

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

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Начальник управления - главный
энергетик ПАО «ЧТПЗ»
_____ А.Ю. Мыльников
« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика»,
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
« ____ » _____ 2018 г.

м.п.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ
ЗАГОТОВОК ТРУБ ПЕРЕД ПРОШИВКОЙ ПУТЕМ УСТАНОВКИ
РЕКУПЕРАТОРА ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ
«ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ»

ЮУрГУ–13.04.01.2018.965.09.ПЗ

Руководитель магистерской программы,
д.т.н., профессор
_____ Е.В. Торопов
« ____ » _____ 2018 г.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент
_____ А.Г. Реш
« ____ » _____ 2018 г.

Автор работы,
магистрант группы ПЗ-389
_____ Т.В. Трофимова
« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Трофимова Т.В. Повышение эффективности работы нагревательной печи заготовок труб перед прошивкой путем установки рекуператора подогрева воздуха - Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, 3; 2018, 97 с., 13 ил., библиогр. список - 30 наим., 6 листов чертежей ф.А1, 2 листа плаката ф.А1.

Нагревательные и термические печи металлургической и машиностроительной промышленности являются одними из основных потребителей топлива в стране, причем в них, как правило, расходуют наиболее ценные сорта топлива: мазут и газ.

Повышение эффективности работы оборудования, снижение материало- и энергоемкости продукции, сокращение и вторичное использование отходов – важнейшие задачи любого производства.

Целью данной выпускной квалификационной работы (ВКР) является установка рекуператора подогрева воздуха в методической нагревательной печи.

Задача данной выпускной квалификационной работы - экономия топлива и повышение эффективности работы печи за счет установки металлического рекуператора.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 9-ти глав, заключения, библиографического списка и приложения.

Во введении рассмотрены возможности использования нагревательных печей на предприятиях, а также обозначены задачи, объект и предмет работы.

Первая глава посвящена описанию существующего положения на ПАОЧТПЗ, обосновывается актуальность и суть установки рекуператора.

Во второй главе проведено сравнение отечественных и зарубежных передовых технологий и решений в области промышленных нагревательных печей.

Графическая часть выполнена с применением AutoCAD - системы автоматизированного проектирования на 6 листах формата А1.

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | |
|---|------|------------------------|---------|------|-------------------|------|--------|
| Выполнил | | Трофимова Т.В. | | | ОГЛАВЛЕНИЕ | | |
| Руководитель | | Даша | | | Лит. | Лист | Листов |
| ВВЕДЕНИЕ | | | | | 3 | 97 | 5 |
| АКТУАЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАТОРА ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ЗАГОТОВОК ТРУБ | | | | | | | |
| Н.Контр. | | 3.04.01.2018.965.09 ПЗ | | | | | |
| Зав. кафедр. | | № докум. | Подпись | Дата | | | |
| | | | | | Лист 6 | | |

| | |
|--|----|
| 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 14 |
| 3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ ПРИ НАГРЕВЕ ЗАГОТОВОК В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ..... | 17 |
| 4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ТРЕХЗОННОЙ ПЕЧИ..... | 21 |
| 4.1 Расчет горения топлива..... | 21 |
| 4.2 Температурный режим нагрева металла..... | 23 |
| 4.3 Нагрев металла..... | 24 |
| 4.3.1 Методическая зона..... | 24 |
| 4.3.2 Сварочная зона..... | 28 |
| 4.3.3 Томильная зона..... | 30 |
| 5 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ПУТЕМ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАТОРА ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА..... | 34 |
| 5.1 Типырекуператоров..... | 34 |
| 5.2 Расчет металлического рекуператора для подогрева воздуха..... | 48 |
| 6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ..... | 54 |
| 7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ..... | 55 |
| 7.1 Расчет дымовой трубы..... | 61 |
| 8 КОНТРОЛЬНО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА..... | 65 |
| 9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ..... | 68 |
| 9.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов.. | 68 |
| 9.2 Мероприятия по охране труда..... | 72 |
| 10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ | 79 |
| 10.1 Технико-экономический расчет..... | 79 |
| 10.1.1 Расчет капитальных затрат..... | 79 |
| 10.1.2 Расчет текущих затрат..... | 80 |
| 10.1.3 Расчет срока окупаемости проекта..... | 84 |
| 10.2 SWOT-анализ для реализации проекта установки рекуператора..... | 87 |
| 10.3 Планирование целей предприятия и проекта..... | 88 |
| 10.3.1 Планирование целей предприятия в пирамиде целеполагания..... | 88 |
| 10.3.2 Планирование целей проекта в дереве целей..... | 89 |
| 10.3.3 Поле сил эффективности реализации проекта..... | 92 |
| 10.3.4 План-график Ганта по реализации целей проекта..... | 93 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 95 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 96 |

