F_{вых}/F_{вх} = 1,8$$

Площадь входящего патрубка определяем по формуле (4.59)

$$F_{вх} = Q_{г2}/\omega_{вх}. \text{ м}^2. \quad (4.59)$$

$$F_{вх} = 21,74 / 150 = 0,145 \text{ м}^2.$$

$$d = 0,43 \text{ м}$$

$$F_{вх} = 1,8 F_{вых} \quad (4.60)$$

$$F_{вх} = 1,8 \cdot 0,145 = 0,26 \text{ м}^2$$

Площадь выходящего патрубка определяем из вышеприведенного соотношения площадей патрубков.
Диаметр выходящего патрубка определяем по формуле (4.70)

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4F_{вх}}{\pi}}, \text{м}. \quad (4.70)$$

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,26}{3,14}} = 0,58 \approx 0,6 \text{ м}.$$

Расстояние между выходным патрубком и верхней крышкой каплеуловителя (4.71):

$$c = 0,5 d_{капл}, \text{ м}. \quad (4.71)$$

$$c = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \text{ м}$$

5 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на предприятиях черной металлургии в современных условиях является одним из главных направлений выживания. Черная металлургия – одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Доля затрат на ТЭР в общих заводских затратах на производство продукции составляет более 30 %. Наиболее крупными потребителями топлива на производствах являются доменные и прокатные производства. К электроемким производствам относятся – электросталеплавильные производства, кислородные станции, а основные потребители теплоты – коксохимическое производство.

Высокая энергоемкость металлургических производств при постоянном росте цен на ТЭР ставит на одно из первых мест проблемы энергоресурсосбережения. Потенциал энергосбережения в этой отрасли достигает 30 %.

Особенность потенциала энергосбережения на металлургических предприятиях заключается в том, что на сегодняшний момент времени существует значительный моральный и физический износ основного энерготехнологического оборудования и наблюдается существенная неритмичность работы металлургических комбинатов, связанная с особенностью современного рынка продукции. Эти два фактора вместе с проблемой системы учета и контроля за расходом ТЭР, требующей коренного улучшения на всех уровнях производства, в основном определяют значительную часть нерациональных потерь ТЭР на производстве (до 70 % от потенциала энергосбережения).

Кроме этого, для металлургических заводов вопросы энергосбережения являются одним из основных направлений для снижения издержек производства и повышения конкурентоспособности их продукции на рынке.

Для решения этих задач необходимо иметь стратегию развития предприятия, неразрывно связанную с основными направлениями энерго- и ресурсосбережения.

Названные факторы являются основой формирования концептуальных положений энергосбережения на предприятиях черной металлургии, которые бы соответствовали современному состоянию отрасли в целом.

Осуществление комплекса организационно-технических мероприятий, наведение порядка (совершенствование управления) – это коренное улучшение системы учета и контроля расхода ТЭР на всех уровнях производства (более полный мониторинг энергопотребления), координация действий различных служб и производств, большая частота профилактических ремонтов оборудования, повышение уровня подготовки специалистов и т.п.

Реализация этих мер, как правило, малозатратна и окупается достаточно быстро, поэтому их осуществление является первоочередной задачей.

Ремонт, наладка и замена оборудования; в первую очередь следует осуществить работы по изоляции паропроводов, автоматизации процессов

сжигания топлива, модернизации и реконструкции основного энергоемкого оборудования, достижению номинальной производительности и т.п.

Одним из существенных резервов экономии топлива в промышленности является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые неизбежно возникают во многих энергоемких технологических процессах. Значительным резервом для энергосбережения в черной металлургии РФ является использование газов сталеплавильных конвертеров, потенциал оценивается в размере 1,25 млн. т у.т. в год.

В сталеплавильном производстве при выплавке стали значительное количество теплоты выходит из печи в виде физической теплоты уходящих газов, а также теплоты, выделяющейся при охлаждении элементов печи.

В качестве топливных вторичных энергетических ресурсов конвертерный газ используют при отводе газа без дожигания. В этом случае он представляет собой весьма ценное технологическое и энергетическое топливо. В большинстве случаев оказывается целесообразным использовать не только физическое тепло отходящего газа, но и утилизировать его как химическое сырье или топливо. Чтобы утилизировать конвертерный газ, как технологический, его отводят, охлаждают и очищают, в основном, в электрофильтрах.

Применение конвертерного газа в качестве топлива является одним из резервов экономии топливно-энергетических ресурсов.

Использование тепловых отходов в котле-охладителе конвертерных газов обеспечивает получение дополнительной продукции в виде энергетического или технологического пара, горячей воды, пароводяного теплоносителя и т.п., что приводит к экономии топлива на предприятии.

Использование конверторного газа после охлаждения и очистки в качестве топлива, для подогрева шихтовых материалов конверторного производства, в качестве восстановителя железорудного сырья для доменных печей, для выработки электроэнергии и пара позволит экономить топливно- энергетические ресурсы и первичные природные ресурсы.

Эффективное использование ВЭР позволяет замещать покупные ТЭР, что значительно снижает энергоемкость и себестоимость ПРОДУКЦИИ.

Максимальное использование ВЭР и внедрение энергосберегающих мероприятий решает одновременно экологические проблемы на предприятиях и позволяет уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу.

Согласно федеральному закону №261 от 23.11.2009г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» на предприятиях, тратящих на топливно - энергетические ресурсы более 10 млн. рублей в год должно быть проведено обязательное энергетическое обследование (энергоаудит).

Целью энергетического обследования (энергоаудита) энергоцеха является оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при выработке тепловой энергии, а также определение потенциала энергосбережения и способов его реализации.

Основными задачами энергетического обследования энергоцеха являются определение фактических показателей работы оборудования, сравнение их с

нормированными значениями, выявление и анализ причин их несоответствия и путей устранения.

Энергетическое обследование энергоцеха состоит из нескольких, последовательно реализуемых этапов:

- сбор документальной информации;
- инструментальное обследование;
- обработка результатов обследования и их анализ;
- разработка энергосберегающих рекомендаций и оформление отчёта.

Сбор документальной информации необходимой для определения основных характеристик объекта исследования; сведения об оборудовании котельной; динамики потребления энергоносителей; сведения о потребителях тепловой энергии и т.п. На этом этапе также определяется объём и точки замеров тепло- и электроэнергии.

Этап инструментального обследования необходим для восполнения недостающей информации по количественным и качественным характеристикам потребления энергоресурсов и позволяет оценить эффективность энергоиспользования.

При проведении измерений должны максимально использоваться уже существующие узлы учёта, а при их отсутствии переносные специализированные приборы.

