

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Заочный факультет
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»
Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,
начальник отдела «ТС» ПКЦ ПАО «ЧМК»

_____ Н.Ф. Неверова
« ____ » _____ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»,
к.т.н., доцент

_____ К.В. Осинцев
« ____ » _____ 2020 г.

**Повышение надежности работы котла-утилизатора ОКГ 160 У2
за конвертером №3 ПАО «ЧМК» путем замены поверхностей нагрева**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ
«ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ»
ЮУрГУ–13.04.01.2020.123.08.ПЗ ВКР

Руководитель магистерской
программы, к.т.н., доцент

_____ К.В. Осинцев
« ____ » _____ 2019 г.

Руководитель работы,
к.т.н., доцент

_____ К.В. Осинцев
« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы,
магистрант группы ПЗ-389

_____ Ю.Ю. Летина
« ____ » _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Летина Ю.Ю. Повышение надежности работы котла-утилизатора ОКГ 160 У2 за конвертером №3 ПАО «ЧМК» – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, ЗФ; 2020, 91 с., 11 ил., библиогр. список – 73 наим., 4 прил., 5 листов чертежей ф. А1, 2 демонстрационных листа ф. А1.

В выпускной квалификационной работе (ВКР) магистранта предложен способ повышения надежности котла-утилизатора ОКГ 160 У2. Целью ВКР является разработка технического решения, позволяющего увеличить срок службы поверхностей нагрева котла-утилизатора, путем их защиты.

Для повышения надежности работы котла-утилизатора ОКГ 160 У2 разработано решения по защите его поверхностей нагрева методом нанесения защитного слоя футеровки. Проведен расчет определения толщины футеровочного слоя. Выпускная квалификационная работа содержит разделы, в которых выполнены расчеты горения топлива, рассчитаны тепловые балансы котла-утилизатора и определены параметры его работы после нанесения защитного слоя. Проведен поверочный расчет газоочистного оборудования газоотводящего тракта конвертера №3. Рассмотрена функциональная автоматизированная система управления технологическим процессом. В работе рассмотрены направления энергосбережения предприятия, вопросы организации безопасности жизнедеятельности, а также обоснована экономическая эффективность реализации проекта.

					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>					
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение надежности работы котла-утилизатора ОКГ 160 У2 за конвертером №3 ПАО «ЧМК» путем замены поверхностей нагрева</i>	<i>Лит.</i>			<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Выполнил</i>	<i>Летина Ю.Ю.</i>					<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>3</i>	<i>91</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>					<i>ЮУрГУ Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»</i>				
<i>Н.контр.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>									
<i>Зав.каф.</i>	<i>Осинцев К.В.</i>									

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ОКГ 160 У2 ЗА КОНВЕРТЕРОМ №3 ПАО «ЧМК»	7
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	9
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ	10
4 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ФУТЕРОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА	
4.1 Деформация металла под воздействием высоких температур	15
4.2 Высокотемпературная коррозия.....	16
4.3 Материалы для футеровки	18
4.4 Расчет толщины футеровки	23
5 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ОКГ 160 У2	
5.1 Конструкция котла ОКГ 160 У2	27
5.2 Исходные данные	30
5.3 Средние характеристики продуктов сгорания	30
5.4 Тепловой баланс котла	33
5.5 Конструктивные характеристики котла	35
5.6 Расчет подъемного газохода	39
5.7 Расчет переходного газохода	42
5.8 Расчет опускающего газохода	43
6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	49
6.1 Автоматизированная система учета энергоресурсов	50
6.2 Структура и функционирование системы	51
7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ	52
8 АВТОМАТИЗАЦИЯ	
8.1 Структура АСУ ТП газоотводящего тракта.....	60
8.2 Функции, реализуемые системой.....	62
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
9.1 Организационные мероприятия по охране труда.....	66
9.2 Обеспечение безопасных условий труда.....	67
9.3 Обеспечение безопасных условий труда при эксплуатации котла-утилизатора ОКГ 160 У2	69
10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
10.1 Смета капитальных затрат	70
10.2 Смета текущих затрат.....	71
10.3 Обоснование экономической эффективности проекта	75
10.4 STEEP-анализ необходимости разработки проекта	77
10.5 Качественный анализ технических решений	77
10.6 Модель ранжирования проблем теплоэнергетики и теплотехники..	79

										лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

10.7 Модель причинно-следственной диаграммы.....	80
10.8 Модель пирамиды целеполагания ПАО «ЧМК»	80
10.9 Планирование целей проекта в дереве целей.....	82
10.10 Оценка движущих и сдерживающих сил	82
10.11 Планирование мероприятий реализации проекта в графике Ганта	83
10.12 Основные показатели экономической эффективности.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	87

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Сводные графики толщин футеровки для газоходов котла.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Принципиальная схема газоочистки.....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Модель причинно-следственной диаграммы для конвертера №3 ПАО «ЧМК».....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Дерево целей проекта реконструкции газоотводящего тракта для конвертера №3 ПАО «ЧМК».....	96

						<i>лист</i>
					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>	5
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ВВЕДЕНИЕ

Публичное акционерное общество «Челябинский металлургический комбинат» – является одним из крупнейших в России предприятий с полным металлургическим циклом по выпуску качественных и высококачественных сталей. Металлургический комбинат также является одним из крупнейших производителей нержавеющей стали в России.

ПАО «ЧМК» выпускает широкий сортамент продукции металлургического производства: чушковый чугун, полуфабрикаты стальные для дальнейшего передела, сортовой и листовой металлопрокат из углеродистых, конструкционных, инструментальных и коррозионно-стойких марок стали, фасонный прокат и рельсовую продукцию.

Область применения изготавливаемой продукции ПАО «ЧМК» весьма обширна. Изделия из высококачественной стали ПАО «ЧМК» используются для атомной энергетики, для тяжелого, химического, энергетического, автомобильного и сельскохозяйственного машиностроения, для подшипниковых и трубопрокатных заводов, в строительстве, для медицинского оборудования и инструментов.

В качестве основной продукции комбинат производит широкий профильный сортамент металлопроката: от катанки до арматурного проката периодического профиля, от бунтового проката из конструкционной стали до сортового проката для трубопрокатных и машиностроительных заводов, а также сортовую квадратную заготовку. ЧМК – основное предприятие группы компаний «Мечел», выпускающее листовой прокат.

Одним из методов получения высококачественной стали на комбинате является кислородно-конвертерное производство.

Кислородно-конвертерный способ выплавки стали, благодаря высоким технико-экономическим показателям, занимает ведущее место в современном сталеплавильном производстве. В настоящее время в кислородных конвертерах выплавляют больше 65% производимой в мире стали. Однако, такой процесс, помимо получения стали, сопровождается выделением большого количества конвертерного газа, который может быть использован в качестве вторичного энергетического ресурса.

На сегодняшний день наиболее существенным резервом экономии топлива в современной 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 которых оценивается в размере 1,25 млн т у. т. в год.

										лист
										6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ОКГ 160 У2 ЗА КОНВЕРТЕРОМ №3 ПАО «ЧМК»

Конвертерный цех ОАО «ЧМК» был введен в эксплуатацию в 1969 году в составе трех глуходонных конвертеров емкостью по 100 т для выплавки низколегированной, легированной, углеродистой спокойной, кипящей и полуспокойной стали. За конвертерами были установлены котлы-охладители для охлаждения конвертерных газов.

В 1980–1983 г.г. была осуществлена замена конвертеров емкостью 100 т на конвертеры объемом 135 м³, с одновременной заменой котлов-охладителей конвертерных газов без изменения их конструкции.

В 1990–1993 г.г. был осуществлен перевод цеха на завалку скрапа в конвертер одним совком объемом 40 м³, осуществлена замена сталеразливочных ковшей на ковши емкостью 160 т.

В 1993–1997 г.г. в связи с износом оборудования была произведена реконструкция с заменой корпусов конвертеров и заменой всех котлов-охладителей конвертерных газов типа ОКГ-100 ЗБ на модернизированные барабанные газоплотные П-образной компоновки котлы-охладители конвертерных газов типа ОКГ 160 У2 с более высокой пропускной способностью.

В 2010 году была выполнена проектная документация на реконструкцию конвертерного цеха. Проектом предусматривалось увеличение объема производства с 3,5 млн. до 4,0 млн. тонн жидкой стали в год, замена существующих конвертеров №2 и 1, газоотводящих трактов конвертеров №2 и 1, машины подачи кислорода для конвертера №2 на новое современное оборудование, установка измерительных фурм для конвертеров №2, 1 с целью сокращения длительности плавки, а также устройств для отсечки шлака при выпуске стали из конвертеров фирмы «Моносон» для конвертеров №1, 2, 3.

На сегодняшний день устаревшие и изношенные конструкции котла-охладителя конвертерных газов, не позволяют повысить интенсивность продувки кислородом свыше 450 нм³/мин и сократить длительность продувки металла в кислородном конвертере.

Высокий физический износ части основных элементов котла-охладителя ОКГ160 У2, установленного за конвертером №3, приводит к тому, что СО дожигается не полностью и поступает в атмосферу через дымовую трубу.

Циркуляционные насосы изношены, развиваемый напор и производительность насосов целесообразно увеличить, учитывая возможные перспективы модернизации котла-охладителя.

Грузоподъемное оборудование в циркуляционной насосной выработало свой ресурс. Система АСУ ТП управления технологическим процессом отвода газа отсутствует. Арматура и датчики КИП выработали свой ресурс.

Таким образом, в соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], а также с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране ок-

										лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

ружающей среды» [2] в ходе реконструкции кислородно-конвертерного цеха Проектно-конструкторским центром ПАО «ЧМК» и УкрНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ» разрабатывается проект по замене существующего изношенного оборудования (конвертера №3 и газоотводящего тракта) новым оборудованием, а также установка дополнительного оборудования с целью сокращения длительности плавки, повышения объёма производства и качества стали.

Установка нового оборудования будет обеспечивать:

- увеличение массы плавки до 160 т жидкой стали;
- сокращение длительности плавки до 47 мин.;
- работу газоотводящего тракта конвертера с интенсивностью кислородной продувки до 500 $\text{нм}^3/\text{мин.}$;
- очистку отходящих конвертерных газов с максимальной запыленностью газов на дымовой трубе 80 $\text{мг}/\text{м}^3$.

В конвертерном цехе предусматривается выплавлять углеродистые, конструкционные, низколегированные и легированные марки стали.

Существующий марочный сортамент выплавляемых сталей сохраняется.

					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		8

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При выполнении выпускной квалификационной работы использован ряд учебной и справочной литературы, технической документации, методических пособий, а также нормативно-правовой литературы.

Теоретическая сторона вопросов, рассматриваемых в данной работе, основана на следующих литературных источниках: «Теплотехнический справочник» – В.Н. Юренев, П.Д. Лебедев [3]; «Промышленные парогенерирующие установки» – Эстеркин, Р.И. [4]; «Производственные и отопительные котельные» – Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш [5]; «Основы теплопередачи» – М.А. Михеев, И.М. Михеева [6]; и др.

Нормативно-правовая основа в данной работе включает в себя: СП 89.13330.2016 «Котельные установки» [7]; ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» [8]; ГОСТ 21–404–85. «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [9] и другие.

Расчетная часть в данной работе проведена на основании следующей учебной и методической литературы: «Тепловой расчет котлов» – нормативный метод [10]; «Тепловой расчет промышленных парогенераторов» – Частухин В.И. [11]; «Поверочный расчет котлов-утилизаторов» – Мунц В.А. [12]; «Вопросы экологии в промышленной теплоэнергетике» – Грибанов, А.И [13].

										лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

При производстве высококачественной металлопродукции на металлургических предприятиях не обойтись без получения отходов и побочного сырья от производственного цикла.

В металлургической промышленности при производстве стали кислородно-конвертерным способом побочным продуктом по большей части является конвертерный газ, который может содержать до 90 % оксида углерода и имеет температуру 1650–1700 °С, поэтому этот газ целесообразно использовать в качестве вторичного энергетического ресурса, позволяя тем самым снизить загрязнение воздушного бассейна CO.

На сегодняшний день в РФ потенциал использования газов сталеплавильных конвертеров оценивается в размере 1,25 млн т у.т. в год [14]. Для повышения энергоэффективности на предприятиях применяют различные методы утилизации конвертерных газов.

Наиболее распространенным способом является утилизация конвертерного газа с его дожиганием в охладителях конвертерных газов и с получением на выходе насыщенного пара. По этому принципу работает газоотводящий тракт конвертера №3 ПАО «ЧМК», рассматриваемый в данной работе.

Также большую популярность получили методы без использования дожигания конвертерного газа в котлах-утилизаторах.

Один из таких методов направлен на получение пара и концентрата обожженной сидеритовой руды (КОСР). Применение КОСР позволяет заменить дорогостоящую руду в агломерате для производства чугуна, а также положительно сказывается на технико-экономических показателях работы доменных печей [15].

На рисунке 3.1 показаны графики теплотворной способности газа для каждого процесса в схеме.

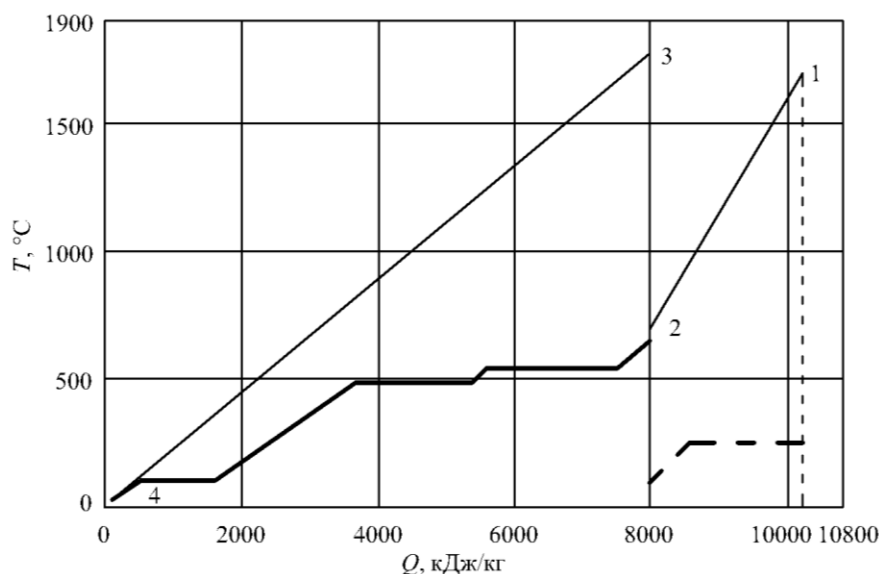


Рисунок 3.1 – Графики теплотворной способности конвертерного газа

Максимально возможное количество сидеритовой руды возможно получить только, когда охладитель конвертерных газов работает в режиме без дожигания CO , где коэффициент избытка воздуха должен быть примерно $\alpha = 0,11$. При начальной температуре конвертерных газов $1650\text{ }^\circ\text{C}$, количество теплоты для выработки пара составляет порядка $Q = 2,361\text{ МДж/кг}$ [15] и принимает вид процесса 1-2 (рисунок 3.1). На выходе из охладителя конвертерных газов получают газ с температурой $650\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$, который в дальнейшем сжигается с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1$ в агрегате для обжига сырой сидеритовой руды (рисунок 3.1, процесс 2-3-4). В агрегате для обжига руды предполагается противоточный режим нагрева, что позволяет достичь мощностей порядка 682 МВт [16]. Полученный КОСР отправляется на аглофабрику для дальнейшей подготовки к использованию в производственном процессе.

Такой метод использования конвертерного газа без дожигания позволяет сэкономить порядка 26 тыс. т у.т. на 1 млн. т выплавленной стали [15].

Помимо рассмотренной ранее схемы применения конвертерного газа без дожигания, также применяют и более сложные схемы утилизации конвертерного газа. В качестве примера, одна из таких схем представлена на рисунке 3.2 [17].

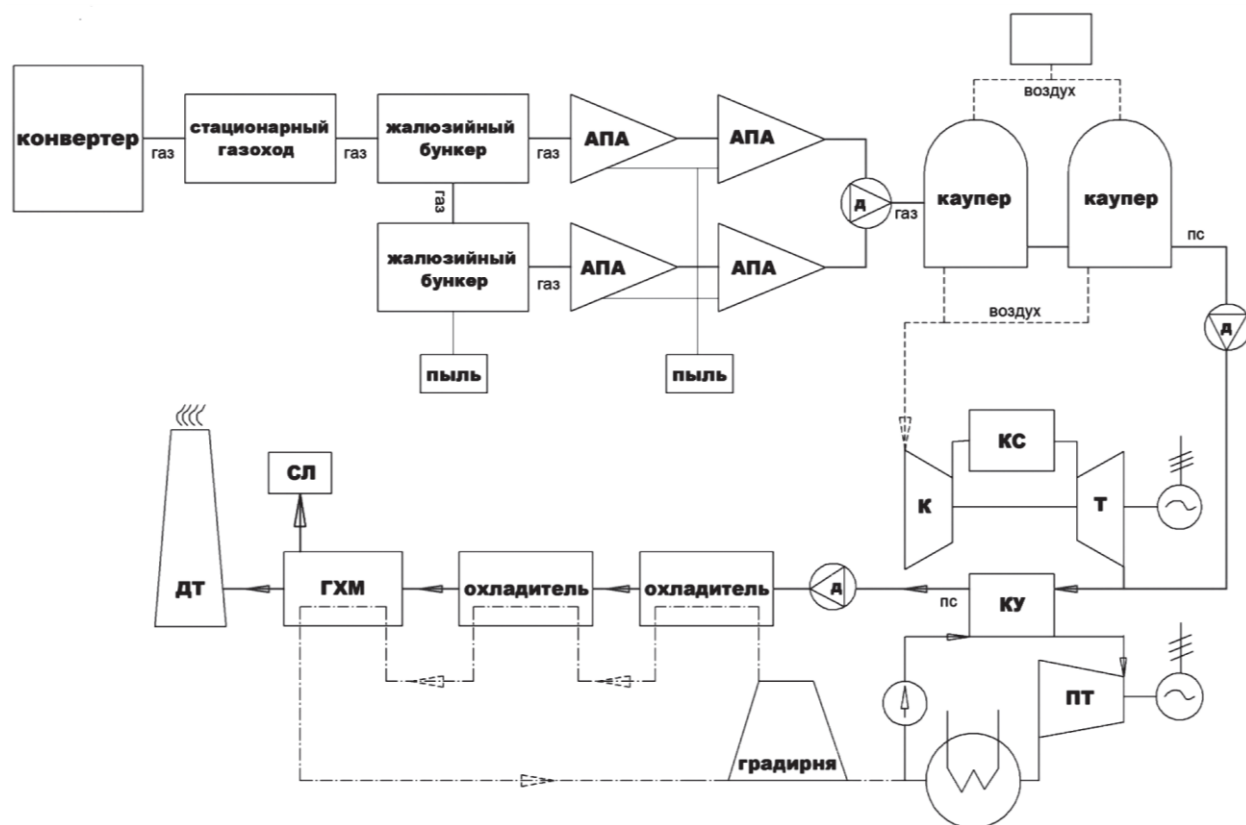


Рисунок 3.2 – Энерготехнологическая схема утилизации конвертерных газов:

- АПА – аэродинамический аппарат очистки газа от пыли;
 ВРУ – воздухоразделительная установка; Д – дымосос; К – компрессор;
 КС – камера сгорания; Т – турбина; КУ – котел-утилизатор;
 ПТ – паровая турбина; ГХМ – газоохлаждающая машина;
 ДТ – дымовая труба; СЛ – сухой лед

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

лист

11

Данная схема позволяет использовать потенциал конвертерных газов для нагрева воздуха в регенераторе с последующим использованием его в доменной печи, для выработки электроэнергии, для получения сухого льда, а также позволяет использовать конвертерный газ для получения пара.

Особенностью рассматриваемой схемы в том, что процесс очистки газа от пыли осуществляется сразу после конвертера и без применения мокрой газоочистки, обычно используемой для конвертерного газа. Это позволяет снизить расход воды на очистку, а также уменьшить количество сбросов загрязненной воды после неё. Также, предварительное обеспыливание конвертерного газа позволяет избежать засорения насадки регенератора и износа оборудования других циклов.

После газоочистного тракта конвертерный газ поступает в воздухонагреватель доменной печи для нагрева насадок. Отдав часть тепла воздухоподогревателю, конвертерный газ с высоким содержанием CO поступает в компрессор для сжатия. Затем, в камере сгорания происходит дожиг конвертерного газа с выделением большого количества тепла. Далее конвертерный газ расширяется в газовой турбине, вырабатывая электроэнергию, и уходит в котел-утилизатор. Там тепло конвертерного газа расходуется на выработку пара, который, в свою очередь расширяясь в паровой турбине, также вырабатывает электроэнергию. Остаточное тепло уходящего конвертерного газа используется для подогрева обратной воды на ПТУ, а также для получения сухого льда [17].

Сложность в эксплуатации данной схемы обусловлена высокими требованиями по обеспечению безопасности процесса, поскольку в газоотводящем тракте возможно возникновение взрывоопасной смеси CO и воздуха, который попадает в тракт через подсосы.

В зарубежных странах утилизация конвертерных газов в большинстве случаев сопряжена с выработкой электроэнергии или использованием конвертерного газа в качестве топлива.

В Японии за последние несколько лет технология получения стали конвертерным способом получила большое развитие, в связи с ростом спроса на высококачественную сталь. На долю конвертерного производства в Японии приходится 80 % металлургической промышленности, но применяемые в технологическом процессе конвертеры имеют среднюю производительность [16].

Конвертерный газ после производственного цикла применяют в основном в качестве топлива для доменных печей. Поэтому широкое распространение получила схема утилизации конвертерного газа с использованием газгольдера [18].

Пример схемы системы с использованием газгольдера показан на рисунке 3.3.

Конвертерный газ после системы газоочистки поступает на трехходовой клапан 2, который направляет его либо в газгольдер, либо на «свечу». Если содержание CO в газе достигает значения больше 35 %, а концентрация кислорода становится менее 2 %, то клапан 2, по показаниям значений, замеренным быстродействующим газоанализатором, установленным за дымососом 1, автоматически направляет конвертерный газ через обратный клапан 3 в газгольдер 4.

Из газгольдера конвертерный газ при помощи газодувок газоповысительной станции 7 подается напрямую в газопровод доменного газа 8 [19].

									лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

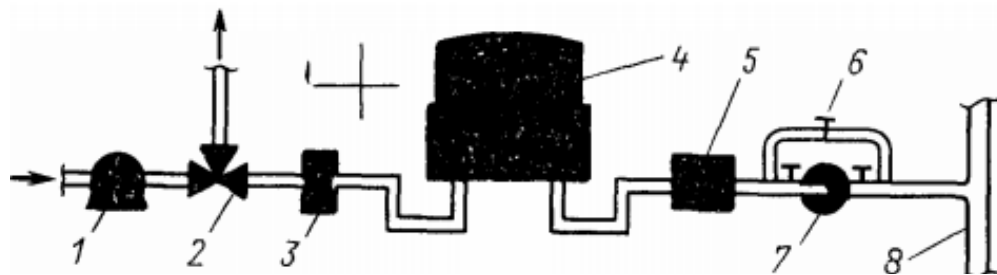


Рисунок 3.3 – Схема системы сбора конвертерного газа в газгольдере:
 1 – дымосос; 2 – трехходовой клапан; 3 – обратный клапан; 4 – газгольдер;
 5- электрофильтр; 6 – клапан; 7 – газоповысительная станция;
 8 – газопровод доменного газа

Такая схема обеспечивает хранение и накопление конвертерного газа с целью дальнейшей его утилизации в производственном цикле производства чугуна.

Далее рассмотрим способы утилизации конвертерных газов в Китае, который уже многие годы является мировым лидером на рынке металлопродукции, а доля, приходящаяся на доменное и кислородно-конвертерное производство, составляет 90 % от всей металлургической промышленности Китая [20].

При таком большом объеме производства, количество производимого конвертерного газа достигает внушительных значений. Поэтому в 2013 году было принято решение повысить уровень утилизации конвертерного газа, используемого для выработки электроэнергии, с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду [21].

Для этого были привлечены крупные компании США и Австрии, чтобы они разработали технологию, позволяющую сократить вредное воздействие на окружающую среду без снижения эффективности производственного процесса.

По итогам работы, компания Lanza Tech [22] запустила две установки по переработке конвертерного газа в этанол на двух крупнейших металлургических заводах Китая – Baosteel [23] и Shougang [24].