ВВЕДЕНИЕ

Методические нагревательные печи используются в прокатных цехах для массового нагрева однотипных заготовок. Обычно они работают по противоточному принципу движения металла и продуктов сгорания. В таких печах создают в основном 2 или 3 зоны нагрева. Методические печи работают по принципу противотока: нагреваемый металл движется навстречу дымовым газам. Металл при помощи толкателя продвигается от садочного окна к окну выдачи. По мере продвижения вперед металл постепенно (методически) нагревается.

В настоящее время промышленные печи работают с весьма низким термическим КПД, величина которого в производственных условиях чаще всего не превышает 20-30%, т.е. в 3-4 раза ниже, чем, например, КПД современных парокотельных установок. Низкий термический КПД промышленных печей обуславливается в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами, достигающими иногда 50-65% от количества тепла, подведенного в печь. Лучшим методом повышения термического КПД печей, а следовательно, и эко топлива является возврат в печь части тепла, содержащегося в отходящих дымовых газах, подогревом в рекуператорах воздуха, используемого для горения топлива.

Подогрев воздуха не только, обеспечивает экономию топлива, но и повышает температуру продуктов сгорания топлива, что способствует ускорению процессов нагрева металла в печах и делает возможным применение новых способов нагрева металла-скоростного, безокислительного, открытым пламенем и др. Печи, предназначенные для работы при высокой температуре рабочего пространства и требующие применения высококалорийного топлива, при установке рекуператоров могут работать на менее качественном (местном) топливе без снижения производительности и ухудшения технологических условий нагрева. Сейчас используют много различных металлических рекуператоров на промышленных печах: игольчатых, термоблоков, трубчатых, радиационных и др. конвективный рекуператор теплообменник.

Работа посвящена такой актуальной теме, как разработка проекта металлического рекуператора для подогрева воздуха.

Цель работы - повышение эффективности работы нагревательной печи заготовок труб перед прошивкой путем установки рекуператора подогрева воздуха.

В работе ставятся следующие задачи:

- изучение существующей методической печи ПАО ЧТПЗ;
- эффективность работы нагревательной методической трехзонной печи;
- определение экономической эффективности рекуператора для подогрева воздуха.

Объект работы - методическая трехзонная печь ПАО ЧТПЗ.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАТОРА ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Во всем мире энергосбережение является сегодня стратегической задачей государственного масштаба. На многих предприятиях имеют место

| | | | | | |
|-----------------------------|---|--|---------|-----|---|
| значительные энергетические | потери за счет недостаточного использования | теплоты в технологических процессах. В ПАО ЧТПЗ, нагретого | Лист | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 4 |

процессе того или иного производства, либо используется не эффективно, либо не используется вообще, и нагретый газ выбрасывается в атмосферу. Это приводит к большим энергетическим потерям в объемах предприятия, страны, мира, а также определяет различные проблемы экологического характера. Особенно это характерно для высокотемпературных производств (до 1000 °С и более), т. е. именно там, где энергетические потери наиболее велики. Решением данной проблемы является рекуперация теплоты уходящих газов[3].

Преимуществом рекуперации является экономия энергии и сырья, и как следствие, экономия средств на эксплуатацию технологического оборудования и проведения технологического процесса.

Методы рекуперации весьма разнообразны. Их выбор определяется физико-химическими свойствами рекуперированных компонентов, качественным и количественным составом сырьевых и технологических материалов, характером технологических операций и т. д.