При инструментальном исследовании энергоцеха сотрудниками ККЦ используются следующие измерительные системы:

- анализатор продуктов горения «КМ 9006 Quintox»;
- цифровой измеритель температуры «КМ 44kit»;
- термометр инфракрасный бесконтактный «КМ 801/1501»;
- трёхфазный анализатор электрогютреблеиия «AR 5M»;
- ультразвуковой расходомер жидкости «Portaflow-300»;
- ультразвуковой толщиномер «SONAGAGE».

Набор вышеперечисленных приборов позволяет выполнить практически все необходимые замеры при проведении энергоаудита.

На основании экспериментальных данных, полученных в результате измерений на котлоагрегатах, тепловой сети, электрической сети, теплообменного оборудования, производится расчёт показателей, характеризующих режим работы энергоцеха.

Вся информация, полученная из документов или путём инструментального обследования, является исходным материалом для анализа эффективности энергоиспользования, которая проводится в следующем порядке:

- анализируется динамика расхода энергоносителей и финансовых затрат на них за пять лет, предшествующих энергетическому обследованию, и определению структуры потребления энергоносителей в процентном соотношении;
- определяются потери энергоносителей в различных элементах систем энергоснабжения;

– строятся фактические балансы по всем видам энергоносителей.

При разработке мероприятий необходимо:

– определить техническую суть предполагаемого усовершенствования и принципы получения экономии;

– рассчитать потенциальную годовую экономию в физическом и денежном выражении;

– определить состав оборудования, необходимого для реализации рекомендации, его примерную стоимость, стоимость доставки, установки и ввода в эксплуатацию;

– оценить общий экономический эффект предполагаемых рекомендаций с учётом вышеперечисленных пунктов.

После оценки экономической эффективности все рекомендации классифицируются по трём критериям:

– беззатратные и низкозатратныеосуществляемые в порядке текущей деятельности цеха;

– среднезатратные – осуществляемые, как правило, за счёт собственных средств цеха;

– высокозатратные – требующие дополнительных инвестиций.

Существует ряд общих рекомендаций по энергосбережению в энергоцехах к которым относятся:

– назначение ответственных за контролем расходов энергоносителей и проведение мероприятий по энергосбережению;

– совершенствование порядка работы и оптимизация работы систем освещения, вентиляции, водоснабжения, теплоснабжения;

– соблюдение правил эксплуатации и обслуживания систем энергоиспользования и отдельных энергоустановок, введение графиков включения и отключения систем освещения, вентиляции, тепловых завес и т.д.;

– организация работ по Эксплуатации светильников, их чистке, своевременному ремонту оконных рам, оклейка окон, ремонт санузлов и т.п.;

– ведение разъяснительной работы с рабочими по вопросам энергосбережения;

– проведение периодических энергетических обследований;

– ежеквартальная проверка и корректировка договоров на энерго- и ресурсопотребление с энергосберегающими организациями.

В таблице 5.1 приведены энергосберегающие мероприятия и их оценка эффективности.

Таблица 5.1 – Энергосберегающие мероприятия

Мероприятия	Оценка эффективности мероприятий
1	2
Поддержание оптимального значения коэффициента избытка воздуха.	1–3%

Продолжение таблицы 5.1

1	2
Составление руководств и режимных карт эксплуатации, управления и обслуживания оборудования и переодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением.	5–10% от потребляемого топлива
Установка дополнительных секций для увеличения площади нагрева.	5–6%
Применение за котлоагрегатом установок глубокой утилизации тепла, установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов.	до 15%
Повышение температуры питательной воды на входе в котел.	2% на каждые 10ºС
Подогрев питательной воды	1% на каждые 6ºС
Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла.	до 10%
Использование тепловыделений от котлов путем забора теплового воздуха из верхней зоны котла 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 не должна превышать $55\,^{0}$С.	10%
Установка систем учета расходов топлива, электроэнергии, воды и отпуска тепла.	до 20%
Автоматизация управления работой котла	до 30%
Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов	до 30% от потребляемой ими энергии

6 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Существующее состояние атмосферного воздуха района расположения ПАО «ЧМК».

Охраной окружающей среды называется комплекс мер, направленных на предупреждение отрицательного влияния человеческой деятельности на природу, обеспечение благоприятных и безопасных условий жизнедеятельности человека.

С каждым годом наблюдается значительное ухудшение экологической обстановки в нашей стране. В первую очередь это связано с увеличением мощностей промышленных объектов, концентрацией жилых и общественных зданий.

Практически любые мероприятия, направленные на энергосбережение, способствуют снижению поступления в атмосферу загрязняющих веществ.

Защита атмосферы от загрязнений имеет не только технико-экономическое, но и большое социальное значение.

Сернистый ангидрид даже в сравнительно малых концентрациях раздражающе действует на слизистые оболочки дыхательных путей человека и животных. В тоже время он является ядом для многих растений. Оксид углерода и диоксид азота вступают в соединения с гемоглобином крови, и при больших концентрациях возникает угроза жизни человека.

Наличие обычных для промышленных городов аэрозолей диоксида азота в сочетании с повышенной влажностью и запылённостью приводит к снижению видимости, затрудняет проникновение ультрафиолетовых лучей и снижает число солнечных дней. Выброс высокотемпературных газов и углекислого газа увеличивает «парниковый эффект».

Контроль за состоянием воздушного бассейна в городе Челябинске осуществляется «Челябинским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ГУ «Челябинский ЦГМС») на стационарных постах контроля атмосферного воздуха.

Ниже в таблице 6.1 приведены значения фоновых концентраций загрязняющих веществ на двух постах наблюдений.

Пост №17 (ул. Румянцева, медсанчасть ПАО «ЧМК»)

Таблица 6.1 – Фоновые концентрации, мг/м^3

Вредное вещество	ПДК, мг/м^3	Скорость ветра, м/с				
		0-2	3-13			
		Направление ветра				
		любое	С	В	Ю	З
1	2	3	4	5	6	7
Взвешенные вещества	0,5	0,326	0,213	0,299	0,297	0,243
Серы диоксид	0,5	0,021	0,014	0,021	0,021	0,015
Углерода оксид	5,0	3,9	2,9	3,4	3,2	2,9
Азота диоксид	0,085	0,072	0,062	0,075	0,064	0,051

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6	7
Фенол	0,01	0,0033	0,0035	0,0047	0,0034	0,0027
Марганец и его соединения	0,01	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029
Свинец	0,001	0,00032	0,00032	0,00032	0,00032	0,00032
Хром	0,0015	0,00012	0,00012	0,00012	0,00012	0,00012
Никель	0,001	0,00005	; 0,00005	0,00005	0,00005	0,00005
Железо	0,04	0,00558	0,00558	0,00558	0,00558	0,00558
Цинк	0,05	0,00091	0,00091	0,00091	0,00091	0,00091

Анализ значений фоновой концентрации на посту № 17 показывает, что по всем вредным веществам превышений санитарных норм не наблюдается.