Суть технологии заключается в микробиологической ферментации (бактериальное брожение) отходящих металлургических газов, которые содержат углерод. В результате этого брожения из конвертерных газов получают этанол, который может использоваться как дополнительный источник топлива для предприятия или как дополнительный продукт для продажи [25].

По рассматриваемой технологии компании Lanza Tech конвертерный газ после конвертера не дожигается, а поступает сразу на сухую газоочистку. Затем очищенный газ с высоким содержанием CO поступает в газгольдер, после которого он сжимаются компрессором и уходит в реактор, где под воздействием микробиологических форм жизни получается этанол и побочные продукты. После реактора получившийся этанол отправляется на дистилляцию, а затем на хранение или транспортировку, а оставшиеся побочные продукты реакции проходят вторичную переработку и снова применяются в производственном процессе.

Технологическая схема производства рассматриваемого процесса показана на рисунке 3.4 [25].

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

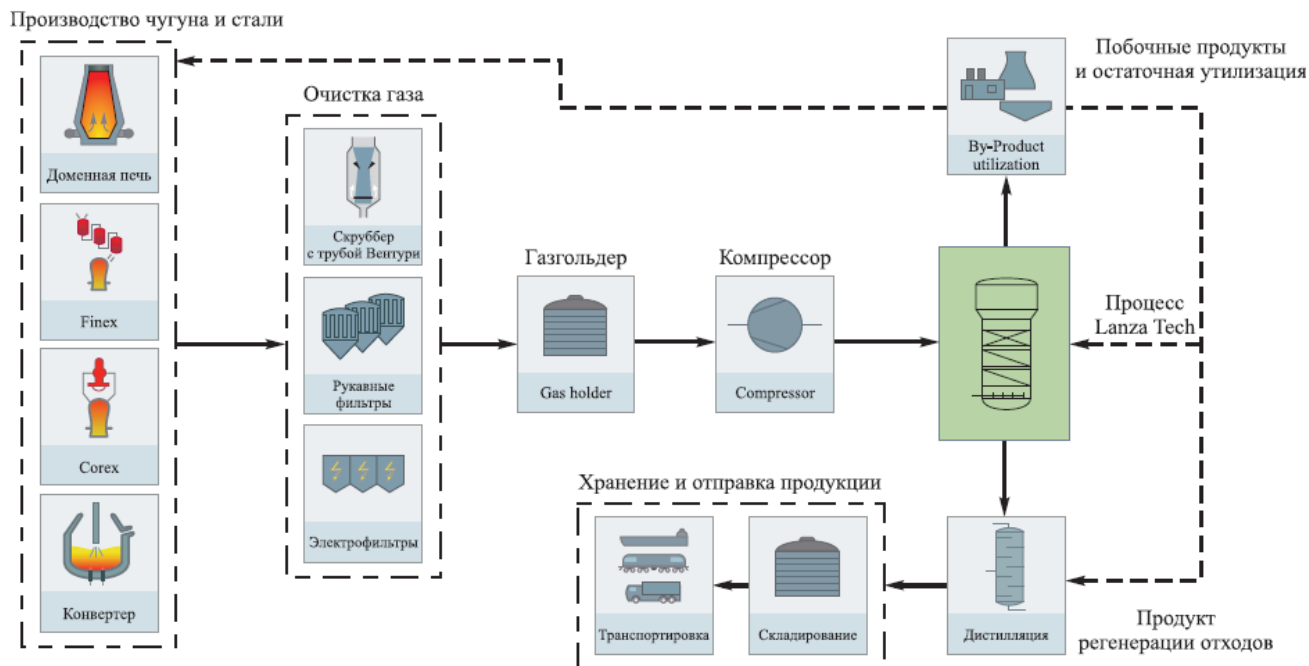


Рисунок 3.4 – Технологическая схема производства этанола из металлургических газов

Таким образом, из рассмотренных выше способов утилизации можно сделать вывод, что целью утилизации конвертерных газов для всех стран является одно – повышение энергоэффективности и экологичности производственного процесса. Различия в способах достижения эффективной утилизации конвертерных газов заключаются в индивидуальных особенностях географического расположения и стратегии развития для каждой из стран.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

лист

14

4 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ФУТЕРОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Охладители конвертерных газов (ОКГ) являются необходимым технологическим элементом процесса производства стали кислородно-конвертерным способом. Они предназначены для охлаждения конвертерных газов, а также для дожигания СО, в большом количестве содержащихся в уходящих после конвертера газах. В качестве ОКГ в основном применяют паровые котлы с радиационно-конвективными поверхностями нагрева, П-образной формы и с принудительной циркуляцией [26].

Передача теплоты трубчатым экранам котлов определяется теплопередачей и лучистым теплообменом между высокотемпературными газами и наружной поверхностью труб, покрытых слоем загрязнений. [27]

Основной опасностью для надежной работы элементов парового котла является длительное воздействие на них высоких давлений и температур. В результате этого воздействия может возникнуть разрушение металла из-за появления ряда негативных процессов.

4.1 Деформация металла под воздействием высоких температур

При высоких температурах значения прочности, пластичности, вязкости и твердости металлов значительно снижаются. А при длительной работе металла под воздействием высоких температур в нем возникает такое явление как ползучесть или крип металла. Также в результате длительного воздействия претерпевает изменение и структура металла: возникает вероятность выпадения карбидов на границах зёрен для марок стали аустенитного класса, сфероидизации перлита, опасная графитизация низколегированных и углеродистых сталей [28].

Ползучесть металла вследствие длительного воздействия высоких температур подразумевает медленный и непрерывный процесс накопления пластической деформации в металле, что приводит к постепенному увеличению размеров детали. Опасностью этого явления является разрушение металла по достижении критических значений предела остаточной пластической деформации [29].

Явление ползучести металла характеризуется его теплоустойчивостью – чем выше теплоустойчивость металла, тем медленнее протекает процесс пластической деформации. Например, применение углеродистой стали ограничивается температурой 500 °С, для легированной стали, теплоустойчивость которой несколько выше, ограничено температурой порядка 550–560 °С [28].

Процесс графитизации стали ведет к потере прочности металла, а, следовательно, к его охрупчиванию. Разупрочнение металла может привести к аварийным ситуациям в процессе эксплуатации элементов, находящихся под длительным воздействием высоких температур, поэтому в таких процессах рекомендуется применять металлические изделия с карбидообразующими элементами, препятствующими графитизации: ванадий, вольфрам, молибден, хром, титан, ниобий и другие элементы [28].

4.2 Высокотемпературная коррозия

Образующиеся в процессе горения топлива дымовые газы активно реагируют с металлом по всей поверхности нагрева. При высокой температуре коррозионно опасным является кислород, который может привести к высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева.

Высокотемпературная коррозия возникает вследствие снижения плотности и прочности оксидной пленки металла при его нагреве. В результате у кислорода возникает непосредственный контакт с чистым металлом, что в свою очередь ведёт к непрерывному окислению последнего. Описанный процесс называют «окалинообразованием» [30].

В наиболее тяжёлых случаях скорость коррозионного разрушения металла труб может достигать 0,4 мм в год [31].

Воздействие высоких температур вызывает освобождение атомов кристаллической решетки металла, что означает появление химически активных ионов из пассивных электронейтральных соединений [32]. В большинстве случаев для паровых котлов процесс образования коррозии наиболее высокой интенсивности наблюдается в диапазоне температур 580–675 °С, где сульфаты щелочных металлов $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4$ в присутствии соединений серы, например, SO_3 , взаимодействует с оксидом железа, покрывающим поверхность труб. В результате этой реакции образуются жидкие двойные сульфаты $\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ или $\text{K}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$. Повышение интенсивности коррозионного процесса связано с тем, что для поддержания химической реакции необходимо постоянное поступление оксида железа, который играет роль антикоррозионной защитной плёнки металла [31].

В ходе эксплуатации существующего котла ОКГ 160 конвертера №3 трубы котла были подвержены сильному износу. Для анализа повреждений был выбран небольшой участок трубы, который показан на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Фрагмент трубы котла ОКГ 160

На представленном фрагменте трубы можно заметить изменения, произошедшие с элементом в ходе эксплуатации. Под воздействием высоких температур, а также высокоскоростного абразивного газового потока, на поверхности трубы появился значительный слой окалинообразований, а также деформация формы трубы – истончение стенки в местах наибольшего контакта с газовым потоком и локальные утолщения вследствие ползучести металла.

На рисунке 4.2 схематично показан срез трубы во взаимодействии с рабочими средами.



Рисунок 4.2 – Схематичное изображение среза трубы

Наименьшая толщина стенки наблюдается в областях, где наиболее активно протекает химическая реакция образования $\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ или $\text{K}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$.

Для определения средней за время эксплуатации температуры трубы использовалась эмпирическая зависимость (4.1) [31]:

$$\lg(x) = 0,00022 \cdot (T + 460) \cdot [20 + \lg(t)] - 7,25, \quad (4.1)$$

где x – толщина отложений на паровой стороне трубы, мм. $x = 11$ мм;

T – температура стенки трубы, °F;

t – время эксплуатации трубы, ч.

Из выражения (4.1) выразим температуру стенки трубы (4.2), которая и будет искомой величиной:

$$T = \frac{\lg(x) + 7,25}{0,00022 \cdot [20 + \lg(t)]} - 460 \quad (4.2)$$

$$T = \frac{\lg(11) + 7,25}{0,00022 \cdot [20 + \lg(30660)]} - 460 = 1079,2 \text{ °F} = 581,8 \text{ °C}$$

Поскольку температура стенки трубы во время эксплуатации котла была $T = 581,5 \text{ °C}$, то существовали условия для формирования сульфатов натрия или калия на поверхности труб, что и привело к существенному износу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Таким образом, необходимо учесть этот фактор при установке нового оборудования, чтобы в дальнейшем избежать подобных образований и тем самым увеличить срок службы оборудования.

На снижение интенсивности окалинообразования оказывают влияние:

- снижение избытка воздуха при сжигании топлива;
- понижение температуры металла (поверхности нагрева) различными технологическими приемами [30].

Способами защиты от окалинообразований являются:

- использование при создании котлов окалиностойких материалов;
- покрытие окалиностойкой футеровкой поверхностей нагрева [30].

Поскольку применение окалиностойких материалов более затратный метод предотвращения высокотемпературной коррозии металла, в данной работе будет рассмотрен второй метод – покрытие поверхностей нагрева футеровкой.

4.3 Материалы для футеровки

Футеровка – облицовка огнеупорными, химически стойкими, а также теплоизоляционными материалами, которым покрывается внутренняя поверхность металлургических печей, ковшей, топок котлов и прочего оборудования. Футеровка производится для обеспечения защиты поверхностей от возможных механических, термических, физических и химических повреждений [33].

Футеровочный материал должен обладать следующим рядом свойств [4]:

- **Теплостойкость.** Под этим свойством понимают способность материала выдерживать резкие колебания температуры без существенного изменения структуры. Теплостойкость выражается числом теплосмен, т.е. последовательных быстрых нагревов и охлаждений, которые материал выдерживает без остаточных деформаций. Изделия из рыхлых пористых материалов обладают высокой теплостойкостью, так как возникающие напряжения компенсируются упругостью материала.

- **Температуроустойчивость.** Под этим свойством подразумевают способность материала сохранять свои свойства без существенных изменений при нагреве до определенной температуры. Эта температура характеризует область возможного применения материала.

- **Огнеупорность.** Этим свойством называют способность материала сохранять свои механические и физические свойства при длительном воздействии температур выше 1580 °С.

- **Термостойкость.** Этим свойством называют способность огнеупорного материала противостоять растрескиванию при возникновении температурных напряжений. Растрескивание наблюдается при резком изменении температур и неравномерном нагреве отдельных участков, одностороннем нагреве или охлаждении футеровки, различных коэффициентах расширения изделия. При изменении температуры в футеровке дополнительно к срезающим напряжениям возникают сжимающие и растягивающие напряжения. Если эти напряжения превысят сопротивление материала разрыву или срезу, происходит растрескивание материала.

– Шлакоустойчивость. Под этим свойством понимают способность материала противостоять разрушающему химическому воздействию шлаков. Шлакоустойчивость характеризуют потерей массы материала при воздействии на него шлака в определенных условиях. Шлакоустойчивостью определяется продолжительность срока службы футеровки.

– Газопроницаемость. Этим свойством принято называть способность материала пропускать сквозь себя продукты сгорания или воздух. Газопроницаемость характеризуют коэффициентом газопроницаемости, под которым понимают количество газа (кг), проходящего в 1 ч сквозь слой материала толщиной 1 м при разности давлений 10 Па.

Для данной работы в качестве футеровочного материала рассмотрим пять различных смесей веществ.

В качестве первого материала будет рассмотрена масса для футеровки, запатентованная Грибовым В. И. и др. [34]. В её состав входят следующие вещества в процентном соотношении:

- графит, 60 %;
- шамот, 17 %;
- жидкое натриевое стекло, 21 %;
- кремнефтористый натрий, 2 %.

Вторым материалом рассматривается масса для футеровки, запатентованная Писаренко И. Д. и др. [35]. В состав этой массы входят следующие вещества в процентном соотношении:

- халцедоновый песчаник, 83 %;
- природный бишофит, 17 %.

Для третьего материала принято защитно-упрочняющее покрытие, запатентованное Аксельродом Л. М. и др. [36]. В состав этого покрытия входят следующие вещества в процентном соотношении:

- глина огнеупорная, 16 %;
- криолит, 10 %;
- карбоксиметилцеллюлоза, 2,0 %;
- двууглекислый натрий, 1,5 %;
- алюминиевый порошок, 70,5 %.

Четвертым материалом рассмотрена сухая бетонная смесь для изготовления монолитных футеровок СМКН-85 [37]. В состав этого бетона входят следующие вещества в процентном соотношении:

- оксид алюминия, 95 %;
- оксид железа, 1,2 %;
- оксид кальция, 3,8 %.

В качестве пятого материала рассматривается огнеупорный алюмосиликатный материал, получающийся на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [38].

Поскольку для некоторых материалов отсутствуют данные по физическим свойствам, поэтому для них необходимо выполнить расчет по определению коэффициента теплопроводности.

Для этого воспользуемся формулой для определения эффективного Коэффициента теплопроводности двухкомпонентной смеси веществ (4.3) [39]:

$$\lambda_{\varphi} = \lambda_1 \cdot \left[C^2 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot (1-C)^2 + 2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot C \cdot (1-C) \cdot \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot C + 1 - C \right)^{-1} \right], \quad (4.3)$$

где λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности первого и второго компонентов структуры, соответственно;

C – параметр, который определяется по формуле (4.4) [39]:

$$C = 0,5 + A \cdot \cos \frac{\varphi}{3}, \quad (4.4)$$

где φ определяется по формуле (4.5) или (4.6):

при условии $0 \leq n_2 \leq 0,5$:

$$A = -1;$$

$$\varphi = \arccos(1 - 2 \cdot n_2) \quad (4.5)$$

при условии $0,5 < n_2 \leq 1$:

$$A = 1;$$

$$\varphi = \arccos(2 \cdot n_2 - 1), \quad (4.6)$$

где n_2 – объемная концентрация второго компонента.

Поскольку некоторые из рассматриваемых в работе материалов имеют в своем составе более двух компонентов, коэффициент теплопроводности для этих масс необходимо рассчитывать в следующей последовательности. Рассчитать коэффициент теплопроводности сначала для двух компонентов массы по формуле (4.3), как для одной смеси. Затем, приняв эту смесь за одно вещество, в качестве второго компонента принять третье вещество из состава и также рассчитать коэффициент теплопроводности по формуле (4.3), используя в качестве коэффициента теплопроводности первого вещества ранее найденный, и т.д. со всеми компонентами массы материала.

В качестве примера, рассмотрим расчет коэффициента теплопроводности для первого материала.

Сначала рассмотрим смесь двух веществ – графита и шамота.

Определим объемную концентрацию второго компонента рассматриваемой смеси по формуле (4.7):

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$n'_2 = \frac{\bar{b}}{(a + \bar{b})}, \quad (4.7)$$

где a – доля первого компонента из общего состава;
 \bar{b} – доля второго компонента из общего состава.

$$n'_2 = \frac{17}{(60 + 17)} = 0,2208$$

Поскольку значение n'_2 удовлетворяет условию $0 \leq n_2 \leq 0,5$, то $A = -1$, а значение φ' находится по формуле (4.5):

$$\varphi' = \arccos(1 - 2 \cdot 0,2208) = 0,9783$$

По формуле (4.4) определим параметр C' :

$$C' = 0,5 + (-1) \cdot \cos \frac{0,9783}{3} = -0,4473$$

Коэффициент теплопроводности графита: $\lambda'_1 = 79$ Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности шамота: $\lambda'_2 = 1,83$ Вт/(м·°С).

Определим эффективный коэффициент теплопроводности:

$$\lambda'_{эф} = 79 \cdot \{-0,4473\}^2 + \frac{1,83}{79} \cdot (1 - \{-0,4473\})^2 + 2 \cdot \frac{1,83}{79} \cdot \{-0,4473\} \times \\ \times (1 - \{-0,4473\}) \cdot \left(\frac{1,83}{79} \cdot \{-0,4473\} + 1 - \{-0,4473\} \right)^{-1} = 17,99 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}$$

Теперь рассмотрим смесь, где первое вещество смесь графита и шамота, а второе – жидкое натриевое стекло.

Определим объемную концентрацию второго компонента рассматриваемой смеси по формуле (4.8):

$$n''_2 = \frac{v}{(a + \bar{b} + v)}, \quad (4.8)$$

где v – доля третьего компонента из общего состава.

$$n''_2 = \frac{21}{(60 + 17 + 21)} = 0,2143$$

										лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

Поскольку значение n''_2 удовлетворяет условию $0 \leq n_2 \leq 0,5$, то $A = -1$, а значение φ'' находится по формуле (4.5):

$$\varphi'' = \arccos(1 - 2 \cdot 0,2143) = 0,9626$$

По формуле (4.4) определим параметр C'' :

$$C'' = 0,5 + (-1) \cdot \cos \frac{0,9626}{3} = -0,449$$

Коэффициент теплопроводности: $\lambda''_1 = \lambda''_{эф} = 17,99$ Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности жидкого натриевого стекла:

$\lambda''_2 = 1,05$ Вт/(м·°С).

Определим эффективный коэффициент теплопроводности:

$$\lambda''_{эф} = 17,99 \cdot \{ -0,449 \}^2 + \frac{1,05}{17,99} \cdot (1 - \{ -0,449 \})^2 + 2 \cdot \frac{1,05}{17,99} \cdot \{ -0,449 \} \times \\ \times (1 - \{ -0,449 \}) \cdot \left(\frac{1,05}{17,99} \cdot \{ -0,449 \} + 1 - \{ -0,449 \} \right)^{-1} = 4,871 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}$$

Теперь рассмотрим смесь, где первое вещество смесь графита, шамота и жидкого натриевого стекла, а второе – кремнефтористый натрий.

Определим объемную концентрацию второго компонента рассматриваемой смеси по формуле (4.9):

$$n'''_2 = \frac{z}{100}, \quad (4.9)$$

где z – доля четвертого компонента из общего состава.

$$n'''_2 = \frac{2}{100} = 0,02$$

Поскольку значение n'''_2 удовлетворяет условию $0 \leq n_2 \leq 0,5$, то $A = -1$, а значение φ''' находится по формуле (4.5):

$$\varphi''' = \arccos(1 - 2 \cdot 0,02) = 0,2838$$

По формуле (4.4) определим параметр C''' :

										лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

$$C''' = 0,5 + (-1) \cdot \cos \frac{0,2838}{3} = -0,4955$$

Коэффициент теплопроводности: $\lambda'''_1 = \lambda'''_{эф} = 4,871$ Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности кремнефтористого натрия $\lambda'''_2 = 43$ Вт/(м·°С).

Определим эффективный коэффициент теплопроводности:

$$\lambda'''_{эф} = 4,871 \cdot \{-0,4955\}^2 + \frac{43}{4,871} \cdot (1 - \{-0,4955\})^2 + 2 \cdot \frac{43}{4,871} \cdot \{-0,4955\} \times \\ \times (1 - \{-0,4955\}) \cdot \left(\frac{43}{4,871} \cdot \{-0,4955\} + 1 - \{-0,4955\} \right)^{-1} = 119,506 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}$$

Таким образом, коэффициент теплопроводности первого материала равен:

$$\lambda_1 = \lambda'''_{эф} = 119,506 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

По такому же принципу рассчитываются коэффициенты теплопроводности для второго, третьего и четвертого материалов. Значение коэффициента теплопроводности пятого материала известно. Значения расчетов для каждого материала футеровки сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Значения коэффициентов теплопроводности

Материал	1	2	3	4	5
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	119,506	1,015	127,36	36,83	0,16

Таким образом, по итогам расчетов получаем значения коэффициентов теплопроводности для всех рассматриваемых в работе материалов для футеровки.

4.4 Расчет толщины футеровки

Процесс теплопроводности заключается в переносе теплоты структурными частицами вещества в результате их теплового движения. Для твердых веществ процесс переноса теплоты определен непосредственной передачей теплового движения между молекулами и атомами вещества, имеющих различную температуру. Для металлов же данный процесс осуществляется главным образом посредством движением свободных электронов [40].

Интенсивность теплопередачи теплопроводностью обуславливается следующими величинами: разностью температур между веществами или средами, для которых рассматривается процесс теплопроводности; площадью теплопередающей поверхности и коэффициентом теплопроводности рассматриваемого в процессе материала [41].

Рассмотрим теплопроводность через стенки котла. На рисунке 4.3а показан фрагмент одной из стенок котла в разрезе.

Поскольку футеровка предназначена для защиты поверхности экранов от воздействия агрессивных сред и слишком высоких температур, то температура на внутренней поверхности труб экранов не должна превышать температуру теплоносителя в ней. На рисунке 4.3б представлен примерный график распределения температур в футеровке и стенке трубы.

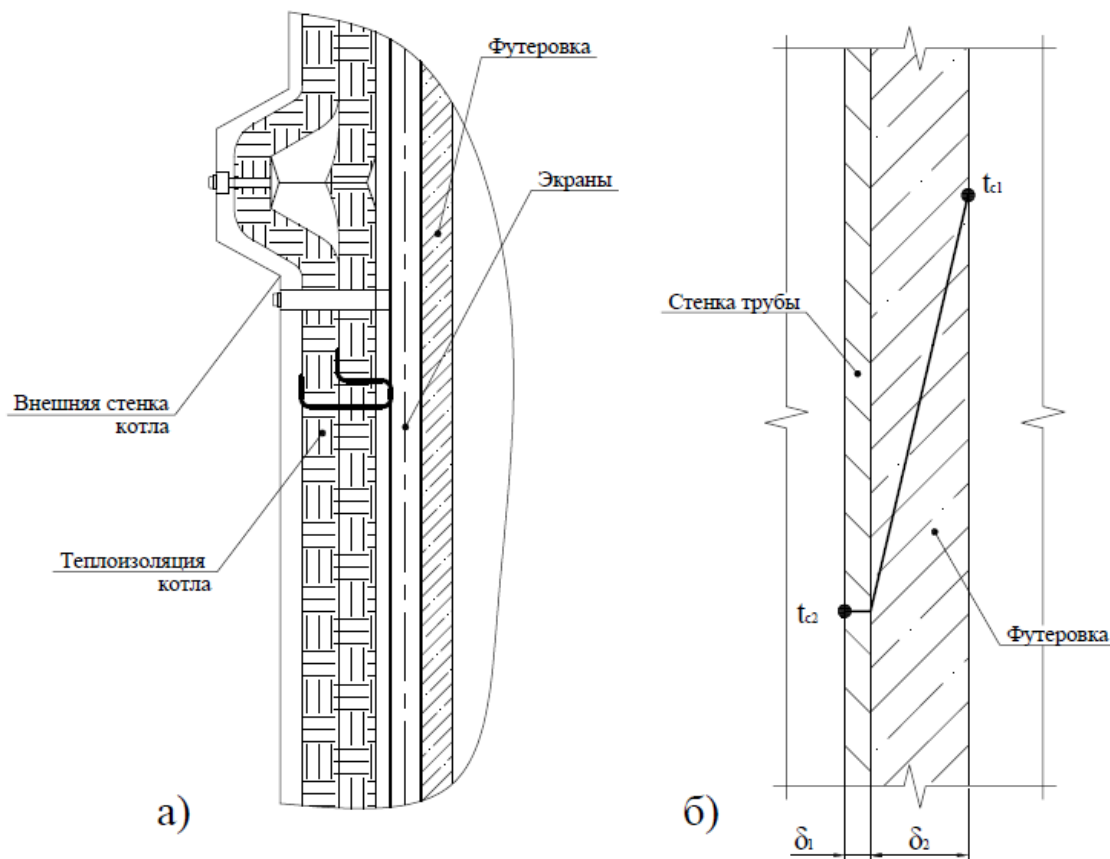


Рисунок 4.3 – Фрагмент стенки котла:
а) состав многослойной стенки; б) теплопроводность через стенку

Рассмотрим закон Фурье для теплового потока через многослойную стенку (4.10) [3]:

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R}, \quad (4.10)$$

где t_{c1} – температура более нагретой стенки, °С;

t_{c2} – температура менее нагретой стенки, °С;

R – термическое сопротивление многослойной стенки, (м²·°С)/Вт. Термическое сопротивление определяется по формуле (4.11) [3]:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (4.11)$$

где δ_1, δ_2 – толщины слоев стенки, м;

λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности слоев стенки, Вт/(м·°С).