На металлургических и машиностроительных предприятиях одним из важнейших звеньев технологического процесса производства полуфабрикатов и деталей машин является термическая обработка, которая может сочетаться с химическим, деформационным, магнитным и другими воздействиями.

К термической обработке металлических изделий относятся следующие операции: отжиг, закалка, отпуск и химико-термическая обработка.

Для нагревания металла используют термические печи, которые в зависимости от источника энергии и вида топлива подразделяют на электрические, газовые, печи, работающие на жидком и твердом топливе, а также установки для нагрева токами высокой (ТВЧ) и промышленной частоты.

В термических печах температура металла, нагреваемого для термической обработки составляет 800-1000°С (за исключением отпускных печей), температура газов в рабочем пространстве печи достигает 850-1100°С. В нагревательных печах конечная температура нагреваемого перед прокаткой, ковкой и штамповкой металла колеблется от 1100 до 1250°С, а дымовых газов в рабочем пространстве печей – от 1200 до 1450°С. Температура уходящих из печей камерного типа дымовых газов приближается к конечной температуре нагрева металла, за исключением газов печей периодического (по температуре) действия. В печах методического (по ходу дымовых газов) действия, где нагреваемый металл движется навстречу охлаждающимся дымовым газам, температура уходящих дымовых газов несколько ниже приведенной, но составляет все же для термических методических (проходных) печей примерно 500-700°С и для нагревательных методических печей – примерно 700-1100°С.

Дымовые газы, покидающие рабочее пространство печей, имеют высокую температуру и поэтому уносят с собой значительное количество теплоты. Из рабочего пространства печей дымовые газы уносят тем больше теплоты, чем выше температура дымовых газов и чем ниже коэффициент использования теплоты в печи.

В нагревательных печах с уходящими дымовыми газами теряется около 60-65% располагаемой теплоты [3]. Снизить эти потери можно путем уменьшения их количества за счет снижения коэффициента избытка воздуха при сжигании топлива и присосов воздуха в рабочее пространство печи из окружающей среды через неплотности.

| | | | | |
|---|------|----------|---------|------|
| Утилизация теплоты уходящих дымовых газов за счет снижения | | | | Лист |
| температуры может быть выполнена в 3,04ух1.2018.065.09.13 с возвратом | | | | 5 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат |

утилизированной теплоты обратно в печь и без возврата этой теплоты в печь. Возврат части теплоты дымовых газов в печь может осуществляться путем предварительного подогрева за счет части теплоты дымовых газов, металла, топлива или воздуха перед их подачей в печь, что позволяет повысить коэффициент использования теплоты печного агрегата, температуру и качество горения топлива, а также снизить расход топлива и сопутствующие негативные экологические воздействия. Предварительный нагрев металла за счет части теплоты уходящих дымовых газов ограничен и осуществляется в методических печах. Увеличение использования теплоты уходящих газов приводит к значительному возрастанию капитальных и эксплуатационных затрат на печи. Поэтому устанавливают температурный предел, ниже которого уменьшить температуру дымовых газов нецелесообразно (таблица 1.1)[7].

Кроме потерь теплоты в виде физической теплоты уходящих дымовых газов, более или менее значительные количества теплоты теряются от химической неполноты сгорания, когда в уходящих газах содержатся горючие вещества – в основном окись углерода. Особенно велики эти потери бывают при отоплении печей бедным (низкокалорийным) газом.

Для предварительного подогрева топлива или воздуха уходящими газами перед их подачей в печь можно использовать рекуперативные и регенеративные теплообменники[3].