Газоочистное оборудование предназначено для очистки отходящих газов от пыли и окончательного охлаждения их перед дымососом.

Охладитель ОКГ-160У-2 рассчитан на режим с полным дожиганием СО.

Дожигают СО в подъёмном газоходе при помощи кислорода воздуха, подсасываемого через зазор между горловиной конвертера и защитным экраном кессона. В подъёмном газоходе, представляющем собой радиационную часть котла-охладителя, происходит отдача физического тепла горячих газов и химического тепла, выделяемого при сгорании СО. Из подъёмного газохода газы попадают в опускной газоход, где охлаждаются до 650 °С. Дальше газы попадают в газоочистку, где охлаждаются до 55 °С водой.

Затем газы попадают в трубы-распылители Вентури, в которых пыль укрупняется и смачивается водой. Далее газы проходят через водоотделяющую решётку и каплеотделитель, откуда дымососом выбрасываются в атмосферу.

В итоге при продувке стали в конвертере образуется конвертерный газ который состоит из: С0=90 % и CO_2=10 %. Объемный расход выбрасываемых уходящих газов 54,15 $м^3/с$ при температуре 1700 °С имеют скорость газа 15,8 м/с на выходе из котла, расход газа 18,05 $м^3/с$ и максимальную концентрацию пыли 0,433 г/с (по документации).

Так как котёл с полным дожиганием СО расчёт будет производится только на выбросы пыли.

Расчёт рассеивания выбросов ведётся в соответствии с СН-369-74, согласно которым, минимальная высота трубы определяется из условия, что максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое $С_м$ не превосходит максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе.

$$С_М/ПДК \leq 1$$

За газоочистным оборудованием установлена дымовая труба высотой Н=60 м, диаметр устья $Д_0$=2,5 м. Для этой высоты проведём поверочный расчёт, который заключается в определении максимальной концентрации пыли в приземном слое $С_м$ и сравнении её с предельно допустимой.

Максимальная концентрация пыли определяется по формуле (6.1):

$$C_м = \frac{A^{\times}M^{\times}F^{\times}m^{\times}n}{H^{2\times}\sqrt[3]{V}^{\times}\sqrt[3]{\Delta T}}, \quad (6.1)$$

где А – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (характер изменения температуры с высотой) для неблагоприятных метеорологических условий. А = 160;

М – суммарное количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. F = 2;

ΔТ – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой самого жаркого месяца;

$t_{выб}$ – температура выбрасываемых газов. $t_{выб}$ =55 °С;

$t_в$ – максимальная температура наружного воздуха самого жаркого месяца года. $t_в$ = 24 °С;

V – объемный расход выбрасываемых уходящих газов. V = 54,15 м^3/с;

Н – высота дымовой трубы. Н = 60 м.

$$\Delta T = 55 - 24 = 31 \text{ °C}$$

.

Значения коэффициентов m и n определяются по вспомогательным величинам. m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса.

Скорость выхода газов из устья трубы (6.2):

$$w_0 = \frac{4^{\times}V}{\pi^{\times}D_0^2}, \quad (6.2)$$

где D_0 = 2,5 м – диаметр устья дымовой трубы.

$$w_0 = \frac{4^{\times}54,15}{3,14^{\times}2,5^2} = 11,03$$

Определим коэффициенты m и n по вспомогательным величинам (6.3):

$$f = \frac{10^{3\times}w^{2\times}D_0}{H^{2\times}\Delta T}. \quad (6.3)$$

$$f = \frac{10^{3\times}11,03^{2\times}2,5}{60^{2\times}31} = 2,72.$$

$f < 100$, тогда (6.4):

$$m = \frac{1}{0,67+0,1\sqrt{f}+0,34\sqrt[3]{f}}. \quad (6.4)$$

$$m = \frac{1}{0{,}67+0{,}1\sqrt{2{,}72}+0{,}34\sqrt[3]{2{,}72}} = 0{,}765.$$

Значение коэффициента n зависит от параметра $v_м$ (6.5):

$$v_м = 0{,}65^{\times}\sqrt[3]{\frac{V^{\times}\Delta T}{H}} \text{м/с.} \quad (6.5)$$

$$v_м = 0{,}65^{\times}\sqrt[3]{\frac{54{,}15^{\times}31}{60}} = 1{,}97.$$

$$v_м < 2.$$

При $0{,}5 < v_м < 2$

$$n = 3 - \sqrt{(\vartheta_m - 0{,}3)(4{,}36 - \vartheta_m)}. \quad (6.6)$$

$$n = 3 - \sqrt{(1{,}97 - 0{,}3)(4{,}36 - 1{,}97)} = 1{,}003.$$

Определим максимальную концентрацию пыли на выходе из дымовой трубы. М = 0,433 г/с (по документации).

$$C_{пыли} = \frac{160^{\times}0{,}433^{\times}2^{\times}0{,}765^{\times}1{,}003}{60^{2\times}\sqrt[3]{54{,}15}^{\times}\sqrt[3]{31}} = 0{,}0024 \text{ мг/м}^3.$$

С учетом фоновой концентрации:

$$C_{пыли}=0{,}326+0{,}0024=0{,}328 \text{ мг/м}^3.$$

$ПДК_{пыль}$=0,5 мг/м^3, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

$$\frac{C_{пыль}}{ПДК_{пыль}} \leq 1. \quad (6.7)$$

$$\frac{0{,}328}{0{,}5} = 0{,}65 \leq 1.$$

Так как полученные концентрации не превышают предельно допустимые, то установленная за газоочистным оборудованием дымовая труба высотой H = 60 м обеспечивает рассеивание вредных веществ.

Определим расстояние по оси факела, на котором концентрация вредным веществ земной поверхности будет максимальна:

при F≥2 (6.8):

$$x_м = \frac{5-F}{4} dH, \text{ м.} \quad (6.8)$$

при $v_м \leq 2$ (6.9):

$$d = 4{,}25^{\times}\sqrt{v_м}(1 + 0{,}28^{\times}\sqrt[3]{f}). \quad (6.9)$$

$$d = 4{,}25^{\times}\sqrt{1{,}97}\left(1 + 0{,}28^{\times}\sqrt[3]{2{,}72}\right) = 4{,}14;$$

$$x_м = \frac{5-2}{4}{}^{\times}4{,}14^{\times}60 = 186 \text{ м.}$$

186 м – это расстояние по оси факела, на котором концентрация вредных веществ земной поверхности будем максимальна.

7 СИСТЕМА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ

Общие сведения

Контроль параметров газоочистки и нагнетателя, обеспечивающих надежную и безопасную их эксплуатацию, производится соответствующими контрольно-измерительными приборами, блокировками, сигнализацией и системами автоматического управления.