Подставив выражение (4.11) в формулу (4.10) и выразив из этого соотношения толщину стенки δ_2 , получим формулу для нахождения искомой толщины футеровки (4.12):

$$\delta_2 = \left[\frac{t_{c1} - t_{c2}}{q} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right] \cdot \lambda_2 \quad (4.12)$$

В таблице 4.2 представлены исходные параметры для выполнения расчета по всем трем газоходам котла.

Таблица 4.2 – Исходные данные

Параметр	Опускной газоход	Переходный газоход	Подъемный газоход
Тепловой поток q , Вт/м ²	190 150	259 480	59 220
Температура стенки t_{c1} , °С	1598,97	1514,90	1060,00
Температура стенки t_{c2} , °С	250	210	152
Толщина стенки δ_1 , м	0,005		
Коэффициент тепло- проводности λ_1 , Вт/(м·°С)	46,5		

В качестве примера расчета определим толщину стенки слоя футеровки из материала I для подъемного газохода:

$$\delta_2 = \left[\frac{1598,97 - 250}{190147} - \frac{0,005}{46,5} \right] \cdot 119,506 = 0,835 \text{ м}$$

По такому же принципу рассчитываются толщины из других материалов для каждого газохода. Результаты расчетов сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета толщин футеровки

Материал	I	II	III	IV	V
Толщина стенки δ_2 , м:					
подъемный газоход	0,835	0,007	0,890	0,257	0,0010
переходный газоход	0,473	0,004	0,504	0,146	0,0006
опускной газоход	1,704	0,015	1,816	0,525	0,0020

Для наглядности все результаты расчетов толщин для каждого газохода сведены в графики, которые представлены на рисунке А.1 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

Подводя итог расчетов, можно сделать вывод, что из рассмотренных пяти футеровочных материалов два из них, а именно *I* и *III*, совершенно не подходят для использования при данных условиях работы котла, поскольку толщина защитного слоя из этих материалов получилась чрезмерно большой.

Для футеровочного материала *IV* значения толщины получились гораздо меньше, чем для *I* и *III*, поэтому можно сделать вывод, что его физические свойства несколько больше удовлетворяют рассматриваемому в работе случаю, но толщина слоя из этого материала все же велика.

Для защиты поверхности экранов котла лучше всего подходят материалы *II* и *V*. Толщины защитного слоя из материала *V* получились наименьшими из всех расчетных, но, поскольку изготовление рабочей массы из этого материала представляет собой довольно сложный процесс, то его применение больше всего подходит для защиты небольших поверхностей. Для рассматриваемого случая изготовление защитного слоя из этого материала является достаточно трудоемким процессом.

Таким образом, наиболее подходящим для изготовления защитной футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2 является материал *II* – масса для футеровки из халцедонового песчаника и природного бишофита.

Изготовление защитного футеровочного покрытия, как способ защиты экранов котла ОКГ 160 У2, довольно трудоемкий процесс, требующий немалых капитальных затрат, но тем не менее, он имеет следующие экономические эффекты:

- снижение аварийных остановок работы газоотводящего тракта конвертера №3, что значительно снижает время простоя технологического оборудования и тем самым повышает производительность работы всего цикла;
- увеличивает срок службы поверхностей нагрева газоотводящего тракта, что приводит к экономии материальных и людских ресурсов.

5 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ОКГ 160 У2

Котел ОКГ 160 У2 радиационно-конвективного типа рассчитан на режим работы с полным дожиганием СО и с подтопкой в межпродувочные периоды природным газом. В настоящее время в режиме продувки кислородом с интенсивностью $450 \text{ нм}^3/\text{мин}$ количество дымовых газов на выходе из конвертера составляет $60\,000 \text{ нм}^3/\text{ч}$ с температурой $1700 \text{ }^\circ\text{C}$. Во время продувки конвертера кислородом расчётный коэффициент избытка воздуха для горения конвертерных газов составляет порядка 1,2.

Котел-охладитель вырабатывает в период кислородной продувки конвертера насыщенный пар в количестве максимум 310 т/ч давлением до $4,0 \text{ МПа}$ в барабане-сепараторе, а в период подтопки природным газом в межпродувочные периоды – насыщенный пар давлением до $2,5\text{--}3,0 \text{ МПа}$ (возможно до $0,8 \text{ МПа}$).

Циркуляция воды в котле комбинированная (подъёмные газоходы работают на естественной циркуляции, в контурах экранов опускающего газохода и ширм применена многократно-принудительная циркуляция).

В контурах опускающего газохода размещено 6 радиационных ширм.

Принудительная циркуляция воды обеспечивается циркуляционными насосами в количестве 7 штук (5 рабочих, 2 резервных) типа 10НКУ-7-2 с электродвигателями по 160 кВт . Производительность каждого насоса $500 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор насоса 75 м.в.ст. , давление воды на всасе насоса $4\text{--}44 \text{ кгс/см}^2$.

Крышка подъёмного газохода, кессончики и течи сыпучих охлаждаются с помощью технической воды.

На фронтальной стене подъёмного газохода установлены две плоскофакельные подтопочные горелки и две запальные горелки. Подача воздуха на горение газа осуществляется от отдельного вентилятора. Максимальный расход природного газа в подтопочный период составляет $6000 \text{ нм}^3/\text{ч}$.

5.1 Конструкция котла ОКГ 160 У2

Особенности конструкции ОКГ 160 У2, отличающие его от котлов охладителей, установленных в конвертерных цехах с конвертерами 160 т ОАО «НТМК», ОАО «ЗСМК», ОАО «ММК им. Ильича», и которые сохраняются при рассматриваемой реконструкции:

- кессон отделен от подъёмного газохода и установлен на самоходной тележке для откатки при перефутеровке конвертера, которая осуществляется сверху с помощью передвижного ремонтного устройства, установленного на путях тележки кессона. Эта особенность вызывает необходимость специальных разъёмных соединений на подводящих и отводящих трубопроводах;

- охлаждение технической водой конструкции кессончиков кислородной фурмы и течек сыпучих кессона;

- панели подъёмного газохода работают на естественной циркуляции;

- крышка подъёмного газохода охлаждается технической водой и выполняется из двух частей с уплотнением, выполняет функцию противовзрывного клапана;

											лист
											27
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ						

- кессон, переходный газоход и опускной газоход, защитный экран кессона и ширмы работают на принудительной циркуляции;
- конструкция ширм и ремонтных люков опускного газохода сохраняется существующей;
- барабан-сепаратор не меняется.

Спецификация оборудования газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Спецификация оборудования газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК»

Наименование и техническая характеристика	Завод-изготовитель	Тип, марка	Единица измерения	Кол-во
1 Котел-утилизатор, комплектно:	ГП «УкрТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ»	ОКГ 60 У2	компл.	1
1.1 Кессон			компл.	1
1.2 Подъемный газоход (включая крышку и опорный пояс)			компл.	1
1.3 Опускной газоход (включая ширмы)			компл.	1
1.4 Сухой бункер под опускным газоходом			шт.	1
1.5 Узел вгрузки пыли			шт.	1
1.6 Газоход грязного газа			шт.	1
1.7 Установка холодильников отбора проб			шт.	1
1.8 Лестницы и площадки котла-утилизатора			компл.	1
1.9 Каркас под площадки			шт.	1
2 Горелка	Дорогобужкотломаш	ГМ-40Х	шт.	1
3 Вентилятор	Бийский котельный завод	ВДН-12,5-1-У1	шт.	1
4 Насос	ООО «Сумский Машиностроительный Завод»	КО 650-80 УХЛ4 650-80	шт.	7

Надёжность работы ОКГ определяется надёжностью циркуляции, поддержанием заданного уровня воды в барабане-сепараторе, системой сигнализации предаварийных и аварийных ситуаций и блокировками, предотвращающими возможные аварии и обеспечивающими безопасность работы.

Циркуляционная система ОКГ обеспечит надёжность охлаждения поверхностей за счет определённых скоростей циркуляции при минимальном давлении в барабане-сепараторе 0,8 МПа.

Скорость воды в водоохлаждаемой крышке подъемного газохода – не менее 1,5 м/сек, в полых элементах (кессончики фурм и сыпучих) – 0,1 м/сек. Кратность циркуляции в поверхностях нагрева с принудительной циркуляцией – не менее 10, в поверхностях нагрева с естественной циркуляцией – не менее 80.

Для подтопки ОКГ предусмотрена горелка типа ГМ-40Х. Горелка обеспечивает надёжное смешение газа с воздухом, короткий факел и практически 100 % сжигание газа при минимальном образовании окислов азота. Горелка имеет запальник, который должен гореть постоянно.

Для подачи воздуха на горение устанавливается вентилятор типа ВДН-12,5-1. Технические характеристики вентилятора:

- расход воздуха 40 000 м³/ч;
- давление воздуха 3,7 кПа;
- число оборотов 1500 об/мин;
- мощность двигателя 90 кВт.

Воздух подаётся при подтопке в соответствии с расходом газа, при продувке кислородом – с максимальным расходом, обеспечивая более полное дожигание конвертерного газа и минимизацию выброса СО в атмосферу.

В случае аварийной остановки вентилятора газ в горелку не подаётся, а для охлаждения горелки при продувке автоматически включается эжектор сжатого воздуха, установленный в воздухопроводе. Воздух подсасывается снаружи через патрубок диаметром 800 мм с дросселем, открывающимся синхронно с подачей сжатого воздуха в эжектор.

Для дополнительного охлаждения в горелке установлена водяная форсунка, включаемая в работу одновременно с эжектором. Расход сжатого воздуха в эжектор 3000 м³/ч, давлением 0,4 МПа, расход воды на форсунку 3,0 м³/ч, расход эжектируемого воздуха ≈ 30 000 м³/ч.

Вместо двух существующих раскрывающихся половин крышек, на стыке которых при давлении под крышкой до 400 Па наблюдается постоянное выбивание продуктов горения конвертерного газа, должна быть установлена на песочном затворе водоохлаждаемая крышка из двух частей с уплотнением стыка. Крышка соединяется с подъёмным газоходом на песочном затворе. Подъём крышки при взрывах в конвертере ограничивается пружинными амортизаторами.

Существующие насосы заменяются семью новыми насосами типа КО 650-80 УХЛ4 (пять рабочих, два резервных) ООО «Сумский Машиностроительный Завод», что обеспечивает циркуляцию при установке дополнительных ширм.

В контуре принудительной циркуляции на напорных трубопроводах предусматриваются пять (вместо существующих двух) стандартных шламоотделителей

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

по типу установленных в ОКГ 160 У2 конвертера №2. Увеличение количества шламоотделителей обеспечит более высокое качество воды на котел.

В узле распределения ОКГ вода может подаваться из трёх цеховых трубопроводов. Подсоединение к ним осуществляется через узел распределения с отсечной арматурой. Арматура и трубопроводы в узле заменяются на новые.

Назначение узла питания – поддержание заданного уровня в барабане-сепараторе путём регулирования расхода воды.

Узел питания выполняется двумя трубопроводами (линиями) условным диаметром 200 мм (одна линия резервная).

Назначение сухого бункера – обеспечение приёма газа из ОКГ без подсоса воздуха при вертикальных и горизонтальных тепловых перемещениях опускаемого газохода, а также осаждение из потока газа крупных фракций типа пластин пыли и шлака, оседающих на поверхности нагрева опускаемого газохода и периодически падающих в бункер.

Бункер оборудуется ремонтными люками. Крупные фракции из бункера периодически сбрасываются под рабочую площадку цеха в шлаковоз, для чего под бункером имеется течка условным диаметром 250 мм с затвором. Участок течки между площадками с отметки 8,180 м и 18,000 м поворотный. Бункер снаружи изолируется базальтовыми матами.

5.2 Исходные данные

Расход конвертерных газов $V_p = 65\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Температура газов на входе в тракт $t_1 = 1650 \text{ }^\circ\text{C}$;

Запыленность газов на входе в тракт $g_n = \text{до } 200 \text{ г/м}^3$;

Состав газа: $\text{CO} = 90\%$, $\text{CO}_2 = 10\%$;

Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,2$;

Температура холодного воздуха $t_b = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;

Температура питательной воды $t_{\text{пв}} = 100 \div 104 \text{ }^\circ\text{C}$;

Давление питательной воды $p_{\text{пв}} = 5,8 \div 7,6 \text{ МПа}$;

Расход питательной воды $G_{\text{пв}} = 340 \text{ т/ч}$;

Давление пара в барабане-сепараторе $p_6 = 0,8 \div 4,0 \text{ МПа}$.

5.3 Средние характеристики продуктов сгорания

Теоретическое количество воздуха определяется по формуле (5.1) [42]:

$$V^0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot \text{CO}] \quad (5.1)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot 90] = 2,142 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Теоретический объем азота определяется по формуле (5.2) [42]:

										лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 \quad (5.2)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 2,142 = 1,69 \frac{M^3}{M^3}$$

Теоретический объем водяных паров определяется по формуле (5.3) [42]:

$$V_{H_2O}^0 = 0,0161 \cdot V^0 \quad (5.3)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,0161 \cdot 2,142 = 0,035 \frac{M^3}{M^3}$$

Объем водяных паров определяется по формуле (5.4) [42]:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (5.4)$$

$$V_{H_2O} = 0,035 + 0,0161 \cdot (1,2 - 1) \cdot 2,142 = 0,042 \frac{M^3}{M^3}$$

Теоретический объем 3-х атомных газов определяется по формуле (5.5) [42]:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO] \quad (5.5)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [10 + 90] = 1,0 \frac{M^3}{M^3}$$

Объем дымовых газов определяется по формуле (5.6) [42]:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0 \quad (5.6)$$

$$V_r = 1,0 + 1,69 + 0,042 + (1,2 - 1) \cdot 2,142 = 3,16 \frac{M^3}{M^3}$$

Объемная доля 3-х атомных газов определяется по формуле (5.7) [42]:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_r} \quad (5.7)$$

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

$$r_{\text{RO}_2} = \frac{1,0}{3,16} = 0,32$$

Объемная доля водяных паров определяется по формуле (5.8) [42]:

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\Gamma}} \quad (5.8)$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,042}{3,16} = 0,013$$

Суммарная объемная доля 3-х атомных газов находится по формуле (5.9) [42]:

$$r_n = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5.9)$$

$$r_n = 0,32 + 0,013 = 0,333$$

Энтальпия газов при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ и температуре газов ϑ , °C определяется по формуле (5.10) [42]:

$$I_{\Gamma}^0 = V_{\text{RO}_2} \cdot (c\vartheta)_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5.10)$$

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при нормальных условиях определяется по формуле (5.11) [42]:

$$I_{\text{B}}^0 = V^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{B}} \quad (5.11)$$

Энтальпия дымовых газов на 1 м³ топлива определяется по формуле (5.12) [1]:

$$I = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) \cdot I_{\text{B}}^0 \quad (5.12)$$

Все значения сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Энтальпия продуктов сгорания

ϑ , °C	$(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$, кДж/м ³	$(c\vartheta)_{\text{N}_2}$, кДж/м ³	$(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$, кДж/м ³	$(c\vartheta)_{\text{B}}$, кДж/м ³	$I_{0\Gamma}$, кДж/м ³	$I_{0\text{B}}$, кДж/м ³	I , кДж/м ³	ΔI , кДж/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	170,11	129,89	150,84	132,40	395,96	283,61	452,69	452,69
200	357,83	260,20	304,61	266,48	810,36	570,81	924,52	471,83
300	559,37	392,18	463,00	403,08	1241,60	863,39	1414,28	489,76

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
400	772,64	527,10	626,82	542,19	1689,76	1161,36	1922,04	507,76
500	997,22	664,53	795,26	684,65	2153,68	1466,51	2446,99	524,95
600	1223,48	804,48	967,89	830,46	2623,70	1778,84	2979,47	532,48
700	1462,31	946,94	1148,06	980,46	3110,86	2100,15	3530,89	551,42
800	1705,33	1093,59	1336,61	1131,30	3609,63	2423,24	4094,28	563,40
900	1952,54	1244,43	1525,16	1282,14	4119,68	2746,34	4668,95	574,67
1000	2203,94	1395,27	1726,28	1437,17	4634,45	3078,42	5250,13	581,18
1100	2459,53	1546,11	1927,40	1596,39	5153,41	3419,47	5837,30	587,17
1200	2719,31	1696,95	2132,71	1755,61	5676,73	3760,52	6428,83	591,53
1300	2979,09	1851,98	2346,40	1914,83	6207,49	4101,57	7027,80	598,97
1400	3243,06	2011,20	2560,09	2078,24	6749,51	4451,59	7639,83	612,03
1500	3507,03	2166,23	2782,16	2241,65	7284,81	4801,61	8245,13	605,30
1600	3771,00	2325,45	3004,23	2405,06	7827,19	5151,64	8857,52	612,38
1700	4039,16	2484,67	3230,49	2568,47	8373,93	5501,66	9474,27	616,75
1800	4307,32	2643,89	3460,94	2731,88	8920,85	5851,69	10091,19	616,93
1900	4575,48	2807,30	3691,39	2899,48	9474,86	6210,69	10716,99	625,80
2000	4847,83	2966,52	3930,22	3067,08	10026,32	6569,69	11340,26	623,26
2100	5120,18	3129,93	4164,86	3234,68	10584,69	6928,68	11970,42	630,17
2200	5392,53	3293,34	4403,69	3402,28	11143,23	7287,68	12600,77	630,34

5.4 Тепловой баланс котла

Объемная теплоемкость CO при $t_1 = 1650$ °C: $c'_{pm} = 1,4786$ кДж/(м³·°C) [43].

Объемная теплоемкость CO₂ при $t_1 = 1650$ °C: $c'_{pm} = 2,3649$ кДж/(м³·°C) [43].

Объемная теплоемкость конвертерного газа находится по формуле (5.13) [12]:

$$c_p = \sum c_{p_i} \cdot r_i \quad (5.13)$$

$$c_p = 1,4786 \cdot 0,9 + 2,3649 \cdot 0,1 = 1,5672 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Физическое тепло газов определяется по формуле (5.14) [42]:

$$Q_{\text{физ}} = c_p \cdot t_1 \quad (5.14)$$

$$Q_{\text{физ}} = 1,5672 \cdot 1650 = 2586 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Низшая теплота сгорания CO $Q^p_{н(\text{CO})} = 3018$ ккал/м³ = 12645 кДж/м³ [42].

Низшая теплота сгорания конвертерного газа находится по (5.15) [42]:

									лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

$$Q_H^p = 0,9 \cdot Q_{H(\text{CO})}^p \quad (5.15)$$

$$Q_H^p = 0,9 \cdot 12645 = 11381 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Теплоемкость конвертерной пыли $c_{\text{п}} = 0,982 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C}$.

Тепло, вносимое в котел с пылью, определяется по формуле (5.16):

$$Q_{\text{п}} = c_{\text{п}} \cdot g_{\text{п}} \cdot t \quad (5.16)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,982 \cdot 0,2 \cdot 1650 = 324,1 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Располагаемая теплота топлива определяется по формуле (5.17) [42]:

$$Q_p^p = Q_{\text{физ}} + Q_H^p + Q_{\text{п}} \quad (5.17)$$

$$Q_p^p = 2586 + 11381 + 324,1 = 14291,1 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Температура уходящих газов (предварительно): $t_2 = 550 \text{ °C}$.

Энтальпия уходящих газов: $I_2 = 2713,23 \text{ кДж/м}^3$.

Энтальпия холодного воздуха: $I_{\text{х.в}} = 85,1 \text{ кДж/м}^3$.

Потери тепла с уходящими газами определяется по формуле (5.18) [42]:

$$q_2 = \frac{(I_2 - \alpha_{\text{yx}} \cdot I_{\text{х.в}}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p} \quad (5.18)$$

$$q_2 = \frac{(2713,23 - 1,2 \cdot 85,1) \cdot (100 - 0)}{14291,1} = 18,27 \%$$

Потери теплоты от химической неполноты сгорания [10]: $q_3 = 1,5 \%$.

Потери теплоты в окружающую среду [10]: $q_5 = 0,5 \%$.

Суммарные потери теплоты определяется по формуле (5.19) [10]:

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_5 \quad (5.19)$$

$$\Sigma q = 18,27 + 1,5 + 0,5 = 20,27 \%$$

КПД определяется по формуле (5.20) [42]:

									лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ				

$$\eta = 100 - \Sigma q \quad (5.20)$$

$$\eta = 100 - 20,27 = 79,73 \%$$

Коэффициент сохранения теплоты определяется по формуле (5.21) [42]:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5} \quad (5.21)$$

$$\varphi = 1 - \frac{0,5}{79,73 + 0,5} = 0,975$$

Давление в барабане $p_6 = 4,0$ МПа.

Энтальпия насыщенного пара $I_{\text{нп}} = 2799,29$ кДж/кг [42].

Энтальпия котловой воды $I_{\text{к}} = 1088,99$ кДж/кг [42].

Скрытая теплота парообразования $r = 1710,31$ кДж/кг [42].

Температура насыщенного пара $t_{\text{нп}} = 250,35$ °С [42].

Температура питательной воды $t_{\text{пв}} = 104$ °С.

Давление питательной воды $p_{\text{пв}} = 7,6$ МПа.

Энтальпия питательной воды $I_{\text{пв}} = 441,71$ кДж/кг [42].

Процент продувки принимается $q_{\text{пр}} = 10$ %.

Паропроизводительность котла определяется по формуле (5.22) [3]:

$$D_{\text{нп}} = \frac{B \cdot Q_p^p \cdot \eta}{(I_{\text{нп}} - I_{\text{пв}}) + 0,1 \cdot (I_{\text{к}} - I_{\text{пв}})} \quad (5.22)$$

$$D_{\text{нп}} = \frac{65000 \cdot 14291,1 \cdot 0,7973}{(2799,29 - 441,71) + 0,1 \cdot (1088,99 - 441,71)} = 305,6 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$$

5.5 Конструктивные характеристики котла

Все конструктивные характеристики котла определяются по чертежам котла-утилизатора ОКГ 160 У2.