При втором способе утилизации часть теплоты уходящих дымовых газов можно использовать в котлах-утилизаторах (рекуператорах) для получения горячей воды или водяного пара, а также механической или электрической энергии с помощью теплосиловых установок[8,9], которые можно использовать на предприятиях, чем также достигается значительная экономия топлива

В отдельных случаях оба способа могут использоваться одновременно. Но наиболее важное значение имеет утилизация теплоты уходящих газов с возвратом части теплоты в печь [11]. Это объясняется тем, что единица теплоты, отобранная у газа и вносимая в печь с воздухом или газом (единица физической теплоты), оказывается значительно ценнее единицы теплоты, полученной в печи в результате сгорания топлива, так как теплота подогретого воздуха (газа) не влечет за собой потерь теплоты с дымовыми газами. Т. е. использование подогретого воздуха вместо воздуха окружающей температуры улучшает горение топлива в печи, снижает его химический и механический недожог. Ценность единицы физической теплоты тем больше, чем ниже коэффициент использования топлива и чем выше температура отходящих дымовых газов.

Таблица 1.1 — Тепловая характеристика промышленных печей, наиболее широко применяемых в металлургическом и машиностроительном производстве

| Типы печей | | Температура в рабочем пространстве, °С | Полезно используемое тепло, % | Средняя температура уходящих дымовых газов, °С | Потери с уходящими дымовыми газами, % |
|----------------|------|--|-------------------------------|--|---------------------------------------|
| Нагревательные | | 1300-1400 | 20-30 | 1250-1350 | 55-60 |
| | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 6 |

| | | | | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|
| колодцы | | | | |
| Методические прокатные печи | 1300-1450 | 30-40 | 700-1100 | 30-45 |
| Кузнечные камерные печи | 1300-1450 | 10-15 | 1100-1200 | 55-65 |
| Термические камерные печи | 850-1100 | 15-20 | 800-950 | 35-50 |
| Термические проходные (методические печи) | 850-1100 | 25-35 | 500-700 | 25-35 |

Утилизация теплоты уходящих дымовых газов позволяет достичь экономии топлива, причем экономия топлива зависит от степени утилизации теплоты уходящих газов, выраженной как отношение энтальпии подогретого воздуха к энтальпии отходящих из рабочего пространства газов. Степень утилизации теплоты также может быть выражена как КПД рекуператора[5].

Рекуперация теплоты, позволяет экономить до 30-40% потребляемой энергии. В результате, при том же расходе топлива количество теплоты, получаемой в процессе горения, увеличивается на 10-15%.

В данной ВКР рассмотрена трехзонная нагревательная печь ПАО «ЧТПЗ».

ЧТПЗ – промышленная группа металлургического комплекса России, является одной из крупнейших отечественных компаний-производителей трубной продукции с общей долей рынка около 17%. Выручка компании превышает \$2 млрд, на заводах компании ЧТПЗ работает около 25 000 человек. Входит в десятку крупнейших трубных компаний мира. Группа ЧТПЗ объединяет предприятия и компании черной металлургии: Челябинский трубопрокатный завод, Первоуральский новотрубный завод, складской комплекс, осуществляющий реализацию трубной продукции Группы в регионах, компанию по заготовке и переработке металлолома "МЕТА"; предприятия по производству магистрального оборудования "СОТ", "ЭТЕРНО", MSA (Чехия); нефтесервисный бизнес представлен компанией "Римера".

Основной целью Группы ЧТПЗ является комплексное удовлетворение потребностей российских и мировых компаний топливно-энергетического комплекса за счет разработки и поставки интегрированных решений для магистрального и внутрипромыслового трубопроводного транспорта.

Обладая достаточным количеством мощностей по производству сварных и бесшовных труб широкого сортамента, развитой системой складов, ЧТПЗ позиционирует себя как эффективного универсального игрока на трубном рынке России и стран СНГ, специализирующегося на изготовлении трубной продукции для всех основных секторов экономики.

Основные цехи завода, непосредственно производящие продукцию:

- Трубопрокатный цех № 1. Производство бесшовных горячекатаных труб.

- Трубопрокатный цех № 2. Производство бесшовных горячекатаных труб.

- Трубопрокатный цех № 5. Производство бесшовных

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | Лист |
| | | | | | 7 |

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

холоднодеформированных труб на станах холодной прокатки ХПТ-160, ХПТ-250, ХПТ-400П.