Системы регулирования.

На газоотводящем тракте предусмотрено дистанционное и автоматическое регулирование расхода отходящих конвертерных газов и числа оборотов ротора нагнетателя.

Регулирование расхода конвертерных газов осуществляется регулированием положения створок труб Вентури и производится с пульта оператора котлов. Расход газа лимитируется количеством кислородного дутья с учетом необходимости дожигания газов выходящих из горловины конвертера с коэффициентом избытка воздуха не менее 1,2. Ориентировочно на 1м^3 вдуваемого кислорода выход конвертерного газа за котлом-охладителем составит 5,8–6,0 нм^3. В зависимости от интенсивности продувки оператор конвертера регулирует расход газа.

Регулировка расходов осветленной оборотной воды по аппаратам газоочистки осуществляется вручную по месту либо дистанционно с пульта оператора котлов.

Блокировки

Системой управления процессом АСУТП предусмотрены 3 вида блокировок: прерывание текущей продувки, запрет на начало следующей продувки, сигнал на отключение главного электродвигателя.

Запрет сигнала «Тракт готов к работе» во все периоды и запрет на начало следующей продувки:

- расход оборотной воды на скруббер ≤ 125 м^3/час;
- расход осветленной воды на трубу Вентури ≤175 м^3/час;
- аварийный верхний уровень шламовой воды в бункере скруббера;
- аварийный верхний уровень шламовой воды в бункере трубы Вентури.

Сигнал на отключение главного электродвигателя:

- температура подшипника двигателя опорного ≥70°С;
- температура подшипника двигателя опорно-упорного ≥70°С;
- температура подшипника нагнетателя опорного ≥70°С;
- температура подшипника нагнетателя опорно-упорного ≥70°С;
- давление масла после пускового масляного насоса ≤ 2 кПа;
- давление масла после главного масляного насоса ≤ 2 кПа;
- уровень вибрации опорного подшипника главного электродвигателя ≥11 мм/с;
- уровень вибрации опорно-упорного подшипника главного электродвигателя ≥11 мм/с;

– уровень вибрации опорного подшипника нагнетателя ≥11 мм/с;
– уровень вибрации опорно-упорного подшипника нагнетателя ≥11 мм/с.

Световая и звуковая сигнализация:

– давление осветленной воды в общем коллекторе к газоочистке ≤ 0,35 МПа;
– давление осветленной воды на скруббер ≤ 0,2 МПа;
– давление осветленной воды на трубу Вентури ≤ 0,2 МПа;
– расход осветленной воды на скруббер ≤ 188 $м^3$/час;
– расход осветленный воды на трубу Вентури ≤ 263 $м^3$/час;
– предупредительный уровень шламовой воды в гидрозатворе скруббера;
– предупредительный уровень шламовой воды в гидрозатворе трубы Вентури;
– аварийный верхний уровень шламовой воды в бункере скруббера;
– аварийный нижний уровень шламовой воды в бункере скруббера 470 мм;
– аварийный верхний уровень шламовой воды в бункере трубы Вентури;
– аварийный нижний уровень шламовой воды в бункере трубы Вентури 610 мм;
– разрежение конвертерного газа на всасе нагнетателя на 5 кПа меньше нормы;
– температура подшипника двигателя опорного ≥65°С;
– температура подшипника двигателя опорно-упорного ≥65°С;
– температура подшипника нагнетателя опорного ≥65°С;
– температура подшипника нагнетателя опорно-упорного ≥65°С;
– температура обмоток двигателя ≥100°С;
– давление масла после пускового масляного насоса ≤ 25 кПа;
– давление масла после главного масляного насоса ≤ 25 кПа;
– давление воды на подводе к маслоохладителям ≤ 0,1 МПа;
– давление воды после маслоохладителей ≤ 0,1 МПа;
– содержание СО в помещении эксгаустерного отделения ≥20 $мг/м^3$;
– уровень вибрации опорного подшипника электродвигателя ≥ 7,1 мм/с;
– уровень вибрации опорно-упорного подшипника электродвигателя ≥ 7,1 мм/с;
– уровень вибрации опорного подшипника нагнетателя ≥ 7,1 мм/с;
– уровень вибрации опорно-упорного подшипника нагнетателя ≥ 7,1 мм/с;
– наличие потока охлаждающей воды после маслоохладителей ≤ 85 л/мин;
– сигнализация крайних положений дросселя.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В выпускной квалификационной работе рассматривается кислородно-конвертерный цех реконструкция газоочистного оборудования конвертера №1.

Возможными причинами травмирования работника могут быть:

– вращающие и движущиеся механизмы (дымососы и вентиляторы), т.е. отсутствие кожухов вращающихся и двигающихся частей;

– электрический ток (кабели питающих и распределительных сетей);

– повреждения, полученные при падениях, т.е. отсутствие ограждений, поручней и лестниц;

– травмы, полученные из-за падающих с высоты предметов;

– повышенная температура поверхностей оборудования (нагретые металлические конструкции, нагретые элементы оборудования).

Возможными аварийными ситуациями могут стать:

– повышение уровня шламовой воды в бункерах скруббера или трубы Вентури выше или ниже нормы;

– разгерметизация трубопроводов при повышенном давлении;

– неправильная эксплуатация газоочистного оборудования или неверный расчет, который может принести к нарушению плотности газоотводящего тракта;

– расход воды на скруббер или трубы Вентури ниже нормы;

– забит фильтр;

– гидроудары в трубопроводах.

Безопасность производственных процессов и оборудования

Котел-охладитель ОКГ-160У-2 является сложным технологическим объектом, элементы которого, в процессе эксплуатации, испытывают значительные нагрузки давлением и температурой. Обычно авария котла связана со значительными материальными, а порой и человеческими, потерями. Исходя из этого, защита котла, при возникновении аварийных режимов является одной из основных задач комплексной автоматизации котельных установок.

Схема автоматики безопасности предусматривает:

– автоматический пуск и остановку котла;

– трехпозиционное регулирование подачи топлива в соответствии с подачей воздуха;

– непрерывную продувку котловой воды;

– световую сигнализацию о нормальной работе котла.

– Для газовых котлов давление свыше 0,7 кгс/см^2 необходимо предусматривать автоматическое прекращение подачи топлива в случае:

– понижения уровня воды в барабане котла;

– повышения уровня воды в барабане котла;

– повышения давления пара в барабане котла; повышения и понижения давления газообразного топлива (понижение давления жидкого топлива);

– уменьшение разрежения в топке;

– понижение давления воздуха перед горелкой;
– погасание факела;
– отключение тягодутьевых устройств.

Функции защиты котла выполняет схема автоматики безопасности, которая должна обеспечивать заданную последовательность операций при растопке котла и отключении его при возникновении аварийных режимом. Перед пуском в работу котла его топка и газоходы должны быть провентилированы в течение 10–15 минут.