Подъемный газоход

Площадь левого экрана:

$$H_{\text{т}}^{\text{л}} = (1,5 + 2 \cdot 1,63 + 6,9 + 3,25 + 19,2) \cdot 4,2 = 138,4 \text{ м}^2$$

Площадь правого экрана:

$$H_{\text{т}}^{\text{п}} = (1,15 + 2 \cdot 5,8 + 3,9 + 1,5 + 19,7) \cdot 4,2 = 134,6 \text{ м}^2$$

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	13.04.01.2020.123.08 ПЗ	<i>лист</i> 35

Площадь фронтального экрана:

$$H_T^\phi = (0,8 \cdot 4,25 + 2 \cdot 1,42 \cdot 4,25 + 6,19 \cdot 4,25) + (2,5 + 2 \cdot 1,42 + 19) \cdot 4,25 = 145,2 \text{ м}^2$$

Площадь заднего экрана:

$$H_T^3 = 145,2 - 6,5 \cdot 4,25 = 117,5 \text{ м}^2$$

Площадь потолка:

$$H_T^{\text{пот}} = 4,2 \cdot 4,25 = 17,9 \text{ м}^2$$

Суммарная лучевоспринимающая поверхность находится по (5.23):

$$H_T = H_T^{\text{л}} + H_T^{\text{п}} + H_T^\phi + H_T^3 + H_T^{\text{пот}} \quad (5.23)$$

$$H_T = 138,4 + 134,6 + 145,2 + 117,5 + 17,9 = 553,6 \text{ м}^2$$

Объем топочной камеры:

$$V_T = 145,2 \cdot 4,2 = 609,8 \text{ м}^3$$

Эффективная толщина излучающего слоя (5.24) [1]:

$$S = \frac{3,6 \cdot V_T}{H_T} \quad (5.24)$$

$$S = \frac{3,6 \cdot 609,8}{553,6} = 3,97 \text{ м}$$

Переходной газовой

Площадь потолочного экрана:

$$H_{\text{п}}^{\text{пот}} = 2,18 \cdot 4,25 = 9,3 \text{ м}^2$$

Площадь пода:

$$H_{\text{п}}^{\text{под}} = 2,91 \cdot 4,25 = 12,4 \text{ м}^2$$

Площадь боковой поверхности (правый и левый экран):

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$H_{\Pi}^{\text{бок}} = (4,62 \cdot 2,18 + 0,5 \cdot 2,18 \cdot 1,92) \cdot 2 = 24,3 \text{ м}^2$$

Суммарная лучевоспринимающая поверхность определяется по (5.25):

$$H_{\Pi} = H_{\Pi}^{\text{пот}} + H_{\Pi}^{\text{под}} + H_{\Pi}^{\text{бок}} \quad (5.25)$$

$$H_{\Pi} = 9,3 + 12,4 + 24,3 = 46 \text{ м}^2$$

Объем переходного газохода:

$$V_{\Pi} = 4,25 \cdot \frac{24,3}{2} = 51,63 \text{ м}^3$$

Эффективная толщина излучающего слоя (5.24) [42]:

$$S = \frac{3,6 \cdot 51,63}{46} = 4,04 \text{ м}$$

Опускной газоход

Площадь испарительных ширм:

$$H_{\text{о}}^{\text{ш}} = 2 \cdot (3,35 \cdot 2,08 - 0,5 \cdot 3,35 \cdot 1,1) \cdot 0,88 \cdot 9 = 1074 \text{ м}^2$$

Площадь поперечной части ширм:

$$H_{\text{о}}^{\text{поп ш}} = 2 \cdot (3,35 \cdot 4,62 - 0,5 \cdot 3,35 \cdot 0,5) \cdot 0,88 \cdot 9 = 231,8 \text{ м}^2$$

Площадь продольной части ширм:

$$H_{\text{о}}^{\text{пр ш}} = 1074 - 231,8 = 842,2 \text{ м}^2$$

Площадь боковых экранов:

$$H_{\text{о}}^{\text{бок}} = 2 \cdot (4,2 \cdot 20,8 - 0,5 \cdot 4,2 \cdot 1,1) = 170,1 \text{ м}^2$$

Площадь фронтального экрана:

$$H_{\text{о}}^{\text{ф}} = 4,25 \cdot (19,65 + 3,5) = 98,4 \text{ м}^2$$

Площадь заднего экрана:

$$H_{\text{о}}^{\text{з}} = 4,25 \cdot 16,5 = 70,1 \text{ м}^2$$

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

Суммарная поверхность экранов определяется по формуле (5.26):

$$H_o^{\text{экp}} = H_o^{\text{бок}} + H_o^{\text{ф}} + H_o^3 \quad (5.26)$$

$$H_o^{\text{экp}} = 170,1 + 98,4 + 70,1 = 338,6 \text{ м}^2$$

Поперечная поверхность экранов:

$$H_o^{\text{поп экp}} = 2 \cdot (4,25 \cdot 4,62 - 0,5 \cdot 4,25 \cdot 1) = 35,02 \text{ м}^2$$

Продольная поверхность экранов:

$$H_o^{\text{пр экp}} = 338,6 - 35,02 = 303,5 \text{ м}^2$$

Суммарная поперечная поверхность экранов находится по (5.27):

$$H_o^{\text{поп}} = H_o^{\text{поп ш}} + H_o^{\text{поп экp}} \quad (5.27)$$

$$H_o^{\text{поп}} = 231,8 + 35,02 = 266,82 \text{ м}^2$$

Суммарная продольная поверхность экранов определяется по (5.28):

$$H_o^{\text{пр}} = H_o^{\text{пр ш}} + H_o^{\text{пр экp}} \quad (5.28)$$

$$H_o^{\text{пр}} = 842,2 + 303,5 = 1145,7 \text{ м}^2$$

Эффективная толщина излучающего слоя (5.29) [42]:

$$S = \frac{1,8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C}} \quad (5.29)$$

$$S = \frac{1,8}{\frac{1}{3,35} + \frac{1}{0,6} + \frac{1}{19,5}} = 0,89 \text{ м}$$

Эквивалентный диаметр:

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

$$d_{\text{эк}} = \frac{4 \cdot 12,46}{2 \cdot (4,2 + 4,25) + 3,14 \cdot (0,038 \cdot 372 + 0,057 \cdot 132)} = 0,58 \text{ м}$$

Суммарная лучевоспринимающая поверхность газохода находится по (5.30):

$$H_o = H_o^{\text{поп}} + H_o^{\text{пр}} \quad (5.30)$$

$$H_o = 266,82 + 1145,7 = 1412,5 \text{ м}^2$$

5.6 Расчет подъемного газохода

Температура газов на входе в конвертер $v'_k = 1650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Энтальпия газов на входе в конвертер $I'_k = 9165,89 \text{ кДж/м}^3$.

Тепло, вносимое в конвертер воздухом определяется по формуле (5.31) [42]:

$$Q = \alpha \cdot I_{\text{хв}}^0 \quad (5.31)$$

$$Q = 1,2 \cdot 85,1 = 102,12 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Полезное тепловыделение в конвертере определяется по формуле (5.32) [42]:

$$Q_k = Q_p \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_b \quad (5.32)$$

$$Q_k = 14291,1 \cdot \frac{100 - 1,5}{100} + 102,12 = 14178,9 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Адиабатическая температура горения определяется по таблице 5.1:

$v_a = 2454 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент [3]: $M = 0,48$.

Коэффициент эффективности экранов [42]: $\zeta = 0,65$.

Угловой коэффициент гладкотрубных экранов [42]: $x = 0,95$.

Коэффициент тепловой эффективности поверхности экранов можно определить по формуле (5.33) [42]:

$$\psi_{\text{ср}} = x \cdot \zeta \quad (5.33)$$

$$\psi_{\text{ср}} = 0,95 \cdot 0,65 = 0,62$$

										лист
										39
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 м³ топлива находится по формуле (5.34) [42]:

$$V_{c_{cp}} = \frac{Q_k - I_k'}{v_a - v_k'} \quad (5.34)$$

$$V_{c_{cp}} = \frac{14178,9 - 9474,27}{2454 - 1650} = 6,24 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Следующим параметром определяется произведение $p \cdot r_n \cdot S$ [42],
 где p – давление в топке, МПа; $p = 1$ МПа;
 r_n – суммарная объемная доля 3-х атомных газов;
 S – эффективная толщина излучающего слоя, м.

$$p \cdot r_n \cdot S = 1 \cdot 0,333 \cdot 3,97 = 1,32 \text{ м} \cdot \text{МПа}$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами получим по (5.35) [42]:

$$k = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{p \cdot r_n \cdot S}} - 0,1 \right) \times \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T''}{1000} \right) \cdot r_n \quad (5.35)$$

где $T'' = 1500$ °С – температура на выходе из подъемного газохода по предварительному выбору;
 r_{H_2O} – объемная доля водяных паров.

$$k = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot 0,013}{\sqrt{1,32}} - 0,1 \right) \times \left(1 - 0,37 \cdot \frac{[1500 + 273]}{1000} \right) \cdot 0,333 = 0,07 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Оптическая толщина излучающего слоя kpS [42]:

$$kpS = 0,07 \cdot 1 \cdot 3,97 = 0,27$$

Степень черноты факела можно определить по формуле (5.36) [42]:

$$a_\phi = 1 - e^{-kpS} \quad (5.36)$$

$$a_\phi = 1 - e^{-0,27} = 0,24$$

Степень черноты топки определяется по формуле (5.37) [42]:

$$a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \psi_{cp}} \quad (5.37)$$

$$a_T = \frac{0,24}{0,24 + (1 - 0,24) \cdot 0,62} = 0,33$$

Расчетная температура газов на выходе подъемного газохода находится по формуле (5.38) [11, 42]:

$$g_T'' = \frac{g_a}{M \cdot \left(\frac{5,67 \cdot \psi_{cp} \cdot F_{ст} \cdot a_T \cdot g_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot VC_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 \quad (5.38)$$

$$g_T'' = \frac{2725,5}{0,48 \cdot \left(\frac{5,67 \cdot 0,62 \cdot 553,6 \cdot 0,33 \cdot 2725,5^3}{10^{11} \cdot 0,994 \cdot 18,06 \cdot 6,22} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1509,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Погрешность расчетной температуры газов на выходе подъемного газохода с ранее принятой определяется по следующему соотношению (5.39):

$$\Delta g = \frac{g_T'' - T_T''}{g_T''} \cdot 100 \% \quad (5.39)$$

$$\Delta g = \frac{1509,9 - 1500}{1509,9} \cdot 100 \% = 0,65 \%$$

Поскольку, погрешность принятой и расчетной температур составляет меньше 1 %, то дополнительный пересчет не требуется. В дальнейших расчетах будет использоваться расчетное значение температуры g''_m .

Энтальпия газов на выходе из подъемного газохода по значению расчетной температуры: $I''_к = 8305 \text{ кДж/м}^3$

Количество тепла, воспринятое в топке, находится по формуле (5.40) [42]:

$$Q_{л} = \varphi \cdot (Q_k - I''_к) \quad (5.40)$$

$$Q_{л} = 0,944 \cdot (14170 - 8305) = 5828,6 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

5.7 Расчет переходного газохода

Температура газов на входе в переходный газоход $\vartheta'_n = 1505,9$ °С.

Энтальпия газов на входе в переходный газоход $I'_n = 8305$ кДж/м³.

Температура газов на выходе из переходного газохода (принимается):

$\vartheta''_n = 1400$ °С.

Энтальпия газов на выходе из переходного газохода $I''_n = 7640$ кДж/м³.

Средняя температура газов в газоходе определяется по формуле (5.41):

$$\vartheta_{\text{cp}} = \frac{\vartheta'_n + \vartheta''_n}{2} \quad (5.41)$$

$$\vartheta_{\text{cp}} = \frac{1505,9 + 1400}{2} = 1454,9 \text{ °С}$$

Тепловосприятие по балансу можно определить по формуле (5.42) [42]:

$$Q_6 = \varphi \cdot (I'_n - I''_n) \quad (5.42)$$

$$Q_6 = 0,994 \cdot (8305 - 7640) = 660,9 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Коэффициент загрязнения экранов [11]: $\varepsilon_{\text{экp}} = 0,1$.

Температура загрязненной стенки находится по формуле (5.43) [42]:

$$t_3 = \vartheta_{\text{cp}} + \Delta\vartheta, \quad (5.43)$$

где $\Delta\vartheta = 60$ °С.

$$t_3 = 1454,9 + 60 = 1514,9 \text{ °С}$$

Эффективная температура среды определяется по формуле (5.44) [42]:

$$T_{\phi} = 0,925 \cdot \sqrt{\vartheta_{\phi} \cdot \vartheta''_n} \quad (5.44)$$

$$T_{\phi} = 0,925 \cdot \sqrt{2725,5 \cdot (1400 + 273)} = 1975,2 \text{ °К}$$

Лучистое тепло можно определить по формуле (5.45) [42]:

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

$$Q_{\text{п}} = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{a_{\text{T}} \cdot H_{\text{п}}}{B_{\text{п}}} \cdot (T_{\text{ф}}^4 - T_3^4) \quad (5.45)$$

$$Q_{\text{п}} = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0,33 \cdot 46}{18,06} \cdot (1975,2^4 - [1514,9 + 273]^4) = 241,44 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

5.8 Расчет опускающего газохода

Температура газов на входе в опускающей газоход $\mathcal{G}'_o = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Энтальпия газов на входе в опускающей газоход $I'_o = 7640 \text{ кДж/м}^3$.

Температура газов на выходе из опускающего газохода (принимается):
 $\mathcal{G}''_o = 600 \text{ }^\circ\text{C}$.

Энтальпия газов на выходе из опускающего газохода $I''_o = 2979 \text{ кДж/м}^3$.

Тепловосприятие газохода по балансу определяется по формуле (5.46) [42]:

$$Q_{\mathcal{G}} = \varphi \cdot (I'_o - I''_o) \quad (5.46)$$

$$Q_{\mathcal{G}} = 0,994 \cdot (7640 - 2979) = 4631,3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Температура питательной воды на входе $t'_1 = 104 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура питательной воды на выходе $t'_2 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Большой перепад температур между средами можно найти по (5.47) [11]:

$$\Delta t_{\mathcal{G}} = \mathcal{G}'_o - t'_2 \quad (5.47)$$

$$\Delta t_{\mathcal{G}} = 1400 - 200 = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$$

Меньший перепад температур между средами определяется по следующему соотношению (5.48) [11]:

$$\Delta t_{\text{м}} = \mathcal{G}''_o - t'_1 \quad (5.48)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 600 - 104 = 496 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура газов находится по формуле (5.49) [42]:

$$\mathcal{G}_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{G}'_o + \mathcal{G}''_o}{2} \quad (5.49)$$

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	лист 43	

$$g_{\text{cp}} = \frac{1400 + 600}{2} = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Площадь живого сечения при поперечном омывании ширм определяется по формуле (5.50) [11]:

$$F_{\text{поп}} = a \cdot b - z_1 \cdot l \cdot d, \quad (5.50)$$

где a – длина сечения газохода, м;
 b – ширина сечения газохода, м;
 z_1 – количество труб в ряду, шт;
 l – длина труб, м;
 d – диаметр труб, м.

$$F_{\text{поп}} = 4,2 \cdot 4,25 - 9 \cdot 20,7 \cdot 0,038 = 10,8 \text{ м}^2$$

Площадь живого сечения при продольном омывании ширм газом находится по формуле (5.51) [11]:

$$F_{\text{пр}} = a \cdot b - z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (5.51)$$

где z – число труб, шт.

$$F_{\text{пр}} = 4,2 \cdot 4,25 - 522 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038^2}{4} = 17,3 \text{ м}^2$$

Скорость газов в поперечном сечении определяется по формуле (5.52) [11]:

$$\omega_{\text{поп}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot B_{\text{п}} \cdot g_{\text{cp}}}{273 \cdot F_{\text{поп}}} \quad (5.52)$$

$$\omega_{\text{поп}} = \frac{3,16 \cdot 18,06 \cdot (1000 + 273)}{273 \cdot 10,8} = 24,7 \text{ м/с}$$

Скорость газов в продольном сечении можно найти по формуле (5.53) [11]:

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot B_{\text{п}} \cdot g_{\text{cp}}}{273 \cdot F_{\text{пр}}} \quad (5.53)$$

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{3,16 \cdot 18,06 \cdot (1000 + 273)}{273 \cdot 17,3} = 15,4 \text{ м/с}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании ширм определяется по формуле (5.54) [11]:

$$\alpha_{\text{к поп}} = \alpha_{\text{н}} \cdot C_S \cdot C_Z \cdot C_{\phi}, \quad (5.54)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – номинальный коэффициент теплоотдачи. $\alpha_{\text{н}} = 111$ [42];

C_S – поправка на геометрию пучка. $C_S = 0,6$ [42];

C_Z – поправка на количество рядов z труб по ходу газов. $C_Z = 0,993$ [42];

C_{ϕ} – поправка на физические характеристики потока при изменении температуры и состава теплоносителя. $C_{\phi} = 0,88$ [42].

$$\alpha_{\text{к поп}} = 111 \cdot 0,6 \cdot 0,993 \cdot 0,88 = 58,2 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}} = 67,68 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании ширм находится из формулы (5.55) [11]:

$$\alpha_{\text{к пр}} = \alpha_{\text{н}} \cdot C_l \cdot C_{\phi}, \quad (5.55)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – номинальный коэффициент теплоотдачи. $\alpha_{\text{н}} = 24$ [42];

C_l – поправка на относительную длину пучка. $C_l = 1,0$ [42];

C_{ϕ} – поправка на физические характеристики потока при изменении температуры и состава теплоносителя. $C_{\phi} = 0,7$ [42].

$$\alpha_{\text{к пр}} = 24 \cdot 1 \cdot 0,7 = 17,3 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}} = 20,1 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Следующим параметром определяется произведение $p \cdot r_n \cdot S$ [42], где p – давление в топке, МПа. $p = 1$ МПа;

r_n – суммарная объемная доля 3-х атомных газов;

S – эффективная толщина излучающего слоя, м.

$$p \cdot r_n \cdot S = 1 \cdot 0,333 \cdot 0,89 = 0,29 \text{ м} \cdot \text{МПа}$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами можно определить по формуле (5.35) [42]:

										лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

$$k = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot 0,013}{\sqrt{0,29}} - 0,1 \right) \times \left(1 - 0,37 \cdot \frac{[600 + 273]}{1000} \right) \cdot 0,333 = 0,31 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$$

Оптическая толщина излучающего слоя находится из соотношения (5.56) [42]:

$$kpS = k \cdot p \cdot r_n \cdot S \quad (5.56)$$

$$kpS = 0,31 \cdot 0,29 = 0,09$$

Степень черноты потока можно определить по формуле (5.57) [42]:

$$a_r = 1 - e^{-kpS} \quad (5.57)$$

$$a_r = 1 - e^{-0,09} = 0,086$$

Коэффициент загрязнения [11]: $\varepsilon = 0,1$.

Температура загрязненной стенки находится по (5.37), где $\Delta\vartheta = 60$ °С.

$$t_3 = 1000 + 60 = 1060 \text{ °С}$$

Эффективная температура среды определяется по формуле (5.44):

$$T_\phi = 0,925 \cdot \sqrt{2725,5 \cdot (1000 + 273)} = 1723 \text{ °К}$$

Лучистое тепло можно найти по формуле (5.45):

$$Q_{\text{л}} = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0,33 \cdot 1412,5}{18,06} \cdot (1723^4 - [1060 + 273]^4) = 9096,6 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Степень черноты загрязненных стенок [42]: $a_3 = 0,8$.

Средняя температура обогреваемой среды определяется по (5.58) [42]:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1' + t_2'}{2} \quad (5.58)$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{104 + 200}{2} = 152 \text{ °С}$$

Абсолютная температура потока определяется по формуле (5.59) [42]:

						13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			46

$$T = t_{cp} + \Delta t \quad (5.59)$$

$$T = 152 + 797,7 = 949,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплоотдачи излучением находится по формуле (5.60) [42]:

$$\alpha_{л} = \sigma_0 \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a_r \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_3}{T}} \quad (5.60)$$

$$\alpha_{л} = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,086 \cdot (949,7 + 273)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1060 + 273}{949,7 + 273}\right)^4}{1 - \frac{1060 + 273}{949,7 + 273}} = 0,0307 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Коэффициент использования $\zeta = 0,85$ [42].

Угловой коэффициент ширм $x = 0,72$ [42].

Коэффициент теплоотдачи по газовой стороне при поперечном омывании ширм потоком определяется по формуле (5.61) [42]:

$$\alpha_{поп} = \xi \cdot \left(\alpha_{кпоп} \cdot \frac{\pi \cdot d}{2 \cdot s_2 \cdot x} + \alpha_{л} \right) \quad (5.61)$$

$$\alpha_{поп} = 0,85 \cdot \left(67,68 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,72} + 0,0307 \right) = 79,48 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Коэффициент теплоотдачи по газовой стороне при продольном омывании ширм потоком находится по формуле (5.62) [42]:

$$\alpha_{пр} = \xi \cdot \left(\alpha_{кпр} \cdot \frac{\pi \cdot d}{2 \cdot s_2 \cdot x} + \alpha_{л} \right) \quad (5.62)$$

$$\alpha_{пр} = 0,85 \cdot \left(20,1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,038}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,72} + 0,0307 \right) = 23,62 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Коэффициент теплопередачи для ширмовых поверхностей можно определить по формуле (5.63) [42]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист 47

$$k = \frac{\alpha_{\text{поп}}}{1 + \left(1 + \frac{Q_6}{Q_6}\right) \cdot \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}}\right) \cdot \alpha_{\text{поп}}} \quad (5.63)$$

$$k = \frac{79,48}{1 + \left(1 + \frac{4631,3}{9096,6}\right) \cdot \left(0,1 + \frac{1}{23,26}\right) \cdot 79,48} = 73,8 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Тепловосприятие по уравнению теплопередачи находится по (5.64) [42]:

$$Q_T = \frac{H_{\text{сум}} \cdot \Delta t \cdot k}{B_p \cdot 1000} \quad (5.64)$$

$$Q_T = \frac{1412,5 \cdot 797,7 \cdot 73,8}{18,06 \cdot 1000} = 4605,6 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Расхождение расчетных тепловосприятий определяется из (5.65) [44]:

$$\Delta Q = \frac{Q_6 - Q_T}{Q_6} \cdot 100 \% \quad (5.65)$$

$$\Delta Q = \frac{4631,3 - 4605,6}{4631,3} \cdot 100\% = 0,55 \%$$

Поскольку расхождение тепловосприятий по балансовому расчету и по уравнению теплопередачи в тепловом расчете составляет менее 1 %, то дополнительный пересчет не требуется.

Таким образом, принятые температуры газов на участках газового тракта близки к действительным и также не требуют пересчета.

В соответствии с требованиями технологической схемы температура уходящих из котла газов должна быть не выше 650 °С. По представленному выше расчету, температура уходящих газов составляет $\vartheta''_o = 600 \text{ °C}$, что удовлетворяет требованиям технологического процесса.

6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

На сегодняшний день для промышленных предприятий России перспективной стратегией развития является повышение энергоэффективности и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. В соответствии с Федеральным законом №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г. [1] и Энергетической стратегии России на период до 2030 года [45] предприятия должны разрабатывать и внедрять в производственный процесс мероприятия, позволяющие повысить собственную энергоэффективность предприятия, максимально рационально использовать энергетические ресурсы, а также должны финансово способствовать развитию сферы энергосбережения страны.

Под энергоэффективностью подразумевают наиболее рациональное и эффективное использование предприятием топливно-энергетических ресурсов всех видов. Повысить энергоэффективность на предприятии можно внедрением инновационных энергосберегающих технологий производственного и вспомогательных процессов.

К энергосберегающим мероприятия можно отнести внедряемые для существующих предприятий технологии, по итогам реализации которых достигается максимальная экономия энергоресурсов на производство единицы продукции, по сравнению со стоимостью продукции для существующей схемы работы предприятия, при соблюдении санитарных и экологических требований.

Энергосберегающие мероприятия, проводимые промышленными предприятиями, можно разделить [46]:

- мероприятия первой группы. Они подразумевают снижение удельных затрат энергоносителей на единицу изготавливаемой продукции, которое может быть достигнуто: выбором энергоносителя для производственных процессов с наиболее рациональным видом и параметрами; использованием в процессах энергоэффективных технологий и оборудования; интенсификацией производственных процессов; использованием вторичных энергоресурсов, если таковые получаются в ходе производственных процессов;

- мероприятия второй группы. Они направлены на выравнивание и оптимизацию графика выпуска готовой продукции в соответствии с требованиями потребителей и, тем самым, снизить удельные расходы сырья и топливно-энергетических ресурсов на изготовление единицы продукции.

Для кислородно-конвертерного цеха основным и наиболее значимым мероприятием по повышению энергоэффективности и энергосбережения является реконструкция основного технологического оборудования – конвертеров и их газотводящих трактов, которое и рассматривается в данной работе.

Для того чтобы работа предприятия в большей степени соответствовала Федеральному закону №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г. [1] и Постановлению Правительства РФ

					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>49</i>

от 13 апреля 2010г. №235 «О внесении изменений в положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», касающихся «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов» для кислородно-конвертерного цеха предусматриваются дополнительные мероприятия по энергосбережению. Эти мероприятия заключаются в обеспечении кислородно-конвертерного цеха автоматизированной системой учета энергоресурсов производственного процесса, которая соответствует Федеральному закону №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г [44].