- Трубоэлектросварочный цех № 6. Производство электросварных прямошовных труб методом сварки под слоем флюса.
- Трубоэлектросварочный цех «Высота 239». Производство электросварных прямошовных труб методом сварки под слоем флюса.
- Цех производства керамического флюса.
- Теплоэнергетическое подразделение. Производство пара. Эксплуатация котлов-утилизаторов, систем испарительного охлаждения, системы теплоснабжения от ЧТЭЦ-1.
- Ремонтно-вспомогательное подразделение. Обеспечивает бесперебойную эксплуатацию основного технологического производства, проводят ремонтные и вспомогательные работы и изделия для выполнения ремонтов.

Сегодня основной продукцией компании являются:

- трубы электросварные диаметром 12 – 76 мм,
- трубы сварные большого диаметра 508 – 1422 мм (в том числе с покрытием: наружным и внутренним антикоррозионным, внутренним гладкостным),
- трубы бесшовные горячедеформированные диаметром 32 – 550 мм, в т.ч. нержавеющие диаметром 89 – 159 мм,
- трубы бесшовные холоднодеформированные диаметром 0,3 – 426 мм, в т.ч. нержавеющие диаметром 0,3 – 426 мм,
- насосно-компрессорные трубы диаметром 60 – 114 мм, обсадные трубы диаметром 114 – 178 мм и 245 – 426 мм, муфты к ним,
- профильные трубы,
- баллоны для сжатых газов,
- керамические флюсы для сварки и наплавки.

Присутствие в составе Группы ЧТПЗ заводов магистрального оборудования, нефтяного машиностроения, центра геофизических исследований и сети нефтесервисных предприятий позволяет компании предложить нефтегазовому комплексу услуги по разведке и обустройству месторождений, а также проектированию и строительству трубопроводов.

Челябинский трубопрокатный завод на пилигримовой установке в цехе №1 изготавливает бесшовные горячедеформированные трубы диаметром 273 - 550 мм с толщиной стенки от 8 до 90 мм с соотношением D/S (толщина стенки к диаметру) от 3,5 до 55. Трубы общего назначения выпускаются по ГОСТ, трубы специального назначения выпускаются по техническим условиям, в которых указываются специальные требования, характерные для эксплуатации этих труб. В зависимости от назначения и требований технической документации трубы изготавливаются из многогранного литого слитка мартеновского производства, слитка электрошлакового переплава, ковальной заготовки, или из непрерывно-литой заготовки.

Бесшовные горячедеформированные трубы общего назначения по ГОСТ 8732, ГОСТ 8731 выпускаются из стали марок 10, 20 из литого слитка. Обсадные трубы диаметром 351, 377 и 426 мм с толщиной стенки от 11 до 12 мм групп прочности "С" и "Д" изготавливаются из литого слитка. Трубы специального назначения изготавливаются из ковальной заготовки различных углеродистых, легированных, нержавеющих марок стали и сплавов на основе титана. Трубы, предназначенные для паровых котлов и трубопроводов, изготавливаются на обычные и сверхкритические параметры из марок стали 20,

15ГС, 15 ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 40Х, 09ГСФ с толщиной стенки от 9 до 90 мм.

Трубы проходят испытания механических свойств при обычных и повышенных температурах, гарантия предела длительной прочности за 10 в пятой степени часов, контроль каждой легированной трубы стилоскопом, контроль макро и микроструктуры, загрязненности, ультразвуковой контроль, гарантия гидроиспытания. Для изготовления деталей путем механической обработки, при изготовлении корпусов электродвигателей, роликов рольгангов и других деталей изготавливаются толстостенные трубы из углеродистых и низколегированных марок стали с толщиной стенки от 16 до 90 мм. Требования к трубам в каждом конкретном случае уточняются. Трубы из сплавов на основе титана и нержавеющей стали изготавливаются по специальной технологии и поставляются в механически обработанном состоянии расточенные и обточенные. В составе оборудования цеха имеется отделение термической обработки труб, что позволяет производить нормализацию труб в секционной печи, отпуск в камерных печах, а также термический участок, оборудование которого позволяет производить на трубах ограниченной длины, закалку с отпуском в вертикальных печах.