Схема автоматики безопасности должна быть защищена от воздействия (отключение, изменение регулировки и т.п.), лиц, несвязанных с её обслуживанием и ремонтом, и иметь приспособление для проверки исправности их действия.

Схема автоматики безопасности собирается на основе электромагнитных реле. В пользу реле говорит достаточно высокая надежность релейных схем, их ремонтопригодность и нечувствительность к внешним электромамагнитным полям.

На котле-охладителе ОКГ-160У-2 предусмотрена автоматика регулирования:
– процесса горения;
– питанием котла водой;
– давлением пара в котле;
– защитно-банальным устройством горелочного устройства.

Оснащению контрольно-измерительными приборами:
– температуры и давления питательной воды перед котлом;
– давления пара в воде;
– температуры уходящих газов из котла;
– уровня воды в котле (два прибора прямого действия);
– давления воздуха перед горелкой.

Оснащение сигнализацией. На котлах предусмотрена светозвуковая сигнализация, срабатывающая при:

– остановке котла (при срабатывании защиты, с указанием причины срабатывания);

– повышении или понижении уровня воды в котле сверх предельных значений;
– понижении давления газа ниже допустимого;
– повышении давления пара.

Оснащение арматурой:
– запорным устройством на выходе пара из котла;
– обратным клапаном на входе питательной воды в котёл;
– запорное устройство на выходе питательной воды в котёл;
– запорное устройство на линии дренажа воды из котла;
– запорное устройство на линии дренажа воды из сепаратора;
– регулирующее устройство на линии продувки из сепаратора.

Производственная инструкция по обслуживанию котлов и вспомогательного оборудования должна быть вывешена на рабочем месте оператора котельной. Персонал должен чётко знать и выполнять все требования, изложенные в производственной инструкции.

Обслуживание оборудования может быть поручено лицам не моложе 18 лет, прошедшим медицинское освидетельствование, обученным по сопутствующей программе и имеющим удостоверение квалификационной комиссии на право обслуживания котлов. Повторная проверка знаний этих лиц должна производиться комиссией предприятия.

При вступлении на дежурство персонал обязан, ознакомится с записями в оперативном журнале, и проверить исправность оборудования, а также исправность аварийного освещения.

Приём и сдача смены должны оформляться старшим оператором по смене записью в оперативном журнале с указанием результатов проверки оборудования, водоуказательных приборов, сигнализаторов предельных уровней воды, манометров, предохранительных клапанов, питательных приборов и средств автоматики.

Открывание люков и лючков, а также ремонт элементов оборудования разрешается производить только при полном отсутствии давления. При работе в газоходах для освещения должно напряжение не выше 12 В.

При обнаружении признаков загазованности в газоходе включение и выключение электроосвещения и электрооборудования, выполненного не во взрывозащищенном исполнении, а также пользование открытым огнем запрещается.

Для знаков безопасности поверхностей конструкций и элементов объединения применяют сигнальные цвета. Устанавливают следующие цвета – сигнальные знаки безопасности: красный, синий, желтый, зеленый.

На пульте управления 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 предписывающих знаков. Зелёный цвет для световых табло, сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы котлов.

Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных, технических мероприятий, а также средств зашиты от поражений человека электрическим током.

Основными потребителями электроэнергии являются электродвигатели дымососов, вентиляторов, задвижки, оборудованные электродвигателями.

Возможность поражения электрическим током возникает в результате случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, а также в результате появления напряжение на металлических нетоковедущих

частях оборудования (корпусах, кожуках, ограждениях) вследствие повреждений изоляции.

Согласно действующего нормативного документа ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов» предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов не должны превышать следующих значений, приведенных в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов

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

По электробезопасности помещение котельной относится ко 2 классу – помещения с повышенной опасностью (повышенная температура воздуха).

Индивидуальные электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные. Изоляция основных электрозащитных средств выдерживает рабочее напряжение, и поэтому с их помощью можно работать под напряжением, на которое они рассчитаны (оно указано в штампе на защитном средстве). Дополнительные средства сами по себе не обеспечивают защиты от поражения током и применяются в сочетании с основными средствами защиты. В электроустановках напряжением до 1000 В основными электрозащитными средствами является применение инструмента с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, указатели напряжения, а дополнительными – диэлектрические галоши и коврики, изолирующие подставки.

Электрозащитные средства индивидуальной защиты:

– инструмент и приспособления для работы под напряжением (изолирующие штанги для оперативной работы, инструмент с изолирующими рукоятками);

– приборы и приспособления для обнаружения напряжения и измерений под напряжением (указатели напряжения и т.п.);

– средства изоляции человека (диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики);

– предохраняющие средства (временные ограждения, предупредительные плакаты).

Напряжения прикосновения и токи при аварийных режимах работы электроустановок напряжением до 1000В и частотой 50 Гц укатаны в таблице 8.2.

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

Продолжительность воздействия, сек	Нормируемая величина	
	Напряжение, В	Сила тока, мА
1	2	3
0,01–0,08	220	220
0,1	200	200

Продолжение таблицы 8.2

1	2	3
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 защиты персонала от попадания под опасное для жизни напряжение при повреждении изоляции выполняется защитное заземление. В качестве проводников используются стальные трубы и нулевые проводники электропроводки, имеющие надёжное соединение с нейтралью трансформаторов посредством нулевых жил питающих кабелей.

Заземлению подлежат корпуса электрических машин, приводы электрических аппаратов, каркасы распределительных щитов, металлические кабельные конструкции, стальные трубы электропроводок, лотки, короба, тросы.

Пожарная безопасность

Так как технологический процесс связан со сжиганием топлива, то возможный источник пожара в котельной – это утечка топлива из газопровода и образование взрывоопасных газо-воздушных смесей.

Согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. №123-ФЗ, кислородно-конверторный цех по пожарной безопасности относится к категории «Г»; степень огнестойкости здания котельной – II; по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы – С2.

Здание кислородно-конверторного цеха по классу функциональной пожарной опасности в зависимости от назначения, возраста, физического состояния и количества людей относится к категории Ф5.1 – производственное здание, сооружение, производственное и лабораторное помещение, мастерские.

Классификация пожаров производится в зависимости от вида горящего вещества и материалов. В кислородно-конвертерном цехе ими являются конвертерный газ и оборудование под напряжением. Соответственно, устанавливаются классы пожара «С» и «Е».

Категория «Г» означает негорючие вещества и материалы в горячем, раскалённом или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, горючие газы и жидкости, которые сжигаются в качестве топлива.

Источниками пожара могут быть утечка и скопление газа в котельной; неисправности электрооборудования, осветительных приборов; выход из строя приборов автоматики. При нарушении целостности газопроводов уходящих газов,

или при разрушении обшивки и обмуровки котла, уходящие газы, имеющие высокую температуру, могут послужить причиной пожара.