6.1 Автоматизированная система учета энергоресурсов

Автоматизированная система учета энергоресурсов (АСУЭР) конвертера №3 предназначена для обеспечения деятельности кислородно-конвертерного цеха по контролю, учету и анализу выработки, потребления, распределения и планирования энергоресурсов по комплексу кислородного конвертера №3 в части исполнения следующих процессов:

- автоматического сбора измерительной информации с узлов учета энергоресурсов комплекса конвертера №3 и распределения по агрегатам комплекса (конвертер №3, котёл ОКГ, газоочистка, насосная станция №15);
- первичной обработки измерительной информации (приведение расходов к нормальным условиям: 760 мм. ртутного столба; 20 град. Цельсия; приведение тепловой энергии к Гкал и т.д.);
- контроля технической исправности средств измерений, каналов сбора информации и вычислителей с формированием аварийного сигнала на верхний уровень АСУЭР ЧМК;
- передачи данных на верхний уровень АСУЭР ЧМК.

Целью создания АСУЭР конвертера №3 является организация надежной системы сбора и передачи достоверной информации об энергопотреблении от средств измерений (СИ) энергоресурсов до центрального сервера АСУЭР ЧМК.

Для достижения этих целей АСУЭР конвертера №3 должна обеспечивать:

- непрерывное измерение параметров физических величин в точках, где производятся замеры энергоресурсов;
- автоматическое вычисление приведение расходов энергоресурсов к нормальным условиям по сертифицированным алгоритмам;
- автоматизированный сбор информации о вырабатываемых и расходуемых на производстве энергоресурсах;
- автоматизированную обработку всей собранной информации с целью её дальнейшей систематизации;
- предоставление пользователям информации о текущих значениях производства и расхода энергоресурсов с узлов учета;
- передачу собранной информации по физическим каналам связи на сервер верхнего уровня АСУЭР ЧМК для обработки и хранения.

					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		50

6.2 Структура и функционирование системы

Структура АСУЭР конвертера №3 имеет 3-х уровневую иерархическую структуру, которая заключается в следующем:

– Уровень первичных преобразователей (полевой уровень датчиков КИП).

Задача этого уровня формирование измерительной информации. На данном уровне происходит преобразование физической величины в электрический сигнал (токовый или сопротивления).

– Уровень вычислителей (контроллеров). Задача этого уровня измерить электрический сигнал пропорциональный измеряемой физической величине и сформировать цифровой сигнал в соответствии с полученной измерительной информацией. Так же на этом уровне осуществляются вычисления с целью приведения расхода газов к нормальным условиям, расчет тепловой энергии, расчет массового расхода и др.

– Уровень сбора данных (цеховой сервер сбора данных). На данном уровне происходит сбор измерительной информации, прошедшей необходимые преобразования и подготовка ее к передаче с периодом не более 1 сек.

Передача информации от измерительного компонента системы (датчик КИП) к вычислительному компоненту (контроллер) осуществляется по экранированным проводным линиям связи.

Для передачи информации от вычислительного компонента системы (контроллер) к блоку сбора данных (цеховой сервер сбора данных) предусматривается создание сети уровня вычислителей и цеховой подсети с использованием открытых промышленных стандартов передачи данных (Ethernet) по оптоволоконной линии передачи данных.

Для передачи информации от блока сбора данных (цеховой сервер сбора данных) к серверу верхнего уровня АСУЭР ЧМК предусматривается выдача данных в заводскую сеть с использованием открытых промышленных стандартов передачи данных (Ethernet) по оптоволоконной линии передачи данных.

Таким образом АСУЭР конвертера №3 позволяет замерять и обрабатывать расходы по всем энергоносителям, которые участвуют в технологическом процессе, а также хранить эти данные для дальнейшего анализа. Эти данные позволяют оценить эффективность потребления того или иного энергоносителя с целью прогнозирования изменения схемы их потребления.

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Еще одной важной частью газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» является система газоочистки уходящих конвертерных газов.

Газоочистной тракт конвертера №3 представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких ступеней очистки. Принципиальная схема газоочистки представлена на рисунке Б.1 ПРИЛОЖЕНИЯ Б. Расшифровка условных обозначений на схеме: 1 –газоход "грязного газа"; 2 – скруббер; 3 – орошаемый газоход; 4 – регулируемая труба Вентури; 5 – каплеуловитель; 6 – завихритель каплеуловителя; 7 – бункер; 8 – гидрозатвор скруббера; 9 – гидрозатвор бункера; 10 – механизм исполнительный электрический к трубе вентури; 11 – узел распределения осветленной воды в помещении; 12 – фильтр; 13 – трубопроводы и арматура газоочистки; 14 – ловушка пленочной влаги; 15, 16 – таль; 17 – газоход "чистого газа"; 18 – нагнетатель; 19 – затвор дисковый с электроприводом; 20 - дымовая труба; В10 – осветленная вода; К6 – шламоотводы; ВС1 – сжатый воздух; Т1 – трубопровод теплофикации (прямой); Т2 – трубопровод теплофикации (обратный).

Одним из главных назначений газоотводящего тракта конвертера является снижение содержания вредных веществ в уходящих конвертерных газах перед сбросом их в окружающую среду. На долю газоочистного тракта приходится снижение остаточной температуры уходящих после дожига в конвертере и отработавших с, а также обеспыливание этих газов до нормируемых концентраций.

Первым этапом является охлаждение и предварительная очистка газов в орошаемом газоходе 1 и скруббере 2. Охлаждение осуществляется за счет подвода осветленной воды в газоход и скруббер и распыления её через форсунки. Осаждение крупных частиц пыли происходит в скруббере за счет осаждения на них капель распыленной воды. [47]

После орошаемого газохода и скруббера полочищенный газ поступает на трубы Вентури 4, куда также подается осветленная вода. В трубе Вентури газовой поток значительно ускоряется, вода в нём дробится на мельчайшие капли, обволакивая оставшиеся частицы пыли. В диффузоре трубы скорость движения потока уменьшается, частицы пыли склеиваются друг с другом и оседают в специальный бункер 7, а затем самотеком отводятся в шламоотвод. [48]

На выходе из труб Вентури газ содержит избыток влаги. Поэтому после труб Вентури установлены центробежные каплеуловители 5, в которые подается завихренный газовый поток. Под действием центробежных сил и сил тяжести, капли воды осаждаются в нижней части каплеуловителя, в то время как очищенный воздух поднимается вверх. После каплеуловителя очищенный газовый поток по газоходу 17 подается в дымовую трубу 21, после чего уже непосредственно выбрасывается в атмосферу.

Поскольку замена основного оборудования котла-утилизатора должна произойти с некоторыми доработками, то следует провести поверочный расчет газоочистного оборудования со старыми габаритами на рассчитанные новые параметры уходящих конвертерных газов, чтобы определить необходимость изменения габаритов газоочистного оборудования.

										лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

Выполним расчет для существующего скруббера системы газоочистки при следующих исходных данных:

Диаметр скруббера $D = 4$ м;

Потери давления на скруббере $\Delta p = 800$ Па;

Расход газа перед газоочисткой при н.у. $V_0 = 18,06$ м³/с;

Температура газа перед газоочисткой $t_1 = 600$ °С;

Расход осветленной воды на скруббер $V_{ж} = 0,07$ м³/с;

Разрежение газов перед газоочисткой $p_r = 1$ кПа.

Диаметр скруббера обычно определяется по формуле (7.1) [49]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot \omega_c}}, \quad (7.1)$$

где ω_c – скорость газа в скруббере, м/с.

При $\Delta p = 800$ Па скорость будет $\omega_c = 6$ м/с;

V_2 – объемный расход газа на выходе из скруббера при рабочих условиях, м³/с, который определяется по формуле (7.2) [49]:

$$V_2 = V_{o,c} \cdot \left(1 + \frac{x_2}{0,804}\right) \cdot \left(1 + \frac{t_2}{273}\right) \cdot \frac{101,3}{(P_{бар} \pm P_z)}, \quad (7.2)$$

где t_2 – температура газа на выходе из скруббера, °С;

$P_{бар}$ – барометрическое давление на местности, кПа. $P_{бар} = 97,5$ кПа;

p_r – разрежение газа в скруббере, кПа. $p_r = 1$ кПа;

x_2 – влагосодержание насыщенного водяным паром газа, г/м³, которое определяется по формуле (7.3) [49]:

$$x_2 = x_1 + \varphi \cdot \frac{V_{ж}}{V_{o,c}}, \quad (7.3)$$

где x_1 – начальное влагосодержание газа, г/м³.

Для конвертерного газа $x_1 = 0,015$ г/ [49];

φ – коэффициент испарения воды. $\varphi = 0,45 \dots 0,55$;

$V_{ж}$ – расход воды для орошения газа, м³/с;

$V_{o,c}$ – объемный расход газа на входе в скруббер при рабочих условиях, м³/с, который определяется по формуле (7.4) [49]:

$$V_{o,c} = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_{t_1}}, \quad (7.4)$$

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где V_0 – расход газа перед газоочисткой при нормальных условиях, м³/с;
 ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³. $\rho_0 = 1,295$ кг/м³;
 ρ_{t1} – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³, которая определяется по формуле (7.5) [49]:

$$\rho_{t_1} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (p_{\text{бар}} - p_{\Gamma})}{(273 + t_1) \cdot p_{\text{бар}}}, \quad (7.5)$$

где t_1 – температура газа перед газоочисткой, °С.

Подставив в формулу (7.1) взамен V_2 правую часть уравнения (7.2), выразим неизвестную температуру газов на выходе из скруббера t_2 и получим следующую формулу (7.6):

$$t_2 = 273 \cdot \left[\frac{D^2 \cdot \pi \cdot \omega_c \cdot (p_{\text{бар}} \pm p_{\Gamma})}{4 \cdot V_{o,c} \cdot \left(1 + \frac{x_2}{0,804}\right) \cdot p_{\text{бар}}} - 1 \right], \quad (7.6)$$

Подставляя в описанные выше выражения известные величины, определим температуру газов t_2 .

$$\rho_{t_1} = 1,295 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 - [-1])}{(273 + 600) \cdot 101,3} = 0,409 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{o,c} = 18,06 \cdot \frac{1,295}{0,409} = 57,19 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$x_2 = 0,015 + 0,55 \cdot \frac{0,07}{57,19} = 0,016 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$t_2 = 273 \cdot \left[\frac{4^2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot (97,5 - 1)}{4 \cdot 57,19 \cdot \left(1 + \frac{0,016}{0,804}\right) \cdot 101,3} - 1 \right] = 63,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Таким образом, получаем температуру практически равную температуре после скруббера для существующей системы газоочистки.

Далее рассчитаем коэффициент очистки уходящих газов после скруббера по формуле (7.7) [47]:

						13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			54

$$\eta_{\pi} = 1 - \exp \left[- \frac{3 \cdot V_{\text{ж}} \cdot \eta_3 \cdot (\omega_c + \omega_k) \cdot H}{2 \cdot V_{\text{o.c}} \cdot d_k \cdot \omega_k} \right], \quad (7.7)$$

где η_3 – эффективность захвата каплями частиц. $\eta_3 = 0,95$;

ω_k – скорость осаждения капли, м/с. $\omega_k = 0,25$ м/с;

H – высота скруббера, м. $H = 11$ м;

d_k – диаметр капли, м. $d_k = 0,0005$ м.

$$\eta_{\pi} = 1 - \exp \left[- \frac{3 \cdot 0,07 \cdot 0,95 \cdot (6 + 0,25) \cdot 11}{2 \cdot 57,19 \cdot 0,0005 \cdot 0,25} \right] = 0,89$$

Таким образом можно определить степень запыленности газа после скруббера по формуле (7.8) [13]:

$$C_2 = C_1 \cdot (1 - \eta_{\pi}), \quad (7.8)$$

где C_1 – начальная степень запыленности газа перед газоочисткой, г/м³.

$C_1 = 65$ г/м³.

$$C_2 = 65 \cdot (1 - 0,89) = 7,15 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

Теперь рассчитаем следующую ступень очистки.

Требуемая запыленность газов на выходе из трубы Вентури $C_k = 0,08$ г/м³.

Определим требуемую степень очистки газов по формуле (7.9) [49]:

$$\eta_T = 1 - \frac{C_k}{C_2} \quad (7.9)$$

$$\eta_T = 1 - \frac{0,08}{7,195} = 0,989$$

Общий расход энергии на очистку газа от пыли находится по формуле (7.10):

$$K = \left(\frac{\ln \frac{1}{1 - \eta_T}}{B} \right)^{\frac{1}{x}}, \quad (7.10)$$

где B и x – константы, зависящие от свойств улавливаемой пыли [49].

										лист
										55
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

$B = 0,0988; x = 0,466.$

$$K = \left(\frac{\ln \frac{1}{1 - 0,989}}{0,0988} \right)^{\frac{1}{0,466}} = 3609,4 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

Плотность газа в трубе Вентури при рабочих условиях может быть определена по формуле (7.10) [49]:

$$\rho_{t_2} = \rho_{02} \cdot \frac{273 \cdot p_{r2}}{(273 + t_2) \cdot p_{бар}}, \quad (7.10)$$

где ρ_{02} – плотность газа перед трубой Вентури при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$.
 $\rho_{02} = 1,077 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$\rho_{t_2} = 1,077 \cdot \frac{273 \cdot 97,3}{(273 + 63,15) \cdot 101,3} = 0,84 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объемный расход газа через трубу Вентури при рабочих условиях определяется по формуле (7.11) [49]:

$$V_{r2} = V_r^0 \cdot \frac{\rho_{02}}{\rho_{t_2}}, \quad (7.11)$$

где V_r^0 – объемный расход газа при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{ч}$. Поскольку в системе газоочистки устанавливается две трубы Вентури, то общий расход газа делится поровну на каждую $V_r^0 = 167\,500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

$$V_{r2} = 167500 \cdot \frac{1,077}{0,84} = 214725 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Общее гидравлическое сопротивление аппарата мокрой очистки можно определить по формуле (7.12) [49]:

$$\Delta p = K - p_{ж} \cdot m, \quad (7.12)$$

где $p_{ж}$ – напор воды, кПа. $p_{ж} = 500 \text{ кПа}$;

m – удельный расход орошающей жидкости, $\text{м}^3/\text{м}^3$, который можно определить по формуле (7.13):

										лист
										56
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

$$m = \frac{V_{ж2}}{V_{г2}}, \quad (7.13)$$

где $V_{ж2}$ – расход орошающей жидкости, м³/ч; $V_{ж2} = 350$ м³/ч.

$$m = \frac{350}{214725} = 0,0016 \frac{\text{М}^3}{\text{М}^3}$$

$$\Delta p = 3609,4 - 500 \cdot 10^3 \cdot 0,0016 = 2794,4 \text{ Па}$$

Температура газа на выходе из трубы Вентури находится по формуле (7.14):

$$t_3 = (0,133 - 41 \cdot m) \cdot t_2 + 35 \quad (7.14)$$

$$t_3 = (0,133 - 41 \cdot 0,016) \cdot 63,15 + 35 = 39,18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Далее определяем плотность газа на выходе из трубы Вентури при полученной температуре по формуле (7.15) [49]:

$$\rho_{t_3} = \rho_{02} \cdot \frac{273 \cdot (p_{бар} - \Delta p)}{(273 + t_3) \cdot p_{бар}} \quad (7.15)$$

$$\rho_{t_3} = 1,077 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 - 2,7944)}{(273 + 39,18) \cdot 101,3} = 0,916 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$$

Объемный расход газа на выходе из трубы Вентури найдем по формуле (7.11):

$$V_{г3} = 167500 \cdot \frac{1,077}{0,916} = 196972 \frac{\text{М}^3}{\text{ч}}$$

Скорость газа в горловине трубы Вентури определяется по (7.16) [49]:

$$\omega_{г} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\xi_c \cdot \rho_{t_3} + \xi_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot m}}, \quad (7.16)$$

где ξ_c – коэффициент гидравлического сопротивления для сухой трубы Вентури.

$$\xi_c = 0,15;$$

$\xi_{ж}$ – коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий ввод орошающей жидкости, который определяется по формуле (7.17) [49]:

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

$$\xi_{\text{ж}} = 0,63 \cdot \xi_{\text{с}} \cdot m^{-0,3} \quad (7.17)$$

$$\xi_{\text{ж}} = 0,63 \cdot 0,15 \cdot 0,0016^{-0,3} = 0,65 ;$$

$\rho_{\text{ж}}$ – ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТИ, КГ/М³.

$$\omega_{\text{т}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2798,4}{0,15 \cdot 0,916 + 0,65 \cdot 1000 \cdot 0,0016}} = 68,4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Диаметр горловины трубы Вентури определяется по формуле (7.18) [49]:

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{г3}}}{\omega_{\text{т}}}} \quad (7.18)$$

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{54,72}{68,41}} = 1,01 \text{ м}$$

В существующей системе газоочистки уходящих газов после котла-утилизатора ОКГ 160 У2 конвертера №3 ПАО «ЧМК» установлены две трубы Вентури сечением 1,01x0,99 метра. Определим эквивалентный диаметр прямоугольного канала при одинаковом расходе в круглом и прямоугольном сечениях по формуле (7.19) [50]:

$$d_{\text{ЭКВ}} = 1,22 \cdot \left[\frac{a^3 \cdot b^3}{(a + b)^{1,25}} \right]^{\frac{1}{4,75}} \quad (7.19)$$

где a и b – длина и ширина для прямоугольного сечения, м.

$$d_{\text{ЭКВ}} = 1,22 \cdot \left[\frac{1,01^3 \cdot 0,99^3}{(1,01 + 0,99)^{1,25}} \right]^{\frac{1}{4,75}} = 1,016 \text{ м}$$

Определим погрешность между рассчитанным диаметром для требуемой горловины трубы Вентури и эквивалентным диаметром существующей установки трубы Вентури по формуле (7.20):

$$\Delta d = \frac{d_{\text{ЭКВ}} - d}{d_{\text{ЭКВ}}} \cdot 100 \% \quad (7.20)$$

										лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

$$\Delta d = \frac{1,016 - 1,01}{1,016} \cdot 100 \% = 0,6 \%$$

Поскольку погрешность между двумя сравниваемыми диаметрами менее 1 %, то можно сделать вывод, что существующая труба Вентури с сечением 1,01x0,99 метра способна обеспечить требуемую для эффективной очистки скорость.

Полученная температура уходящего газа после трубы Вентури имеет значение ниже, чем температура газов после трубы Вентури существующей системы, таким образом, реконструкция существующей системы газоочистки не требуется.

					<i>13.04.01.2020.123.08 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		59

8 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Автоматизация технологических процессов является основой развития современной промышленности. Автоматизация нацелена на улучшение качества выпускаемой продукции, повышение эффективности труда, а также на создание оптимальных условий для рационального использования всех имеющихся в распоряжении предприятия ресурсов [51].

Принятый уровень автоматизации технологических процессов соответствует современным техническим решениям и позволяет обеспечить безаварийную работу котла-охладителя посредством автоматического контроля, регулирования и сигнализации параметров, управление и поддержание важнейших технологических параметров агрегатов газоотводящего тракта в заданных пределах [52].

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) газоотводящего тракта конвертера №3 предназначена для обеспечения эффективного управления технологическим процессом отвода, охлаждения, мокрой очистки конвертерных газов, для осуществления контроля текущих параметров энергоносителей, энергетических ресурсов, а также для совершенствования уровня эксплуатации оборудования газоотводящего тракта конвертера.

8.1 Структура АСУ ТП газоотводящего тракта

АСУ ТП проектируется как двухуровневая система, обеспечивающая автоматическое управление режимами и контурами регулирования технологических процессов в реальном времени, измерение, сбор, обработку информации и выдачу управляющих воздействий.

Нижний уровень реализуется на базе контроллеров S7-400N с оборудованием приёма, обработки сигналов и выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы газоотводящего тракта.

Верхний уровень реализуется на базе АРМ/серверов с сервисным оборудованием, обеспечивающим человеко-машинный интерфейс (ЧМИ).

Структурная схема АСУ ТП газоотводящего тракта приведена на рисунке 8.1.

Нижний уровень АСУ ТП состоит из:

- контроллерного шкафа управления №1/3, размещенного в общем помещении поста управления ГОТ К1...К3;
- шкафа №2/3 устройства ввода-вывода (RIO), размещенного в помещении управления нагнетателями.

В шкафу управления №1/3 устанавливаются контроллеры Simatic S7-417N, станции ввода-вывода ET200M, модули ввода – вывода, которые через интерфейсные модули IM-153-2 подключаются к шине Profibus, идущей от каждого контроллера.

Система S7-400N состоит из двух идентичных процессорных подсистем, работающих по принципу «ведущий-ведомый». Обе подсистемы связаны кабелем синхронизации и имеют программы всех функциональных задач и противоаварийных защит. Управление процессом осуществляет ведущая подсистема.

										лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

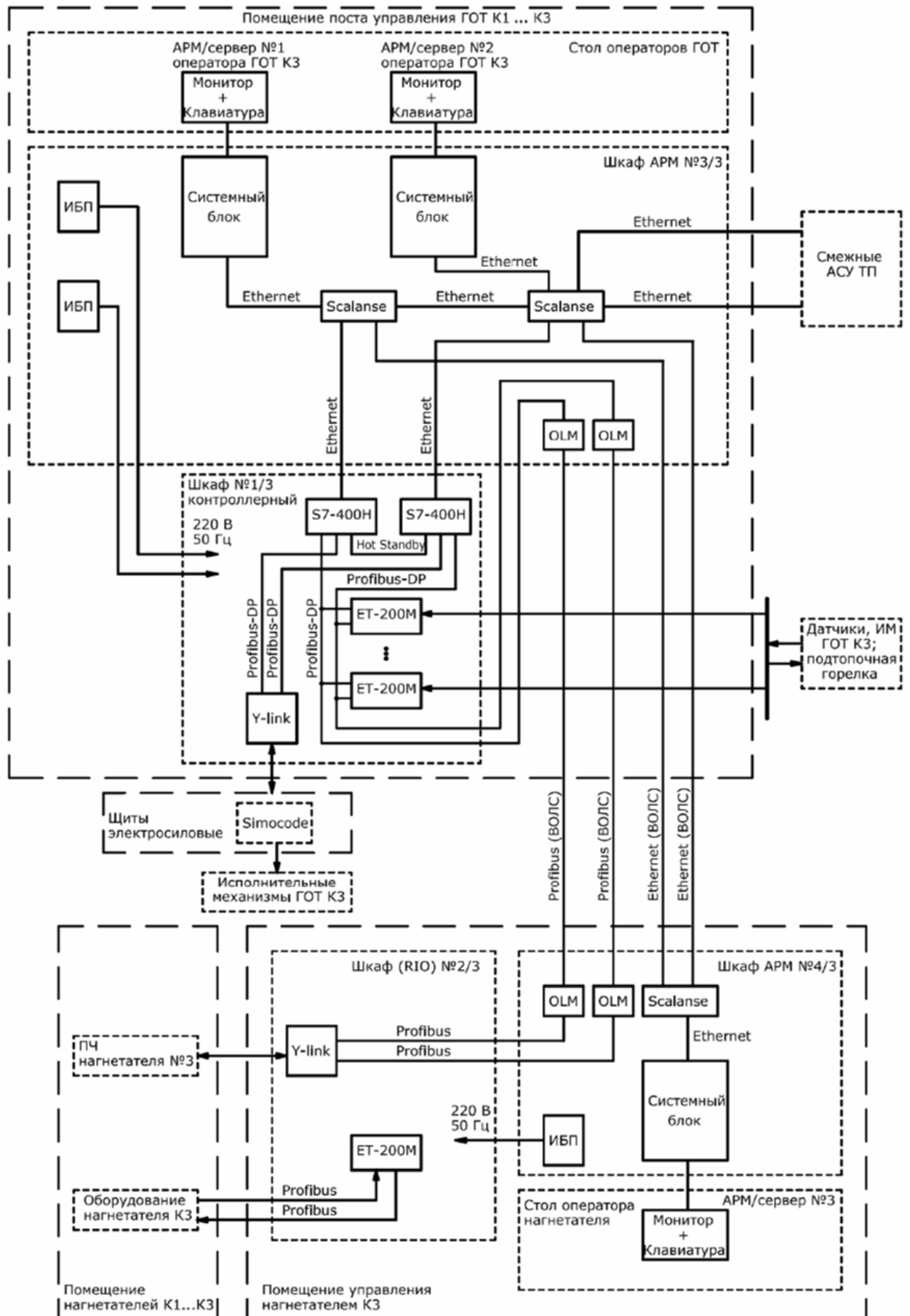


Рисунок 8.1 – Структурная схема АСУ ТП газоотводящего тракта

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

лист

61

Таким образом, обеспечивается защита АСУ ТП от отказа процессорного модуля или обрыва линии Profibus. При этом осуществляется прекращение плавки и перевод оборудования в безопасное состояние.

Верхний уровень имеет распределенную архитектуру, включающую:

- три АРМ/сервера операторов;
- источники бесперебойного питания (ИБП);
- принтер;
- локальные вычислительные сети (ЛВС).

Два АРМ/сервера с принтером, ИБП помещаются в шкаф АРМ №3/3 и вместе со столом оператора устанавливаются в общем помещении поста управления газоотводящим трактом К1...К3.

Один АРМ/сервер с ИБП помещается в шкаф АРМ №4/3 и вместе со столом оператора устанавливается в помещении управления нагнетателем.

Структура системы обеспечивает работоспособность всей системы при отказе одного из АРМ/серверов.

АРМ/сервер реализует функции автоматизированного рабочего места оператора, а также технологического сервера и имеет в своем составе:

- системный блок в промышленном исполнении;
- TFT монитор, клавиатуру и манипулятор «мышь» в офисном исполнении.

Источник бесперебойного питания (ИБП) входит в комплект каждого АРМ/сервера. ИБП обеспечивает защиту АРМ/сервера от перепадов напряжения, и обеспечивает их электропитанием (при отключении первичного электропитания) на время, необходимое для корректного завершения работы программ и операционной системы.

Все АРМ/серверы имеют одинаковый формат представления данных, обеспечивающий возможность контроля всех подсистем АСУ ТП газоотводящего тракта конвертера №3 с любого операторского места.

Принятый уровень автоматизации технологических процессов соответствует современным техническим решениям и позволяет обеспечивать безаварийную работу технологического оборудования газоотводящего тракта посредством автоматического контроля, блокировок, регулирования и сигнализации параметров, управления агрегатами и поддержания важнейших технологических параметров в заданных пределах.

АСУ ТП газоотводящего тракта взаимодействует со смежными системами и подсистемами АСУ ТП конвертера №3, а также с АСУ ТП конвертера №2.

8.2 Функции, реализуемые системой

Функциональная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом газоотводящего тракта конвертера №3 выполнена в соответствии с ГОСТ 21.404-85 [9], ГОСТ 21.408-2013 [53] и Правилами учета тепловой энергии и теплоносителя [54]. На чертеже представлена функциональная схема автоматизации для конвертера №3 с приборами, установленными по месту и выведенными на щит управления.

									лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ				

Все обозначения для приборов КИП и автоматики функциональной схемы управления конвертера №3 приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Обозначение приборов КИП и автоматики функциональной схемы управления конвертера №3

Обозначение	Операция
TE	первичный измерительный преобразователь для измерения температуры (термопара)
TU	преобразователь сигнала от первичного измерительного преобразователя температуры
TI	прибор для измерения температуры показывающий
PI	прибор для измерения давления показывающий
PT	прибор для измерения давления бесшкальный с дистанционной передачей показаний
FE	первичный измерительный преобразователь для измерения расхода
FT	прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний
LE	первичный измерительный преобразователь для измерения уровня
LI	прибор для измерения уровня показывающий
LT	прибор для измерения уровня бесшкальный с дистанционной передачей показаний
QE	первичный измерительный преобразователь для измерения качества продукта
QT	прибор для измерения качества продукта бесшкальный с дистанционной передачей показаний
NS	пусковая аппаратура для управления электродвигателем

Спецификация оборудования функциональной схемы автоматики приведена в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Спецификация оборудования функциональной схемы автоматизированной системы управления конвертера №3

Обозначения	Наименование	Кол-во
1	2	3
3.509а, 3.512–3.517, 3.518а, 3.524а	Термопара	9
3.509б, 3.518б 3.524б	Расчетно-измерительный преобразователь ТЭКОН-19	3

Продолжение таблицы 8.2

1	2	3
3.525, 3.510	Термометр радиальный РОСМА БТ-52.211	2
3.529–3.535, 3.547–3.553, 3.564, 3.565	Манометр радиальный РОСМА ТМ-210	16
3.538–3.544, 3.556, 3.557, 3.562, 3.566	Манометр дистанционный ТРМ 10-Н.У.РР	11
3.601–3.605, 3.609–3.612, 3.614, 3.615, 3.616-1, 3.616-2, 3.620-1, 3.620-2	Расходомер дистанционный DY (Yokogawa)	15
3.621	Расходомер SBT 634	1
3.640–3.643	Сигнализатор уровня САУ-М6	4
3.644–3.647	Датчик уровня дистанционный LMP 308	4
3.648	Многопараметрический зонд качества TROLL 500	1
3.1-3.3, КМ3.1, КМ3.2	Магнитный пускатель 1НЗ ПМЛ ЭТАЛ (6985)	5

АСУ ТП в процессе выполнения задач автоматического управления технологическим процессом газоотводящего тракта конвертера выполняет функции:

– автоматического регулирования технологическим процессом поддержания требуемых уровней воды в барабане-сепараторе, непрерывной продувкой (соле-содержания котловой воды);

– автоматического включения исполнительных механизмов (аварийного слива воды из барабана-сепаратора; резервного циркуляционного насоса; подачи природного газа на подтопку при прекращении подачи кислорода и отключение в начале продувки; подачи питательной воды с рабочей линии на резервную (переключение) в случае снижения уровня воды в барабане-сепараторе, розжига запальной горелки при ее погасании;

– автоматического выключения исполнительных механизмов (аварийного слива воды из барабана; подачи природного газа в начале продувки; подачи природного газа при повышении или снижении его давления за регулятором за допустимые пределы; соответствующих э/задвижек (закрытие) подачи воды на скруббер и трубы Вентури при достижении аварийного уровня воды в бункерах скруббера и труб Вентури;

– аварийного прекращения продувки (при уровне воды в барабане-сепараторе ниже минус 500 мм; при уровне воды в барабане-сепараторе выше 350 мм; при падении циркуляционного расхода в любом из контуров принудительной циркуляции на 30 % от расхода периода продувки; при достижении аварийного уровня

воды в скруббере и бункерах труб Вентури; при падении расхода осветлённой воды на 50 % ниже номинала в любом из трубопроводов подачи воды на скруббер или трубы Вентури):

– автоматических блокировок (запрещение начала продувки при: уровне воды в барабане-сепараторе выше 0 мм; уровне воды в барабане-сепараторе ниже минус 500 мм; расходах циркуляционной воды меньше минимально установленных; запрете на включение подачи природного газа при отсутствии факела запальной горелки; включение эжектора компрессорного воздуха при аварийной остановке вентилятора; падении расхода осветлённой воды на 25 % ниже номинала в любом из трубопроводов подачи воды на скруббер и трубы Вентури; достижении аварийного уровня воды в скруббере и бункерах труб Вентури; достижении аварийного уровня шламовой воды в баке-гидрозатворе скруббера и гидрозатворе труб Вентури, при падении расхода осветлённой воды на 50 % ниже номинала в любом из трубопроводов подачи воды на скруббер или трубы Вентури).

Система обеспечивает также светозвуковую сигнализацию при выходе значений регулируемых параметров за пределы рабочего диапазона; при значениях параметров, вызывающих прекращение продувки; при значениях параметров, требующих включения резервного оборудования; при содержании CO: 3 % и выше в составе конвертерного газа за нагнетателем или 20 мг/м³ в воздухе помещения эксгаустеров.

Технологическая информация отображается на видеокдрах дисплея АРМ/сервера в виде мнемосхем, графиков, таблиц, а также выводится на принтер.

Каждый видеокдр содержит информацию, сгруппированную по своему функциональному назначению. Основное назначение видеокдра – наглядное представление всех элементов АСУ ТП в графическом виде. При этом обеспечивается:

– графическое изображение участков установки со вставленными измеренными значениями, величинами уставок, с индикацией состояния и аварийных сигналов для электродвигателей, клапанов и т. д. (тексты на русском языке);

– изображение контуров управления, с индикацией состояния параметров и их аварийных значений;

– изображение трендов измеренных значений;

– изображение сообщений о неисправностях и аварийных событиях.

Переменные данные, отображающие текущее состояние основного оборудования и значение контролируемых параметров, автоматически обновляются.

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		65

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кислородно-конвертерное производство всегда сопряжено с рядом вредных и опасных воздействий на окружающую среду и человека.

К основным вредным производственным факторам кислородно-конвертерных цехов следует относить [55]:

- тепловыделения, поступающие от работающего технологического оборудования, от расплавленного металла, от уходящего расплавленного шлака;
- различные газовыделения, которые возникают в результате технологического процесса (при загрузке конвертера металлоломом и чугуном, при продувке конвертера кислородом, во время сушки футерованных поверхностей конвертера во время ремонта и т.д.);
- пылевыведения от технологического процесса (при загрузке конвертера, а также при сливе результата плавки и получившегося шлака из конвертера);
- производственные шумы и вибрации от технологического процесса (во время демонтажа футеровки конвертера, а также от шлаковозов, сталевозов, кранов и предупреждающей сигнализации);
- взрывоопасные и отравляющие газы, применяемые в технологическом процессе кислородно-конвертерного производства.

К основным опасным производственным факторам следует отнести электрическое и механическое воздействия.

9.1 Организационные мероприятия по охране труда

Производственные процессы на рассматриваемом предприятии соответствуют требованиям Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [56] и Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов» [57].

Для соблюдения необходимых на рассматриваемом предприятии требований по охране труда проводятся следующие мероприятия [55]:

- проведение инструктажей;

Вводный инструктаж проводится при принятии работника на предприятие. Первичный инструктаж проводят перед непосредственным допуском трудящегося к работе, а повторный – не реже, чем раз в полгода. Внеплановый инструктаж проводят для трудящихся в случае внесения изменений или переработок существующих стандартов и инструкций предприятия, в то время как целевой инструктаж проводится для трудящихся перед выполнением каких-либо разовых работ.

- организация обучения;

Обучение в вопросах охраны труда и безопасности жизнедеятельности проводится на предприятии при профессиональной подготовке специалистов и служащих, а также через систему повышения квалификации для руководителей подразделений и специалистов.

									лист
									66
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ				

– проведение обходов рабочих мест цеха;

При проведении обходов осуществляется контроль охраны труда и производственный контроль на рабочих местах, которые для кислородно-конвертерного цеха ПАО «ЧМК» осуществляются с помощью трехуровневой системы контроля: на первом уровне контроль осуществляется сменными мастерами при ежесменном обходе рабочих мест; контроль второго уровня осуществляется энергетиком, электриком и механиком цеха и заключается в ежедневном ознакомлении с записями в журнале контроля первого уровня; на третьем уровне контроль осуществляется начальником цеха, его заместителем и ведущим инженером по охране труда в виде непосредственных проверок или участия в комиссии по производственному контролю и контролю охраны труда.

9.2 Обеспечение безопасных условий труда

Для обеспечения безопасных условий труда помимо организационных мероприятий минимизируется воздействие вредных производственных факторов на рабочий персонал, а также обеспечивается защита от возникновения опасных для жизни чрезвычайных ситуаций.

Наиболее распространенным вредным фактором при работе кислородного конвертера является избыточное количество тепловыделений, которые передаются конвекцией или излучением от работающего технологического оборудования.

Для снижения влияния тепловыделений, передающихся конвекцией, кислородно-конвертерный цех снабжен системами механической и естественной вентиляции для удаления избыточного тепла из цеха и обеспечения равномерного воздухообмена.

Воздействие теплового излучения минимизируют с помощью теплоотражательных и теплопоглощительных экранов, которые изготавливают из листов металла или стекла. Также теплопоглощительными ограждениями могут быть конструкции из огнеупорных материалов или конструкции охлаждаемые водой.

Помимо перечисленных методов снижения воздействия тепловыделений, персоналу, работающему в непосредственной близости от источников тепловыделений, предписывается носить спецодежду для предупреждения перегрева, а также восполнять потери жидкости из организма потреблением достаточного количества жидкости (например, подсоленную газированную воду).

В соответствии с требованиями технологического процесса выплавки стали в кислородном конвертере цех обустроен большим количеством газопроводов с взрывоопасным и отравляющим газом.

Чтобы обеспечить необходимый уровень безопасности условий труда рабочего персонала цеха эксплуатация газопроводов обеспечивается в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления» [58].

В кислородно-конвертерном цехе обеспечивается регулярный визуальный контроль сетей газоснабжения и, наряду с этим, осуществляется контроль загазованности помещений ГРП и работает автоматическая система сигнализации.

									лист
									67
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ				

Помимо этого, рабочий персонал обеспечивается средствами индивидуальной защиты (противогаз, респираторы, защитные очки, перчатки и т.д.) , а также регулярно проходит инструктажи.

Основными источниками шума в цехе являются работающие насосы, воздуходувки, эксгаустеры, а также шум, возникающий при демонтаже футеровки ковшей. Уменьшение шумового воздействия в кислородно-конвертерном цехе обеспечивается в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» [59].

В кислородно-конвертерном цехе рабочие места с длительным пребыванием людей и комнаты отдыха персонала облицованы звукоизолирующим материалом, а входные двери снабжены тамбурами.

Также для снижения воздействия шума рабочий персонал оснащается средствами индивидуальной защиты: наушниками, касками, ушными вкладышами и т.д.

Для уменьшения воздействия вибрации на рабочий персонал цеха, рабочие места, вблизи источников вибрации оборудованы упругими опорами – виброизолирующими помостами и сиденьями.

Поскольку выплавка стали в кислородном конвертере характеризуется получением несгораемого вещества в раскаленном состоянии, которое сопровождается излучением тепла, появлением искр и пламени, а также сопровождается выделением побочных твердых, жидких и газообразных продуктов технологического процесса, которые в дальнейшем утилизируются, то в кислородно-конвертерном цехе приняты меры противопожарной безопасности в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности [60].

В кислородно-конвертерном цехе предусмотрены стационарные установки пожаротушения, имеется пожарный водопровод, обустроены автомобильные подъезды для пожарной техники, пути эвакуации персонала цеха, а также оборудована система пожарной сигнализации. На рабочих местах, где имеется риск возникновения пожарной ситуации, присутствуют первичные средства пожаротушения, такие как огнетушители, емкости с песком, ведра.

Наряду с этим, для рабочего персонала регулярно проводится инструктаж по ознакомлению с возможными причинами возгораний, правилами применения средств первичного пожаротушения, а также с расположением эвакуационных выходов из цеха.

В технологическом процессе кислородно-конвертерной выплавки используется большое число разнообразного оборудования. Поэтому для цеха важно обеспечение электробезопасности условий труда, которое соответствует ГОСТ 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [61].

Передача и распределение электроэнергии между отделениями цеха осуществляется по кабелям, проводам и шинам, которые прокладываются в каналах, туннелях, трубах или вдоль стен. Места прокладки кабеля либо скрыты и не имеют прямого доступа, либо открыты, но защищены ограждениями.

Токоведущие части электрического оборудования цеха располагают за ограждениями или закрывают защитными кожухами для предотвращения случайного

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		68

прикосновения рабочего персонала при его обслуживании. Токопроводы электрического оборудования также огораживают или закрывают кожухом.

Для защиты рабочего персонала от поражений электрическим током нетоковедущие части электрического оборудования оборудованы устройствами заземления, которые соответствуют ГОСТ 12.1.030-81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [62].

9.3 Обеспечение безопасных условий труда при эксплуатации котла-утилизатора ОКГ 160 У2

Котельные установки, вырабатывающие пар, считаются опасными производственными объектами, поскольку их работа сопровождается рядом потенциальных опасностей [63, 64]:

- взрывы систем, которые работают под давлением;
- повреждения трубопроводов горячей воды и паропроводов;
- воздействие вибрации и шума от тягодутьевых установок и насосов;
- возникновение ожогов от нагретых поверхностей оборудования или от пара;
- повышенная загазованность в рабочей зоне по причине утечки газообразных, аэрозольных или жидких отходов процесса;
- падение, если рабочая зона расположена на значительной высоте от поверхности земли;
- повышенная влажность и температура в воздухе рабочей зоны.

Для обеспечения безопасности жизнедеятельности при эксплуатации котла-утилизатора ОКГ 160 У2 в кислородно-конвертерном цехе принят ряд мер в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» [65].

Установка котла-утилизатора предусматривает устройство стационарных металлических площадок и лестниц для обеспечения свободного доступа персонала в зоны обслуживания технических устройств котельной установки. Освещение этих рабочих зон осуществляется естественным путем через световые фонари в кровле, а также искусственным освещением на определенных участках.

Для рабочих зон вблизи горячих частей оборудования установлены ограждающие экраны и применяется система местной вентиляции.

При нахождении в рабочей зоне с повышенной загазованностью воздуха персонал снабжается средствами индивидуальной защиты – противогазами или респираторами.

Помимо этого, установка снабжается приборами контроля параметров рабочего процесса и системой аварийного срабатывания и сигнального оповещения.

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		69

10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Проведение реконструкции требует от предприятия значительных капиталовложений. Поэтому все вопросы, касающиеся её проведения, требуют тщательных и взвешенных решений. Для этого проводят анализ реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2.

10.1 Смета капитальных затрат

Капитальные затраты представляют собой сумму инвестиций, направленных на реализацию мероприятий, связанных с модернизацией или реконструкцией объектов производства [66]. Для рассматриваемого в работе варианта реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2 смета капитальных затрат приведена в таблице 10.1. Она составлена по данным бланк-заказов Укр ГНТЦ Энергосталь и подрядных организаций, выполняющих демонтажно-монтажные работы, а также по [67–70].

Таблица 10.1 – Смета капитальных затрат на реконструкцию газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2

Наименование затрат	Стоимость, тыс. руб/шт	Количество, шт	Затраты	
			Тыс. руб	%
1	2	3	4	5
Производимые работы				
Проектные работы	2 345,6	–	2 345,6	1,50
Демонтажные работы	14 569,7	–	14 569,7	9,34
Строительные работы	998,4	–	998,4	0,64
Монтажные работы	12 632,1	–	12 632,1	8,10
Пуско-наладочные работы	415,3	–	415,3	0,27
Оборудование, конструкции и материалы				
Оборудование и конструкции поставки Укр ГНТЦ Энергосталь (технологическое оборудование и металлоконструкции, строительные конструкции, электрооборудование)	100 387,7	–	10 387,7	64,36
Котловые трубопроводы (поверхности нагрева)	85,0	102,5	8 712,5	5,59
Монтаж котловых труб	5 843,2	–	5 843,2	3,75
Футеровочная масса	8,5	10,17	86,5	0,06
Монтаж футеровки	35,5	–	35,5	0,02
Тележка откатной части котла	1 118,2	1	1 118,2	0,72
Затвор дисковый с эл.приводом Ду 2000	576,5	1	576,5	0,37
Изоляция циркуляционных трубопроводов, газопроводов, оборудования	4 848,4	–	4 848,4	3,11

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4	5
Подвод водопровода и канализации	896,8	–	896,8	0,57
Установка и подключение силового электрооборудования	1 874,2	–	1 874,2	1,20
Прочие затраты	–	–	648,2	0,42
Итого, К			155 988,8	100,00

10.2 Смета текущих затрат

Текущие затраты определяются главным образом себестоимостью производимой предприятием продукцией и включают в себя: оплату труда работников для всех ступеней производства, затраты на приобретение материалов и сырья для изготовления продукции, а также оплату энергетических ресурсов, используемых в производственном процессе.

В смету затрат включаются все затраты основных и вспомогательных подразделений предприятия, участвующих в производстве промышленной продукции, а также выполнении работ и услуг непромышленного характера как для хозяйств своего предприятия (капитального строительства и т. п.), так и для сторонних организаций. В смету затрат включаются также затраты на освоение производства новых изделий, затраты на подготовку производства, затраты необходимые для сбыта продукции и др. [66].

В данной работе проведем сравнение смет текущих затрат по двум вариантам:

- после проведения реконструкции объекта;
- без проведения реконструкции объекта.

Первым рассмотрим случай реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2.

Текущие затраты на покупку топлива рассчитываются по формуле (10.1):

$$I_B = B \cdot Ц_G, \quad (10.1)$$

где B – расход газа на котел в межпериодный период, тыс. м³/год;

$Ц_G$ – стоимость природного газа на 2020 год, руб./м³;

$Ц_G = 4,110$ руб./м³ [66].

$$I_B = 17300 \cdot 4,110 = 71104,0 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

Текущие затраты на потребляемую производственным процессом электроэнергию высчитываются по формуле (10.2):

$$I_Э = P_Э \cdot Ц_Э, \quad (10.2)$$

где $P_{\text{Э}}$ – потребленная оборудованием электроэнергия, тыс. кВт·ч/год;
 $C_{\text{Э}}$ – стоимость электроэнергии на 2020 год, руб./кВт·ч;
 $C_{\text{Э}} = 2,08$ руб./кВт·ч [66].

$$I_{\text{Э}} = 6244,8 \cdot 2,08 = 12989,3 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

Текущие затраты на потребляемую производственным процессом воду определяют по формуле (10.3):

$$I_{\text{вод}} = P_{\text{вод}} \cdot C_{\text{вод}}, \quad (10.3)$$

где $P_{\text{вод}}$ – расходуемая производственным циклом вода, тыс. м³/год;
 $C_{\text{вод}}$ – стоимость водоснабжения на 2020 год, руб./м³;
 $C_{\text{вод}} = 1,79$ руб./м³ [66].

$$I_{\text{вод}} = 3728,8 \cdot 1,79 = 6674,6 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

Амортизационные отчисления составляют 8 % от стоимости оборудования рассматриваемого объекта (таблица 10.1):

$$A = 0,08 \cdot 155988,8 = 12479,1 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

Отчисления в ремонтный фонд определяются по формуле (10.4):

$$O_{\text{р}} = m_{\text{о,р}} \cdot A, \quad (10.4)$$

где $m_{\text{о,р}}$ – доля отчислений на ремонтный фонд от амортизационных отчислений;
 $m_{\text{о,р}} = 0,2$.

$$O_{\text{р}} = 0,2 \cdot 12479,1 = 2495,8 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

Отчисления на общехозяйственные расходы вычисляются по формуле (10.5):

$$O_{\text{хоз}} = m_{\text{о,хоз}} \cdot (I_{\text{В}} + I_{\text{Э}} + I_{\text{вод}} + A + O_{\text{р}}), \quad (10.5)$$

где $m_{\text{о,хоз}}$ – доля отчислений на общехозяйственные расходы от суммы статей других текущих расходов; $m_{\text{о,хоз}} = 0,006$.

$$O_{\text{хоз}} = 0,006 \cdot (71104,0 + 12989,3 + 6674,6 + 12479,1 + 2495,8) = 634,5 \frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$$

Все текущие затраты для первого варианта сведены в таблицу 10.2

Таблица 10.2 – Смета текущих затрат на реконструкцию газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2 [66, 71]

Наименование элементов затрат	Ед. изм.	Количество	Стоимость ед. изм. или норматив, руб. (%)	Сумма, тыс. руб./год
Топливо, И _В	Тыс. м ³ /год	17 300,0	4,110	71 104,0
Электроэнергия, И _Э	Тыс. кВт·час/год	6244,8	2,08	12 989,3
Водоснабжение, И _{вод}	Тыс. м ³ /год	3728,8	1,79	6 674,6
Амортизационные отчисления (8 % от стоимости оборудования рассматриваемого объекта), А	Тыс. руб./год	–	–	12 479,1
Отчисления в ремонтный фонд (20 % амортизационных отчислений), О _р	Тыс. руб./год	–	–	2 495,8
Общехозяйственные расходы (0,6 % от суммы предыдущих статей), О _{хоз}	Тыс. руб./год	–	–	634,5
Расходы на содержание оборудования (1 % от стоимости оборудования), О _{сод.об}	Тыс. руб./год	–	–	1 003,9
Выплаты заработной платы работникам производства, З	Тыс. руб./год	480,0	126	60 480,0
Начисления на социальные нужды (34 % от заработной платы), З _{соц}	Тыс. руб./год	–	–	20 563,2
Прочие энергетические затраты (1% от заработной платы), О _{пр}	Тыс. руб./год	–	–	604,8
Всего затрат (полная себестоимость), И ₁	Тыс. руб./год	–	–	189 029,3
Годовой отпуск тепла	Гкал/год	126 700	–	–
Себестоимость 1 Гкал тепла	Руб./Гкал	–	1491,9	–

Суммарные текущие затраты, указанные в таблице 10.2, вычисляются по формуле (10.6):

$$I_1 = I_B + I_{\text{Э}} + I_{\text{вод}} + A + O_p + O_{\text{хоз}} + O_{\text{сод.об}} + Z + Z_{\text{соц}} + O_{\text{пр}} \quad (10.6)$$

$$I_1 = 71104,0 + 12989,3 + 6674,6 + 12479,1 + 2495,8 + 634,5 + 1003,9 + 60480,0 + \\ + 20563,2 + 604,8 = 189029,3 \frac{\text{тыс.руб}}{\text{год}}$$

Себестоимость 1 Гкал теплоты, произведенной в процессе производственного цикла конвертера №3 ПАО «ЧМК» в котле-утилизаторе ОКГ 160 У2, определяют по формуле (10.7):

$$C_Q = \frac{I}{Q_{\Sigma}}, \quad (10.7)$$

где Q_{Σ} – годовой отпуск тепла, Гкал/год.