Применяемые меры по ограничению масштабов пожаров в соответствие с ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования»:

– 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.

Непременным требованием безопасности является герметичность соединений газопроводов. Из-за неправильного ведения топочного режима, в топке и газоходах котла могут происходить взрывы и хлопки большой силы. Для защиты от взрывов топка и газоходы оборудованы взрывными клапанами.

Для предупреждения образования взрывоопасных газовоздушных смесей большое значение имеет контроль воздушной среды производственного 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 тушения пожаров применяют воду, водную эмульсию и химическую пену. К водяным установкам пожаротушения относятся спринклерные и дренчерные системы производительностью 25–50 л/с, и с давлением воды 0,8–1 МПА. В качестве датчиков возникновения пожара используются комбинированные устройства (извещатели), которые устанавливаются из расчета один датчик на 50–100м^2 поверхности пола. Пол в кислородно- конвертерном цехе выполнен огнестойкий (бетон), ровный и не скользкий.

Для борьбы с пожаром кислородно-конвертерный цех оборудован противопожарным инвентарем по существующим нормам противопожарной охраны.

Для тушения пожаров предусмотрены следующие системы:

– система водяного пожаротушения, закольцованная по залу;

– местные пожарные щиты, укомплектованные пожарным инвентарём.

В состав этого инвентаря входят:

– пенные химические огнетушители;

– порошковые огнетушители;

– гидранты;

– ящики с песком;

– лопаты;

– ведра.

Весь инвентарь расположен в доступном месте. Для быстрого вызова пожарной службы в котельной установленные извещатели и телефон.

В здании предусмотрено четыре выхода с разных сторон. Двери в помещении открываются наружу.

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности, являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией;

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности;
- применением пропитки конструкций объектов антипиренами и нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов);
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организацией с помощью технических средств, включая автоматическое, своевременного оповещения и эвакуации людей.

9 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Экономическо-управленческий раздел работы содержит две части: технико-экономическое обоснование реконструкции высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 ПАО «ЧМК» и создание плана реализации проекта.

9.1 Технико-экономический расчет

Технико-экономическим обоснованием реконструкции эффективного газоочистного оборудования конвертора №1 ПАО «ЧМК» является расчет срока окупаемости и сравнение его с нормативным сроком – 6,7 лет.

9.1.1 Расчет капитальных затрат на реконструкцию

Смета капитальных затрат на реконструкцию недостаточно эффективного газоочистного оборудования конвертора № 1 ПАО «ЧМК» определяется по прейскуранту поставщиков и изготовителей оборудования и сводится в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Смета капитальных затрат

Наименование затрат	Количество	Стоимость единицы, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Разработка проектной документации	1	500,00	500,00
Демонтажные работы	1	850,00	850,00
Монтажные работы	1	1 650,00	1 650,00
Транспортные расходы	1	320,00	320,00
Оборудование (комплект котла-охладителя ОКГ-160У-2 с автоматикой)	1	5 500,00	5 500,00
Пусконаладочные работы	1	1 100,00	1 100,00
ИТОГО:			9 920,00

Общие капитальные вложения в реконструкцию участка тепловой сети (9.1):

$$K = K_{пр} + K_{др} + K_{смр} + K_{ту} + K_{об} + K_{пнр} \quad (9.1)$$

где $К_{пр}$ – стоимость разработки проектной документации, тыс. руб. ($К_{пнр}$ = 500,00 тыс.руб. – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]);

$К_{др}$ – стоимость демонтажных работ, тыс. руб. ($К_{д}$ = 850,00 тыс.руб. – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]);

$К_{смр}$ – стоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб. ($К_{мр}$ = 1 650,00 тыс.руб. – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]).

$К_{ту}$ – стоимость транспортных услуг, тыс. руб. ($К_{тр}$ = 320,00 тыс.руб. – по данным транспортной компании ООО «КИТ» [49]);

$К_{об}$ – стоимость комплекта оборудования и материалов, тыс. руб. ($К_{пр}$ = 5 500,00 тыс.руб. – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]);

$К_{пнр}$ – стоимость пусконаладочных работ, тыс. руб. ($К_{пнр}$ = 1 100,00 тыс.руб. – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]);

$$К = 500,00 + 850,00 + 1650,00 + 320,00 + 5500,00 + 1100,00 = 9920,00 \text{ тыс.руб.}$$

9.1.2 Расчет текущих затрат на обслуживание

Проведем расчет текущих затрат на энергетическое обслуживание высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 до реконструкции.

Годовые затраты на природный газ отсутствуют, так как оборудование относится к газоочистному и использует вторичные-энергетические ресурсы.

Годовые затраты на воду (9.2):

$$И_в = Ц_в \cdot G_{год}, \quad (9.2)$$

где $Ц_в$ – тариф на воду, руб./м^3 ($Ц_т$ = 29,60 руб./м^3 – по данным МУПП «ПОВВ»[50]);

$G_{год}$ – годовой расход воды, м^3/год, по паспортным характеристикам котла.

$$И_Т = 29,60 \cdot 2357 \cdot 10^3 = 69767,20 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовые затраты на электроэнергию (9.3):

$$И_э = Ц_э \cdot N_{год}, \quad (9.3)$$

где Ц' – тариф на элнетроэнергию, руб./кВт·ч ($Ц_э$ = 5,20 руб./ кВт·ч – по данным ООО «УралЭнергоСбыт» [51]);

$N_{год}$ – годовой расход электроэнергии, по паспортным характеристикам котла.

$$И_э = 5,20 \cdot 357850 = 1860,82 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовой фонд основной и дополнительной зарплаты всех категорий персонала обслуживания котла составит 4800,00 тыс. руб./год – по данным бухгалтерии ПАО «ЧМК».

Отчисления на социальные нужды (9.4):

$$И_{соц} = Н_С \cdot И_з, \quad (9.4)$$

где $Н_С$ – процент отчислений на социальные нужды, % ($Н_С$ =34 %).