$Q_{\Sigma} = 126\,700$ Гкал/год.

$$C_Q = \frac{189029,3 \cdot 10^3}{126700} = 1491,9 \frac{\text{руб.}}{\text{Гкал}}$$

Аналогично рассчитываются текущие затраты для варианта без проведения реконструкции, смета для которых приведена в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Смета текущих затрат без проведения реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» [66, 71]

Наименование элементов затрат	Ед. изм.	Количество	Стоимость ед. изм. или норматив, руб. (%)	Сумма, тыс. руб./год
1	2	3	4	5
Топливо, I_B	Тыс. м ³ /год	15 344,0	4,110	63 064,0
Электроэнергия, $I_{\text{Э}}$	Тыс. кВт·час/год	5538,78	2,08	11 520,5
Водоснабжение, $I_{\text{вод}}$	Тыс. м ³ /год	3307,2	1,79	5 919,9
Амортизационные отчисления (8% от стоимости оборудования объекта), A	Тыс. руб./год	–	–	1 718,3
Отчисления в ремонтный фонд (20% амортизационных отчислений), O_p	Тыс. руб./год	–	–	3 437,1
Общехозяйственные расходы (0,6% от суммы предыдущих статей), $O_{\text{хоз}}$	Тыс. руб./год	–	–	606,8

Продолжение таблицы 10.3

1	2	3	4	5
Расходы на содержание оборудования (1 % от стоимости оборудования), $O_{\text{сод.об}}$	Тыс. руб./год	–	–	1 003,9
Выплаты заработной платы работникам производства, $З$	Тыс. руб./год	480,0	126	60 480,0
Выплаты заработной платы ремонтному персоналу, $З_p^*$	Тыс. руб./год	80,0	5	400,0
Начисления на социальные нужды (34 % от заработной платы), $З_{\text{соц}}$	Тыс. руб./год	–	–	20 563,2
Прочие энергетические затраты (1 % от заработной платы), $O_{\text{пр}}$	Тыс. руб./год	–	–	608,8
Материальные запасы, M^*	Тыс. руб./год	–	–	49 402,4
Всего затрат (полная себестоимость), I_2	Тыс. руб./год	–	–	234 191,9
Годовой отпуск тепла	Гкал/год	101 492,3	–	–
Себестоимость 1 Гкал тепла	Руб./Гкал	–	2307,5	–

Примечание: * – суммы текущих затрат взяты по данным цеха.

Сравнивая текущие затраты по двум рассматриваемым вариантам, можно сделать вывод, что после проведения реконструкции текущие затраты значительно снижаются. Также снижается и себестоимость производимого тепла.

10.3 Обоснование экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность определяет отношение вложений в какой-либо объект производства к полученным результатам его последующей деятельности, т.е. является мерой соотношения вложенных затрат и полученных результатов функционирования итогового программного продукта. Определение экономического эффекта при принятии инвестиционного решения по запланированным мероприятиям дает четкое понимание инвестору, какова будет длительность инвестиционного проекта, а также в какие сроки окупятся вложения [72].

При реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» для обоснования экономической эффективности используется срок окупаемости проекта, который рассчитывается по формуле (10.8) [66]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K - K_{\text{лик}}}{\Delta I}, \quad (10.8)$$

где K – капитальные затраты на реконструкцию газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК», тыс. руб.;

$K_{\text{лик}}$ – ликвидационная стоимость демонтируемого оборудования цеха, тыс. руб., которая рассчитывается по формуле (10.9) [72]:

$$K_{лик} = P \cdot (1 - \zeta), \quad (10.9)$$

где ζ – коэффициент при вынужденной реализации. Этот коэффициент определяется экспертной оценкой и зависит от предполагаемых сроков реализации товара, рыночной оценки актива, общей ситуации в рыночном сегменте. коэффициент может оставлять 0,1–0,5. Если провести экспертную оценку не представляется возможным, как в рассматриваемом случае, то значение коэффициента при вынужденной реализации выставляют по нижней границе – $\zeta = 0,5$; P – рыночная стоимость демонтируемого оборудования, тыс. руб., которая может быть определена по формуле (10.10) [73]:

$$P = M \cdot P_{лом}, \quad (10.10)$$

где M – вес демонтируемого оборудования, т. $M = 50$ т;
 $P_{лом}$ – стоимость лома, тыс. руб./т. По данным бухгалтерии кислородно-конвертерного цеха ПАО «ЧМК» $P_{лом} = 11$ тыс. руб./т.

$$P = 50 \cdot 11 = 550 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{лик} = 550 \cdot (1 - 0,5) = 275 \text{ тыс. руб.}$$

$\Delta И$ – экономия текущих затрат, тыс. руб./год, которая может быть рассчитана по формуле (10.11):

$$\Delta И = И_2 - И_1, \quad (10.11)$$

где $И_2$ – текущие затраты до проведения реконструкции, тыс. руб./год;
 $И_1$ – текущие затраты после проведения реконструкции, тыс. руб./год.

$$\Delta И = 234191,9 - 189029,3 = 45162,6 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{год}}$$

$$T_{ок} = \frac{155988,8 - 275}{45162,6} = 3,5 \text{ года}$$

Поскольку полученный срок окупаемости реконструкции менее 5 лет, то проект является выгодным для реализации.

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		76

10.4 STEEP-анализ необходимости разработки проекта

STEER-анализ – одна из распространенных методик анализа ситуации в процессах стратегического и маркетингового планирования. STEER – аббревиатура от Social (социальный), Technological (технологический), Economical (экономический), Environmental (экологический), Political (политический). STEER-анализ – анализ факторов, влияющих или способных оказать влияние на проект в разрезе перечисленных факторов.

После анализа данных факторов, можно сделать вывод о степени их влияния на данное предприятие.

Наибольшее влияние на реализацию рассматриваемого проекта оказывают следующие факторы:

- экологический, поскольку снижение выбросов вредных веществ и улучшение качества окружающей среды за последние годы стали одними из наиболее важных для решения вопроса на промышленных предприятиях;
- политический, поскольку ужесточились требования правительства по вопросам экологии в последние несколько лет;
- технологический, поскольку требования к качеству изготавливаемой продукции возрастает, но существующее оборудование, в силу своей изношенности, не способно адаптироваться к изменениям технологического процесса.

Среднюю степень влияния оказывает экономический фактор, поскольку непрерывный рост тарифов на энергоносители сказывается на себестоимости изготавливаемой продукции.

Наименьшее влияние оказывает социальный фактор, поскольку качество готовой продукции не напрямую влияет на социальную сферу.

10.5 Качественный анализ технических решений

Качественный анализ для рассматриваемого проектного решения можно выполнить с помощью модели SWOT-анализа.

SWOT-анализ является подходящим инструментом при проектировании новой стратегии развития предприятия или для анализа уже имеющихся стратегий на возможность личного и профессионального роста.

Рассматриваемая модель работает в предположении, что для успеха в развитии какого-либо коммерческого проекта следует учитывать следующие факторы:

- S – Сильные стороны (Strengths) – преимущества предприятия;
- W – Слабые стороны (Weaknesses) – недостатки предприятия;
- О – Возможности (Opportunities) – факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества предприятия на рынке;
- Т – Угрозы (Threats) – внешние факторы, которые могут потенциально ухудшить положение предприятия на рынке.

Использование данной модели анализа проектного решения способствует систематизации всей имеющейся информации, а также помогает принять взвешенные решения для рассматриваемого проекта.

Для двух сравниваемых ранее в работе вариантов – после проведения реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровочных материалов и без проведения реконструкции – проведен SWOT-анализ. В таблице 10.4 показан анализ для первого варианта.

Таблица 10.4 – SWOT-анализ реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» с применением футеровки поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2

<p>S:</p> <ul style="list-style-type: none"> - эффективное использование ВЭР; - увеличение срока службы оборудования; - уменьшение времени простоя оборудования; - наличие квалифицированного персонала для обслуживания. 	<p>W:</p> <ul style="list-style-type: none"> - большие капитальные затраты на реализацию проекта; - наличие дополнительного этапа при монтаже оборудования.
<p>O:</p> <ul style="list-style-type: none"> - большой выбор строительных материалов; - новые технологии в изготовлении и применении футеровочных смесей. 	<p>T:</p> <ul style="list-style-type: none"> - рост цен на строительные материалы.

SWOT-анализ для второго варианта показан в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – SWOT-анализ для объекта без проведения реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» путем замены поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2

<p>S:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие капитальных затрат; 	<p>W:</p> <ul style="list-style-type: none"> - моральный и физический износ основного оборудования; - низкая производительность производственного цикла; - остановки оборудования для ремонта поверхностей нагрева.
<p>O:</p> <ul style="list-style-type: none"> - большой выбор подрядных организаций для выполнения монтажа и обслуживания; - большой выбор предложений на жаростойкие материалы. 	<p>T:</p> <ul style="list-style-type: none"> - рост цен на изделия из жаростойких материалов.

По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что проведение реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» имеет больше положительных сторон, чем вариант без её проведения.

10.6 Модель ранжирования проблем теплоэнергетики и теплотехники

Модель ранжирования проблем наглядно демонстрирует соотношение степени важности и степени срочности решения проблем для рассматриваемого объекта теплоэнергетики. Она представляет собой квадратную матрицу из четырех квадрантов, в которых разнесены по соответствующим степеням проблемы для рассматриваемого объекта. Для рассматриваемого объекта модель ранжирования проблем представлена на рисунке 10.1.



Рисунок 10.1 – Модель ранжирования проблем для конвертера №3 ПАО «ЧМК»

Наименее срочной и важной проблемой является нехватка пара на технологические нужды других цехов, поскольку есть возможность временно подключить данных потребителей к другому источнику пара.

Решение проблемы с уменьшением количества вредных выбросов является крайне важным вопросом, но, поскольку этот процесс довольно длительный и занимает несколько лет, степень срочности решения данной проблемы не высока.

Наиболее важной и срочной для решения является проблема низкой производительности конвертера №3 из-за невозможности увеличения объемов производства и изменения технологического цикла для повышения качества плавки металла. Эта проблема влечет за собой ряд других проблем, в том числе и проблемы, рассмотренные выше. Поэтому она является главной проблемой для рассматриваемого объекта и требует срочного решения, на что, в конечном счете, и направлена данная работа.

Таким образом, обозначив главную проблему для производственного цикла конвертера №3, можно приступать к следующему анализу.

10.7 Модель причинно-следственной диаграммы

Главную проблему, которая была определена для объекта в модели ранжирования проблем, необходимо проанализировать с помощью причинно-следственной диаграммы.

Для этой диаграммы определяются две первичные причины проблемы, а также две вторичные, которые определяют первые две. Затем, проводят сравнение двух вариантов: последствия применения рассматриваемого проекта для решения проблемы и последствия не решения проблемы, т.е. бездействия.

Причинно-следственная диаграмма для рассматриваемого проекта замены газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» показана на рисунке В.1 в ПРИЛОЖЕНИИ В.

Первой причиной низкой производительности конвертера является сильный износ оборудования, который является следствием длительной эксплуатации оборудования со времени последнего капитального ремонта.

Другой причиной низкой производительности является большая длительность плавки металла, которая обусловлена высокими требованиями к качеству изготавливаемой продукции.

Проведение реконструкции позволит повысить энергоэффективность и экологичность производственного процесса, что в свою очередь позволит увеличить количество выплавки металла.

В случае же, когда реконструкция не проводится, повышается вероятность аварийного останова технологического процесса по причине выхода оборудования из строя, что в свою очередь приводит к простоему производственного процесса и снижению количества выпускаемой продукции и полученной прибыли предприятия.

10.8 Модель пирамиды целеполагания ПАО «ЧМК»

Видение организации – это образное представление смысла деятельности и перспектив (будущего) организации. Оно объясняет и демонстрирует всем сотрудникам и общественности, что представляет собой организация, какой она должна стать и к чему она стремится.

Миссия – это понятие, отражающее предназначение бизнеса, его основную цель. В отличие от видения миссия характеризует только "настоящее" организации: вид, масштабы деятельности, отличия от конкурентов, оставляя без внимания перспективы развития бизнеса. Миссия детализирует статус предприятия и обеспечивает ориентиры для выработки целей и стратегий на различных организационных уровнях.

Цели предприятия должны быть сформированы по принципу SMART. Срок или точный период выполнения – одна из главных составляющих цели. Временное ограничение помогает сосредоточиться на достижении цели в установленный срок или даже раньше. Цели, не имеющие крайних сроков или временного графика, часто уязвимы для повседневных кризисов, возможных в любой компании.

Стратегия – интегрированная модель действий, предназначенных для достижения целей предприятия. Содержанием стратегии служит набор правил принятия решений, используемый для определения основных направлений деятельности.

Исходя из поставленных целей, определяют и конкретизируют функции управления, которые должны привести все запланированные мероприятия к намеченным целям.

Пирамида целеполагания для рассматриваемого проекта по реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» показана рисунке 10.2.

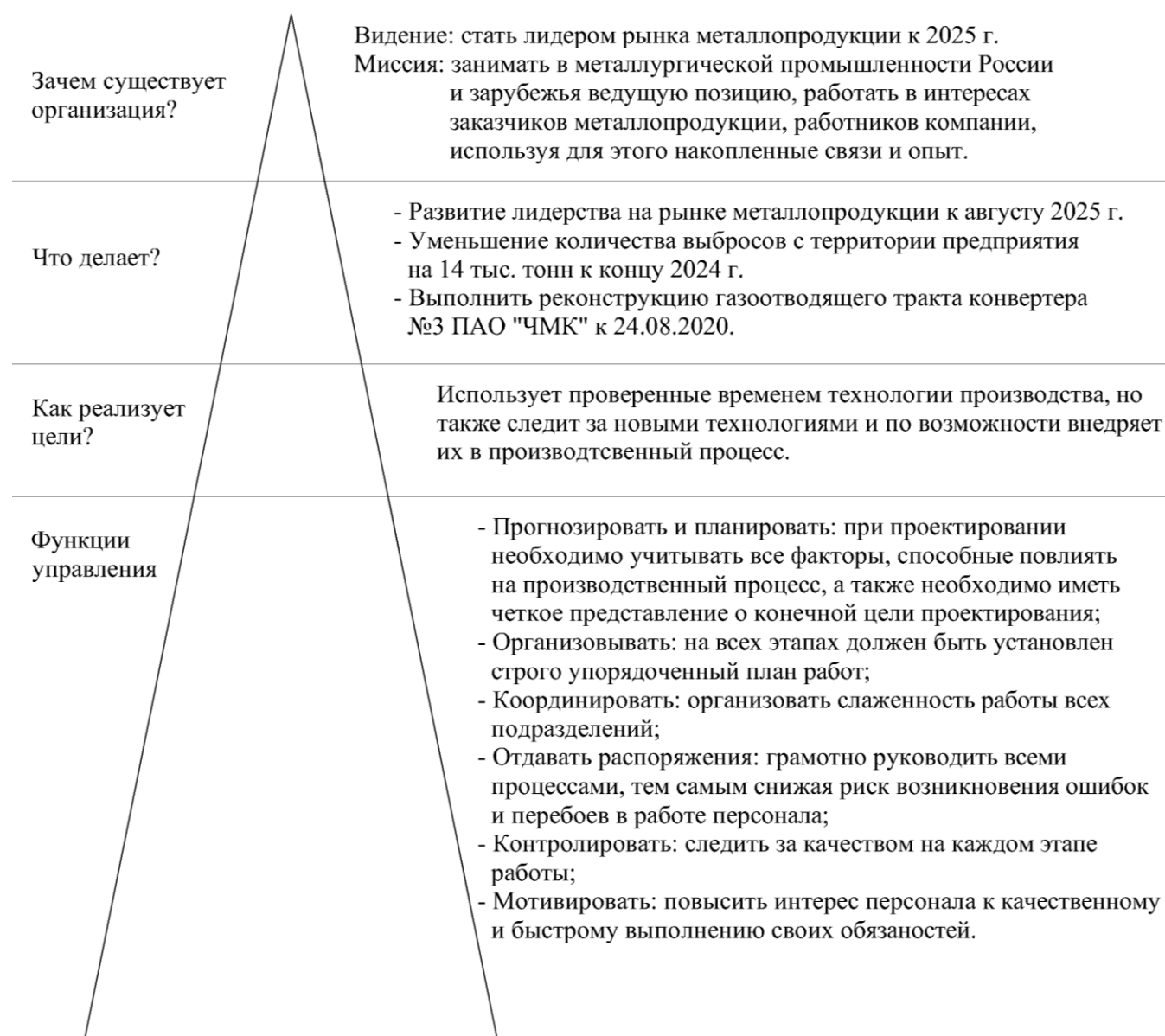


Рисунок 10.2 – Пирамида целеполагания для ПАО «ЧМК»

Таким образом, в представленной пирамиде целеполагания для рассматриваемого проекта (рисунок 10.2) наглядно представлено, какие цели ставит перед собой предприятие и как именно их достигает.

10.9 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей представляет собой структурированную модель, которая отображает влияние совокупности второстепенных проектных целей на достижение главной цели проекта.

Модель дерева целей направлена на получение относительно понятной структуры целей, проблем, направлений. Чтобы достичь этого, при построении модели следует учитывать порядок целеобразования и применять принципы формирования иерархических структур.

Основное достоинство составления дерева целей – демонстрация способа достижения основной цели проекта посредством составления списка понятных и простых целей. После планирования целей в дереве целей проекта должно быть предельно ясно, как именно можно достичь основной цели проекта, в какие сроки следует проводить планируемые мероприятия и кто несет ответственность за каждое.

Дерево целей проекта реконструкции газоотводящего тракта для конвертера №3 ПАО «ЧМК» представлено на рисунке Г.1 ПРИЛОЖЕНИЯ Г.

10.10 Оценка движущих и сдерживающих сил

При разработке проекта всегда необходимо учитывать влияние положительных и отрицательных факторов, от которых напрямую зависит успех намеченных мероприятий. Для оценки влияния этих сил существует специальная модель поля сил реализации проекта, которую описал Курт Левин. Он предложил рассматривать проект в виде объекта, на который с противоположных сторон оказывают влияние положительные и отрицательные факторы. Для успешной реализации проекта необходимо условие смещения равновесия в пользу положительно влияющих факторов.

На реализацию проекта реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» могут повлиять следующие движущие силы:

- Повышение качества и количества продукции, являющееся основной движущей силой, поскольку это является основной целью работы;
- Наличие финансовых ресурсов у компании, что является довольно сильным фактором, поскольку без наличия денежных средств невозможно приобрести необходимое оборудование и выполнить демонстрационно-монтажные работы;
- Повышение экологичности и энергоэффективности производственного процесса, что также является сильным фактором, поскольку ведет к снижению вредных выбросов в окружающую среду и позволяет более рационально использовать их потенциал;
- Снижение текущих затрат, что является умеренно сильным фактором влияния, поскольку они напрямую влияют на себестоимость выпускаемой продукции.

К сдерживающим силам данного проекта относятся:

- Затраты на проектирование и реализацию проекта, которые являются довольно сильным сдерживающим фактором, поскольку их размер влияет на веро-

ятность появления зависимости от источников дополнительного капитала (банки, инвесторы)

– Рост тарифов на энергоресурсы, что является менее сдерживающим фактором, поскольку их рост не настолько значительный, чтобы резко увеличить текущие затраты.

Потенциалом изменений для данного предприятия является положительный опыт работы по проведению реконструкций для других конвертеров.

Анализ поля сил К.Левина наглядно представлен на рисунке 10.3.



Рисунок 10.3 – Анализ поля сил К.Левина

Поскольку движущие силы численностью и влиянием превышают сдерживающие силы, то рассматриваемый проект по реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» может быть успешно реализован.

10.11 Планирование мероприятий реализации проекта в графике Ганта

График Ганта или ленточный график мероприятий по разработке и реализации проекта предназначен для четкого распределения выполнения этапов реализации проекта во времени, а так же для контроля их исполнения.

График Ганта для проекта реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» в таблице 10.6.

Таблица 10.6 – График Ганта для проекта разработки отопительной котельной

Этапы работы	2019		2020							
	дек	январь	фев	март	апр	май	июнь	июль	авг	
проанализировать проектные решения	■									
выполнить проектную и рабочую документацию		■	■	■	■	■				
выполнить расчет по режимам работы оборудования				■	■	■				
выполнить сметную документацию по проекту				■	■	■	■			
выбрать и заказать оборудование и материалы						■	■	■		
выполнить демонтаж существующего оборудования							■	■		
выполнить монтаж нового оборудования								■	■	■
завершить пусконаладочные работы и запустить производственный цикл										■

10.12 Основные показатели экономической эффективности

По итогам расчетов и анализа, проведенных в разделе «Экономика и управление», определяются итоговые экономические показатели проведения реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» в сравнении с показателями существующей системы. Значения этих показателей сведены в таблицу 10.7.

Таблица 10.7 – Основные показатели экономической эффективности

Показатели экономической эффективности	Единицы измерения	Изменения показателей	
		до	после
1. Единовременные (капитальные) затраты на реализацию проекта	тыс. руб.	–	155 988,8
2. Годовые текущие затраты	тыс. руб./год	234 191,9	189 029,3
3. Срок окупаемости проекта	лет	–	3,5

Таким образом, по итогам работы можно сделать вывод, что проведение реконструкции газоотводящего тракта конвертера №3 ПАО «ЧМК» способствует снижению текущих затрат по производству продукции, а также рассматриваемые мероприятия являются выгодными для реализации, поскольку имеют приемлемый срок окупаемости проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы был выбран метод повышения надежности поверхностей нагрева котла-утилизатора ОКГ 160 У2 за счет покрытия их слоем футеровки. По итогам сравнения свойств нескольких рассматриваемых материалов для футеровки и по расчету толщин слоя футеровки был выбран наиболее оптимальный материал для защиты поверхностей нагрева – смесь из халцедонового песчаника и природного бишофита.

После были определены параметры работы котла-утилизатора ОКГ 160 У2 с учетом покрытия поверхностей нагрева защитной футеровкой. По итогам расчета было определено, что существенного влияния на параметры работы установки изменения не оказывают.

Для существующего газоочистного тракта был выполнен поверочный расчет на соответствие параметров уходящих в атмосферу газов требованиям безопасного уровня воздействия на окружающую среду при новых параметрах газа, уходящего после котла-утилизатора. В результате расчета было определено, что изменение параметров незначительно и капитальное переустройство газоочистного тракта не требуется.

В разделе автоматизации была описана схема автоматизированной системы управления технологическим процессом газоотводящего тракта конвертера №3.

В разделе «безопасность жизнедеятельности» описаны вредные и опасные факторы при работе в кислородно-конвертерном цехе и при эксплуатации котла-утилизатора после конвертера.

В разделе экономика и управление были проведены качественный анализ проектного решения и обоснование экономической эффективности проекта.

В графической части представлены чертежи генплана конвертерного цеха, план цеха на отметке 0,000, разрезы, функциональная схема автоматизированной системы управления.

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
						86
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

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. – М.: Изд-во Российская газета № 5050 27 ноября 2009 г., 2009. – 56 с.

2 Федеральный закон РФ от 10 января 2002 года №7-ФЗ. Об охране окружающей среды. Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. – М.: Правительство Российской Федерации, 2002. – 39 с.

3 Юренев, В.Н. Теплотехнический справочник в 2-х томах. Т. 2 / В.Н. Юренев, П.Д. Лебедев – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.

4 Эстеркин, Р.И. Промышленные парогенерирующие установки / Р.И. Эстеркин. – Л.: Изд-во Энергия, 1980. – 400 с.

5 Бузников, Е.Ф. Производственные и отопительные котельные / – Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.

6 Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – 2-е изд., стер. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

7 СП 89.13330.2016 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП П-35-76 – М.: Стандартинформ, 2017. – 100 с.

8 Постановление от 22 декабря 2017 года №165. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений – М.: Правительство Российской Федерации, 2018. – 35 с.