$И_з$ – годовой фонд основной и дополнительной зарплаты всех категорий

персонала обслуживания котла, тыс.руб./год.

$$И_{соц} = 0,34 \cdot 4800,00 = 1632,00 \text{ тыс.руб./год}$$

Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт (9.5):

$$И_{э} = 0,05 \cdot К + 0,1 \cdot К, \quad (9.5)$$

где 0,05 – 5% на содержание и эксплуатацию энергооборудования;

0,1 – 10% на амортизацию энергооборудования;

К – общая балансовая стоимость комплекса котла: 4 600, тыс.руб. (по данным бухгалтерии ПАО «ЧМК»).

$$И_{э} = 0,05 \cdot 4600,00 + 0,1 \cdot 4600,00 = 690,00 \text{ тыс.руб./год}$$

Прочие производственные расходы (9.6):

$$И_{пр} = 0,2 \cdot И_{з}, \quad (9.6)$$

где 0,2 – 20% на прочие производственные расходы;

$$И_{пр} = 0,2 \cdot 4800,00 = 960,00 \text{ тыс.руб./год}$$

По данным ПАО «ЧМК» для восстановления работоспособности газоочистного оборудования конвертора № 1 необходимо выполнять капитальный ремонт каждый год в неотопительный период. Средняя стоимость капитального ремонта одного элемента котла составит 1 460,00 тыс.руб./год – по данным ООО «ИТЦ «Росэнергосталь» [48]. Такой ремонт необходимо будет проводит на протяжении 5 лет.

Сумма всех затрат (8.7):

$$И = \Sigma И_{i} = И_{в} + И_{э} + И_{з} + И_{соц} + И_{э} + И_{пр} + И_{кр} \quad (9.7)$$

где $\Sigma И_{i}$ – сумма всех затрат, тыс.руб./год.

$$И_{2} = 69767,20 + 1860,82 + 4800,00 + 1632,00 + 690,00 + 960,00 + 1460,00 =$$
$$= 81170,02 \text{ тыс.руб./год}$$

Проведем расчет текущих затрат на энергетическое обслуживание высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 после

реконструкции. Расчет выполним для тех, статей затрат, которые подвергнутся изменению.

Расход воды на котел ОКГ-160У-2 по паспортным характеристикам составит $2190 \cdot 10^3$ м^3/год. Тогда годовые затраты на воду:

$$И_Т = 29,60 \cdot 2190 \cdot 10^3 = 64824,00 \text{ тыс.руб./год}$$

Расход электроэнергии котла ОКГ-160У-2 по паспортным характеристикам составит 342600 кВт·ч/год. Тогда годовые затраты на электроэнергию:

$$И_э = 5,20 \cdot 342600 = 1781,52 \text{ тыс.руб./год}$$

Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт:

$$И_э = 0,05 \cdot 5500,00 + 0,1 \cdot 5500,00 = 825,00 \text{ тыс.руб./год}$$

Сумма всех затрат:

$$И_1 = 64824,00 + 1781,52 + 4800,00 + 1632,00 + 825,00 + 960,00 =$$
$$= 74822,52 \text{ тыс.руб./год}$$

9.1.3 Расчет срока окупаемости проекта

Экономия текущих затрат составит (9.8):

$$\Delta И = И_2 - И_1, \quad (9.8)$$

где $И_1$ – общая сумма затрат на обслуживание высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 после проведения реконструкции, тыс.руб./год;

$И_2$ – общая сумма затрат на обслуживание высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 до реконструкции, тыс.руб./год.

$$\Delta И = 81\ 170,02 - 74\ 822,52 = 6\ 347,50 \text{ млн. руб./год}$$

Экономическая эффективность предлагаемых технических решений характеризуется сроком окупаемости. Для определения срока окупаемости проекта реконструкции используют формулу (9.9):

$$T = \frac{K - K_{ликв}}{\Delta И}, \quad (9.9)$$

где ΔИ – экономия текущих затрат, тыс. руб./год;

$К$ – капитальные затраты (К = 9 920,00,00 тыс. руб. – по расчету формулы 9.1);

$К_{ликв}$ – стоимость лома демонтированного оборудования (9.10):

$$К_{ликв} = Ц_{л} \cdot М \,, \qquad (9.10)$$

где $Ц_{л}$ – тариф на металлолом, руб./кг ($Ц_{л}$ = 1650,00 руб./т – по данным АО «Челябвторцветмет» [52]);

$М$ – масса демонтированного металлолома, т (М = 23,7 т – по данным главы 3).

$$К_{ликв} = 1650 \cdot 23,7 = 39,11 \text{ тыс.руб.}$$

Тогда срок окупаемости составит:

$$Т = \frac{9920,00 - 39,11}{6347,50} = 1,56 \text{ года}$$

Вывод: по результатам расчета получили срок окупаемости проекта менее 5 лет, соответственно данный проект реконструкции экономически эффективен. Основная экономия текущих затрат достигается за счет отсутствия затрат на капитальный ремонт изношенного оборудования.

9.2 SWOT-анализ вариантов реализации проекта

Необходимо проанализировать сильные и слабые стороны проекта в двух вариантах, оценить сравнительную эффективность, выбрать лучший вариант. SWOT-анализ конвертерного цеха с действующим газоочистным оборудованием представлен в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – SWOT-анализ конвертерного цеха с действующим газоочистным оборудованием

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
– отсутствие капитальных вложений – возможность продажи излишка пара внешним потребителям	– большой износ газоходов и – вспомогательного оборудования – большие затраты на ремонт – загрязнение окружающей среды
Возможности (O) – большой выбор запчастей	Угрозы (T) – повышение цен на энергоресурсы – штраф за превышение норм по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу

SWOT-анализ конвертерного цеха с новым газоочистным оборудованием представлен в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – SWOT-анализ конвертерного цеха с новым газоочистным оборудованием

Сильные стороны (S) – минимальное загрязнение окружающей среды – увеличение объемов производства стали за счет нового оборудования – возможность продажи излишка пара внешним потребителям	Слабые стороны (W) – большие капитальные вложения
Возможности (O) – спрос на тепловую энергию у населения	Угрозы (T) – перебои с поставкой оборудования

После сравнения газоочистного оборудования с помощью SWOT-анализа видны значительные преимущества нового оборудования по сравнению со старым. Вновь монтируемое газоочистное оборудование будет эффективнее охлаждать и очищать уходящие конвертерные газы.

9.3 Дерево целей проекта реконструкции высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора № 1

Дерево целей представляет собой структурную модель, показывающую соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Миссия предприятия делится на проектные цели его подразделений, операционные цели исполнителей, составленные по принципу SMART.

Миссия – это краткое выражение основной цели предприятия, чётко сформулированная причина его существования. Миссия организации определяется на этапе становления организации и редко меняется.

Цели организации – результаты, которых стремится достичь организация, и на достижении которых направлена её деятельность.

Принцип SMART описывает требования к хорошо сформулированным целям, которые во многом определяют результаты реализации любого проекта.

Цели должны быть:

S – в цели должна быть отражена специфика деятельности организации;

M – цель должна быть измеримой по объёму;

A – цель должна быть достижимой;

R – цель должна быть реалистичной и управление должно соответствовать ситуации;

T – цель должна быть определённой во времени.

На рисунке 8.1 изображено дерево целей проекта реконструкции высокоэффективного газоочистного оборудования конвертора №1 ПАО «ЧМК».

Рисунок 9.1 – Дерево целей проекта

9.4 График Ганта реализации проекта

График Ганта отражает примерное распределение процессов во времени и их логическую последовательность, должен быть скорректирован и дополнен при детальной проработке проекта изменений. График Ганта представлен в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – График Ганта

Наименование этапа	Продолжительность				
	2020 г.				2021 г.
	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	1 кв.
Провести анализ поставщиков необходимого оборудования					
Закупить оборудование у выбранного поставщика					
Разработать проект реконструкции					
Составить план проведения работ по реконструкции					
Выполнить демонтаж старого оборудования котла-охладителя					
Выполнить монтаж оборудования котла-охладителя ОГК-160У-2					
Поддерживать оборудование в рабочем состоянии для обеспечения бесперебойной работы основного производства					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена система утилизации конвертерных газов с применением установки газоочистного оборудования в кислородно-конвертерном цехе ПАО «ЧМК».

За счет применения котла-охладителя температура конвертерных газов снижается с 1700 °С до 600 °С, что снижает тепловую нагрузку на газоочистное оборудование и позволяет уменьшить тепловое загрязнение атмосферы.

Для обеспечения экологической безопасности проекта выполнен поверочный расчет дымовой трубы и установлено, что существующая дымовая труба будет обеспечивать эффективное рассеивание выбросов загрязняющих веществ.

Приводится описание схемы автоматического регулирования и контроля основных параметров газоочистного оборудования.

Произведен экономический расчет проекта реконструкции газоочистного оборудования и определены объемы капитальных и текущих затрат на проект.

Затраты на реализацию проекта составляют 3385 тыс. руб. Срок окупаемости проекта составляет 3,45 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Введён в действие 27.11.2009 // Российская газета. – № 5050. – 27 ноября 2009. – 2009.

2 ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов // Российская газета. – 21.06.03. – № 120/1. – 2003.

3 ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. – М.: Стандартинформ, 2013

4 ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление».– М.: Изд-во стандартов, 2011.

5 ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно-допустимые напряжения прикосновений токов». – М.: Изд-во стандартов, 2001.

6 ГОСТ 12.4.011-96 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация». – М.: Изд-во стандартов, 2001.

7 ГОСТ 12.0.003-80 «Опасные и вредные производственные факторы». – М.: Изд-во стандартов, 1980.

8 ГОСТ Р 12.4.026-2015 ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний – М.: Стандартинформ, 2016.

9 ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ И-1.01.86. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

10 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1991.

11 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ И-01.04.83. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

12 НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

13 Постановление Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме» // Российская газета. – 08.05.2012.

14 Приказ Минтруда России №328н от 24 июля 2013 г. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.

15 Приказ Минтруда России №551н от 17 августа 2015 г. Правила по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок.

16 СП 89.13330.2011. Котельные установки. – М.: Минрегион России, 2012.

17 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008

18 Экономико управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие / А. А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018 36с.

19 Бакланова, Н.Н. Котлы и котельные установки зарубежных фирм-производителей, представленные на рынке России: отраслевой каталог 04-03 / Н.Н. Бакланова, А.В. Васичкина, Г.Р. Побережский. – М.: Инпромкаталог, 2006.

20 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов. В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая. – М: Высшая школа, 2009.

21 Бологова, В.В. Экономика энергетики: учебник для вузов / В.В. Бологова, Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова – М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

22 Булкин, А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учебное пособие для вузов. Гриф МО РФ / А.Е. Булкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.

23 Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий, – М.: КноРус, 2011.

24 Грибанов, А.И. Очистка дымовых газов. Часть I / А.И. Грибанов – Челябинск: Изд-во ЮУргУ, 2006.

25 Григорьев, В.И. Справочник энергетика / В.И. Григорьев и др. – М.: Колосс, 2006.

26 Иванова, Г.М. Теплотехнические измерения и приборы / Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков – М.: Изд-во МЭИ, 2007.

27 Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / Данилов О.Л. и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2010.

28 Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М.: БИНОМ Лабораторий Знаний, 2012.

29 ИЭ 11-13-11 Инструкция по эксплуатации котла-охладителя ОКГ-160У-2 ККЦ ПАО «ЧМК». – Челябинск: ЧМК, 2011.

30 Калыгин, В.Г. Промышленная экология / В.Г. Калыгин. – М.:Академия, 2010.

31 Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011.

32 Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В. Кузнецов. – М.: ЭКОЛИТ, 2011.

33 Лебедев, В.М. Котельные установки и парогенераторы: учебник для студентов вузов / В.М. Лебедев, А.С. Заворин, С.В. Приходько. – М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.д. тр-те, 2013.

34 Липов, Ю.М. Компоновка и тепловой расчет парового котла: Учебное пособие для вузов / Ю.М. Липов, Ю.Ф. Самойлов, Т.В Виленский. – М.: 2012. – 208 с.

35 Липов, Ю.М. Котельный установки и парогенераторы: учебник для вузов / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – М.:Энергоатомиздат , 2006.

36 Реконструкция газоотводящих трактов №№1-3. Техническое предложение // Энергосталь, Харьков. – 2008.

37 Розенгарт, Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование / Ю.И. Розенгарт. – К.: Высшая школа, 2008.

38 Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды: учебное пособие / П.В. Росляков. – М.: Изд-во МЭИ, 2010.

39 Сазанов, Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учебное пособие для вузов / Б.В. Сазанов. – МЭИ, 2014.

40 Сергеев, А.В. Справочное учебное пособие для персонала котельных: Топливное хозяйство котельных. Изд. второе. / А.В. Сергеев. – СПб.: ДЕНАН, 2011.

41 Сидельковский, Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев. – М.: Бастет, 2009.

42 Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. / Б.А. Соколов. – М.: Академия, 2010

43 ПАО «Мечел». – Режим доступа: http://www.mechel.ru/

44 ПАО «ЧМК». – Режим доступа: http://www.mechel.ru/sector/steel/cmk/

45 Пути совершенствования утилизации конвертерных газов. – Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/energ1/energ1/pages/Articles/1/Maksimov.pdf

46 Справочник химика. – Режим доступа: http://www.chem21.info.ru

47 Справочник электрика и энергетика. – Режим доступа: http://www.elecab.ru;

48 Официальный сайт ООО «ИТЦ «Росэнергосталь». – Режим доступа: https://rosenergostal.ru;

49 Официальный сайт ООО «КИТ». – Режим доступа: https://chelyabinsk.gtdel.com;

50 Официальный сайт МУП «ПОВВ». – Режим доступа: http://voda.uu.ru

51 Официальный сайт ООО «УралЭнергоСбыт». – Режим доступа: https://uralsbyt.ru;

52 Официальный сайт АО «Челябвторцветмет». – Режим доступа: http://chvcm.ru.