9 ГОСТ 21.404-85 Автоматизация технологических процессов: система проектной документации для строительства. – М.: Стандартинформ, 2007. – 19 с.

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

11 Тепловой расчет промышленных парогенераторов. Учеб. пособие для ВТУ-Зов / Под ред. В.И. Частухина – Киев: Вища Школа, 1980. – 184 с.

12 Мунц, В.А. Поверочный расчет котлов-утилизаторов: методическое руководство к курсовой работе / В.А. Мунц, Е.Ю. Павлюк – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – 30 с.

13 Грибанов, А.И. Вопросы экологии в промышленной теплоэнергетике / А.И. Грибанов – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 68 с.

14 Стародубцев, П.Г. Разработка энергетически эффективного способа утилизации конвертерного газа / П.Г. Стародубцев // Вестник науки и образования. – 2018. – Том 2. – №5 (41). – с. 23–26.

15 Сергеев, П.А. Анализ эффективного использования энергосберегающих технологий металлургического предприятия / П.А. Сергеев, Е.Г. Нешпоренко // Современные инновации. – 2015. – №2. – с. 27–30.

16 Металлургия Японии [Электронный ресурс]. – URL: <https://economics.studio/mirovaya-ekonomika/metallurgicheskaya-promyshlennost-yaponii.html>

17 Максимов, А.А. Совершенствование энергоэффективной схемы утилизации конвертерного газа / А.А. Максимов, Е.Б. Агапитов // Теплотехника и информати-

					13.04.01.2020.123.08 ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		87

ка в образовании, науке и производстве: Сборник докладов. – Екатеринбург: Ур-ФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2015. – с. 101–105.

18 Способы утилизации конвертерных газов [Электронный ресурс]. – URL: https://vuzlit.ru/679213/sposoby_utilizatsii_konverternyh_gazov

19 Сбор конвертерных газов в газгольдере [Электронный ресурс]. – URL: <https://metallurgist.pro/sbor-konverternyh-gazov-v-gazgoldere/>

20 Металлургия Китая [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.metalbulletin.ru/a/190>

21 Утилизация конвертерного газа в Китае [Электронный ресурс]. – URL: <http://russian.peopledaily.com.cn/31518/8170097.html>

22 LanzaTech. Capturing carbon. Fueling growth [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lanzatech.com/>

23 China Baowu Steel Group [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/China_Baowu_Steel_Group

24 Shougang Group [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Shougang_Group

25 Курунов, И.Ф. Перспективы развития экстрактивной металлургии железа глазами европейских металлургов / И.Ф. Курунов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Том 60. – №1 – с. 80–85.

26 Котлы [Электронный ресурс]. – URL: <https://souzenergo.com/produktsiya/energeticheskoe-oborudovanie/kotly.html>

27 Бухаров, С. В. Технологии футеровки элементов конструкций трубчатых экранов водогрейных котлов серии ПТВМ / С. В. Бухаров, А. Д. Парашин, А.С. Панышин // Новости теплоснабжения. – 2017. – №01. – С. 39–44.

28 Корндорф, Б.А. Техника высоких давлений в химии / Б.А. Корндорф. – Ленинград.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1952. – 443 с.

29 Поведение металла при высоких температурах [Электронный ресурс]. – URL: <https://msd.com.ua/parovye-kotly-tes/povedenie-metalla-pri-vysokix-temperaturax/>

30 Коррозия поверхностей нагрева котлов со стороны продуктов сгорания [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rosteplo.ru>

31 Корипелли, Р. С. Влияние высокотемпературной коррозии поверхностей теплообмена в топках котлов / Р. С. Корипелли, Д. Кроу, Д. Фрэнч, Дж. Брэнд // Новости теплоснабжения. – 2017. – №01. – С. 30–37.

32 Высокотемпературная коррозия [Электронный ресурс]. – URL: <http://metal-archive.ru/metallovedenie/752-vysokotemperaturnaya-korroziya.html>

33 Футеровка [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org>

34 Масса для футеровки: а.с. № 617439 СССР, МПК С 04В 35/54 / В. И. Грибов, И. А. Карасюк, Л. М. Иодко, Г. А. Яковлева и др. – № 2352569/29-33; заявл. 21.04.76; опубл. 30.07.78, Бюл. № 28 – 2 с.

35 Масса для футеровки: а.с. № 1567555 СССР, МПК С 04В 35/14 / И. Д. Писаренко, В. М. Карпенко, А. И. Рубанов, С. А. Шоно, В. В. Карпенко. – № 4675313/33; заявл. 11.04.1989; опубл. 07.11.1991, Бюл. № 41 – 3 с

									лист
									88
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ				

36 Защитно-упрочняющее покрытие огнеупорных футеровок тепловых агрегатов: а.с. № 2492019 РФ, МПК С1 В22С 3/00, В22D 41/02 / Л. М. Аксельрод, А.П. Лаптев, В. А. Верзаков, Т. В. Ярушина и др. – № 2012135299/02; заявл. 16.08.2012; опублик. 10.09.2013, Бюл. № 25 – 6 с.

37 ТУ 14-194-212-95 Смесь муллитокорундовая набивная марки СМКН-85 – Введ. 1995 – 07 – 01.

38 Мойзис, Е.С. Современные высокоэффективные конструкционные огнеупорные материалы / Е.С. Мойзис, С.Ю. Рыбаков, М.А. Илюхин и др. // Новости теплоснабжения. – 2016. – №06. – С. 47-59.

39 Вахрушев, А. В. Расчет макрохарактеристик наносистем. Часть 2. Коэффициент теплопроводности многокомпонентных систем / А. В.Вахрушев, А. В. Северюхин, О. Ю. Северюхина // Химическая физика и мезоскопия. – 2017. – том 19, № 4. – С. 538-546.

40 Теплопроводность [Электронный ресурс]. – URL: https://studopedia.ru/12_141885_teploprovodnost.html

41 Теплопроводность и коэффициент теплопроводности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.econel.ru/teploprovodnost/>

42 Кузнецов Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В. Кузнецов, В.В. Митор, И.Е. Дубовский – М.: «Энергия», 1973. – 296 с.

43 Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. / О.М. Рабинович – М.: «Машиностроение», 1969. – 376 с.

44 Федеральный закон от 26 июня 2008 года №102-ФЗ. Об обеспечении единства измерений. Одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года. – М.: Правительство Российской Федерации, 2008. – 19 с.

45 Энергетическая стратегия России до 2030 года. – М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с

46 Юдаева, Н.Д. Энергосбережение на промышленных предприятиях / Н.Д. Юдаева // Молодой ученый. – 2018. – №50 (236). – с. 65-66.

47 Биргер, М.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; под ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

48 Скруббер [Электронный ресурс]. – URL: <https://plast-product.ru/skrubber/#z9>

49 Гичёв, Ю.А. Очистка газов. Часть I: конспект лекций / Ю.А. Гичёв. – Днепропетровск: НМетАУ, 2015. – 51 с.

50 Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

51 Пашнин, С.В. Рекомендации по разработке раздела «Автоматического контроля и регулирования» в выпускной квалификационной работе кафедры «Промышленная теплоэнергетика» / С.В. Пашнин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2019. – 108 с.

52 Кривоносов, А.П. АСУ ТП газоотводящего тракта кнвертера / А.П. Кривоносов, А.Д. Криволапов, Ю.А. Каплунов, А.Н. Пироженко, Е.С. Гурьлёв // Современные технологии автоматизации. – 2013. – №1. – с. 42–46.

53 ГОСТ 21.408-2013 Правила выполнения рабочей документации автомати-

зации технологических процессов: система проектной документации для строительства. – М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.

54 РД 34.09.102 Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 25 с.

55 Федеральный закон от 21 июля 1997 года №116-ФЗ. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. Принят Государственной Думой 20 июня 1997 года. – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 1997. – 12 с.

56 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 декабря 2013 года №656. – М.: Правительство Российской Федерации, 2013. – 335 с.

57 Безопасность и экологичность в кислородно-конвертерном цехе [Электронный ресурс]. – URL: <https://helpstat.ru/bezopasnost-i-ekologichnost-v-kislородно-konverternom-czehe-oao-mmk/>

58 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 ноября 2013 года №542. – М.: Правительство Российской Федерации, 2013. – 58 с.

59 ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.

60 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. М.: Стандартинформ, 2018. – 56 с.

61 ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

62 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

63 Безопасность эксплуатации котельных установок [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazedu.kz/referat/187539/17>

64 Безопасность жизнедеятельности при работе с газовым оборудованием котельной [Электронный ресурс]. – URL: https://studwood.ru/1007019/matematika_himiya_fizika/bezopasnost_zhiznedeyatelnosti_rabote_gazovym_oborudovaniem_kotelnoy

65 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 года №116. – М.: Правительство Российской Федерации, 2014. – 251 с.

										лист
										90
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

13.04.01.2020.123.08 ПЗ

66 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 218. – 40 с.

67 Металлоизделия промышленного назначения [Электронный ресурс]. – URL: https://tiu.ru/Metalloizdeliya_promyshlennogo_naznacheniya

68 Сырье и материалы [Электронный ресурс]. – URL: https://tiu.ru/Drugie_mineraly_metally_i_materialy

69 Теплоизоляционные материалы [Электронный ресурс]. – URL: https://tiu.ru/Teploizolyatsionnye_materialy

70 Запорная аппаратура [Электронный ресурс]. – URL: https://tiu.ru/Zapornaya_armatura

71 Министерство тарифного регулирования и энергетики Челябинской области. Тарифы потребителям [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tarif74.ru/htmlpages/Show/Tarifypotrebiteleyam>

72 Расчет ликвидационной стоимости [Электронный ресурс]. – URL: <https://assistentus.ru/buhuchet/likvidacionnaya-stoimost/>

73 Попова, В. В. Методы обоснования экономической эффективности строительных проектов / В. В. Попова // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – №2. – с. 56–60.

										лист
										91
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.01.2020.123.08 ПЗ					

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сводные графики толщин футеровки для газоходов котла

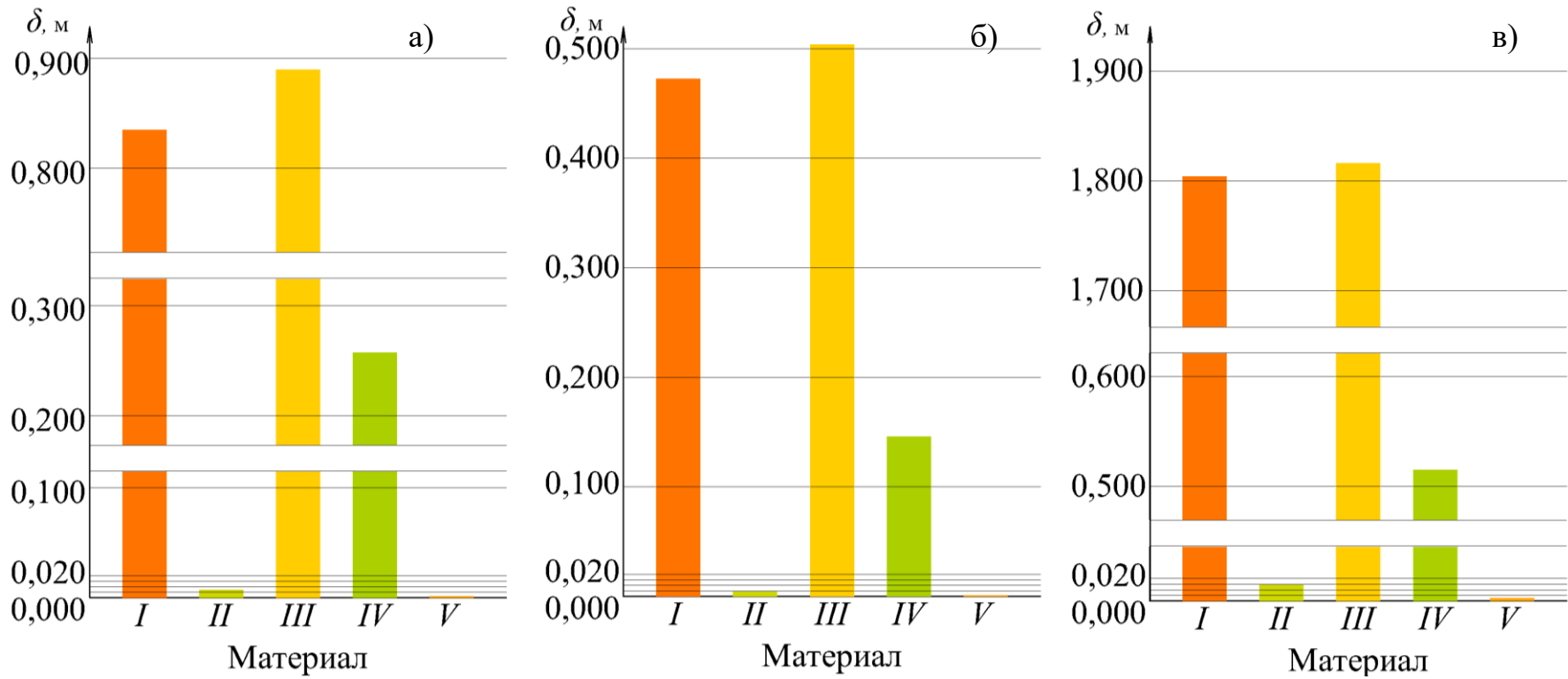


Рисунок А.1 – Сводные графики толщин футеровки для газоходов котла:
а) подъемный; б) переходный; в) опускающей

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
 Принципиальная схема газоочистки

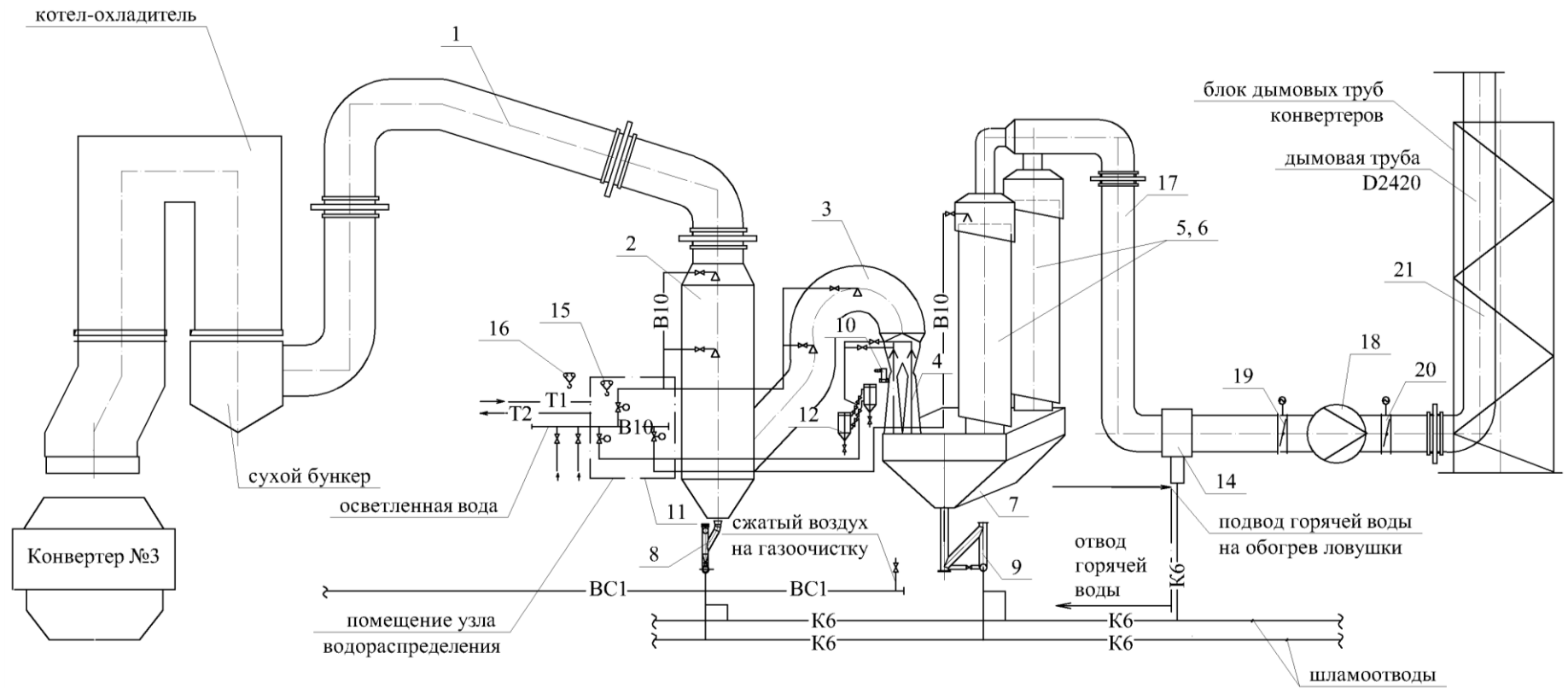


Рисунок Б.1 – Принципиальная схема газоочистки:

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Модель причинно-следственной диаграммы для конвертера №3 ПАО «ЧМК»

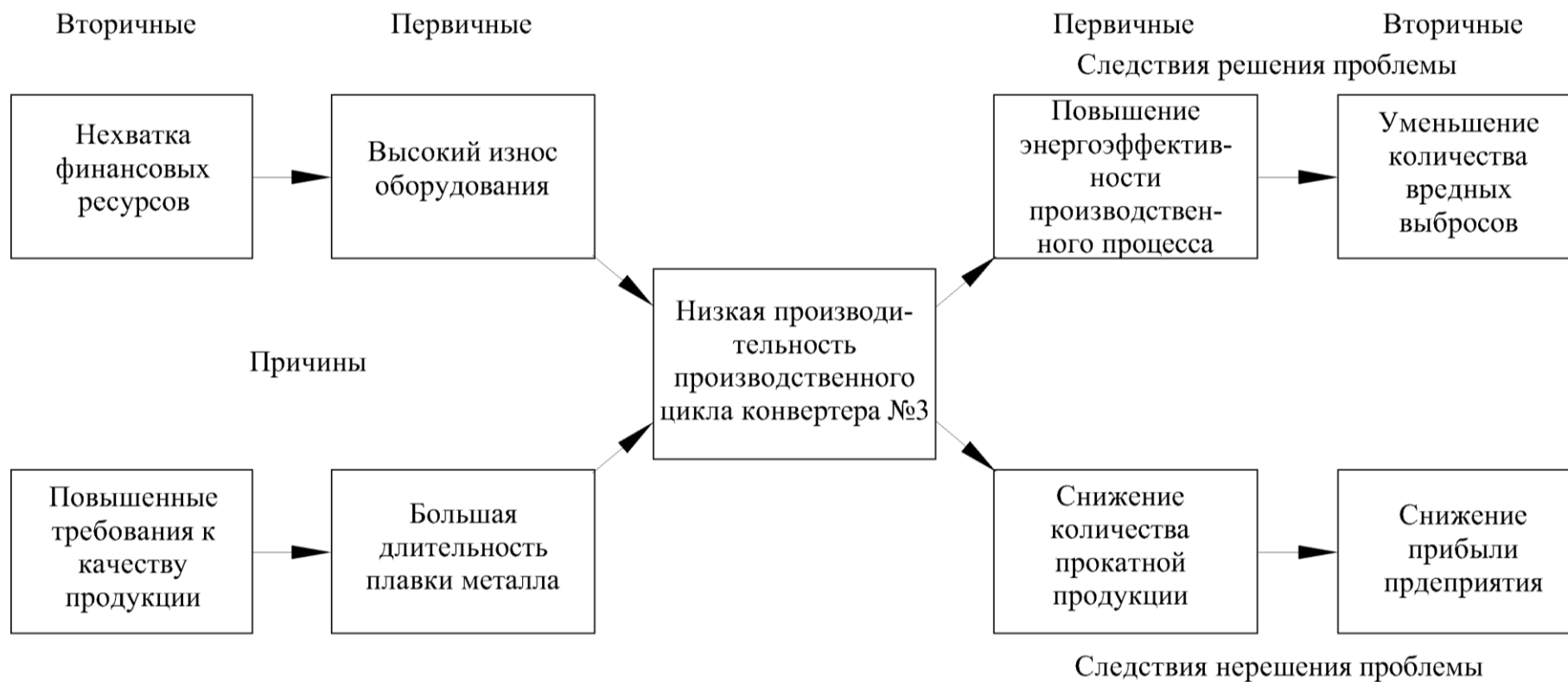


Рисунок В.1 – Модель причинно-следственной диаграммы для конвертера №3 ПАО «ЧМК»

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Дерево целей проекта реконструкции газоотводящего тракта для конвертера №3 ПАО «ЧМК»

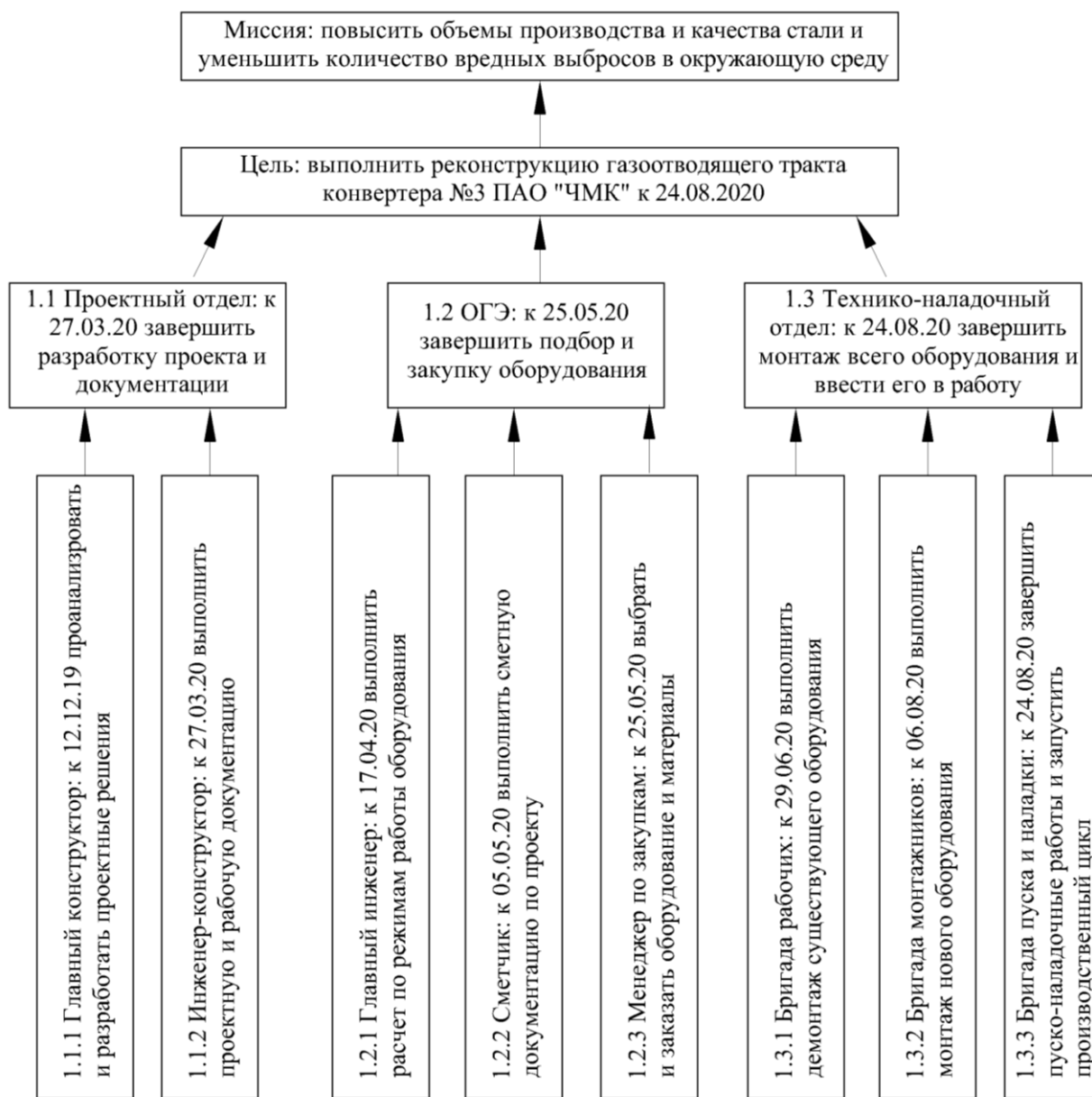


Рисунок Г.1 – Дерево целей проекта реконструкции газоотводящего тракта для конвертера №3 ПАО «ЧМК»