Технология производства

Технологический процесс производства труб включает в себя ряд последовательных технологических операций:

1. В производстве горячедеформированных труб большого диаметра используются многогранный литой слиток мартеновского производства, слиток электрошлакового переплава, ковванная заготовка. Слитки (заготовки), поступают на склад заготовок где проходят предварительный визуальный осмотр, происходит удаление прибыльной части слитка. Производится дополнительный контроль микро и макроструктуры слитка.

2. Следующим этапом производства труб является нагрев заготовки в методической печи, в качестве топлива которой используется природный газ. Основные размеры печи:

- Рабочая длина подины 28,6 м.
- Ширина подины 5,1 м.
- Полезная площадь подины 91,5 м.

Загрузка заготовки (Размер нагреваемых слитков и гильз - Диаметр 420 - 650 мм. Длина 1100 - 4100 мм) происходит в торцевой части печи. Нагрев заготовки происходит в трехзонной методической печи, с шагающим подом, при температуре от 1150 до 1310 градусов по Цельсию (это значит, что по мере нагрева заготовки, она продвигается по зонам печи с начала нагрева до процесса выгрузки заготовки). Далее заготовка выгружается из печи манипулятором и передаточной тележкой передается к следующей технологической операции.

3. Следующей операцией является зацентровка слитка, которая проводится на пневматическом зацентровщике. Эта стадия необходима для уменьшения разностенности труб и повышения качества изготавливаемой гильзы.

4. Далее в соответствии с технологическим процессом идет прошивка слитка в гильзу, которая осуществляется в прошивном стане поперечно-винтовой прокатки.

| | | | | | |
|------|------|---|---------|-----|------|
| | 5. | Техническая характеристика стана поперечно-винтовой прокатки. | | | Лист |
| | - | материал оправки - сталь 30Х3МФ, 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 9 |

- привод электродвигателя постоянного тока мощностью 2570 кВт,
- диаметр валков - диаметр бочки - 920 - 1045мм,
- длина бочки - 750 мм.

При винтовой прошивке основное движение и формоизменения металла происходит под действием силы трения на контактной поверхности металла с валками. При этом слиток превращается в горячедеформированную гильзу готовую к раскатке на пилигримовом стане продольной прокатки.

6. С прошивного стана труба поступает на пилигримовый стан (который состоит из двух клетей периодической прокатки приводимых в действие от одного двигателя, валки пилигримового стана вращаются в направлении обратном направлению движения заготовки на оправке), где происходит обжатие по диаметру и толщине стенки с приданием стенке и диаметру трубы размера близкого к конечному значению. Раскатка гильзы ведется на оправке (дорне) путем продольной прокатки (гильза находящаяся на оправке проходит через валки пилигримового стана, и, таким образом, внутренний диаметр трубы определяется диаметром оправки, внешний - диаметром валков пилигримового стана. Привод от электродвигателя постоянного тока, мощность 2570 кВт, $n=35-75$ об/мин. $U = 700$. С маховиком диаметром 9000 мм массой 120т. Краткая характеристика подающего аппарата:

Подающий аппарат предназначен для подачи гильзы в валки пилигримового стана с одновременным поворотом ее на 90 градусов. Подающий аппарат состоит из следующих основных узлов:

- станины.
- каретки с пневмоцилиндром, амортизатором и поворотным (диаметр поршня 675 мм) устройством.
- гидроцилиндров для продвижения каретки.
- дорнодержателя.

7. С пилигримового стана труба поступает в соответствии с технологическим процессом для обрезки на дисковую пилу, где происходит отрезка затравочной части трубы и порезка труб на длины соответствующие ГОСТУ или ТУ. Техническая характеристика дисковой пилы.

- Мощность электродвигателя - привода дисковой пилы 95/120 кВт.
- Ход пилы 1050 мм.
- Диаметр пилы 1745 мм.
- Толщина диска пилы 8 - 12 мм.
- Масса диска 216 кг.

8. Далее труба поступает на калибровочный стан, где происходит калибрование в системе круглых калибров в непрерывном стане продольной прокатки. Прокатка ведется без натяжения, при этом происходит утолщения стенки на 4-16%.

9. Далее труба поступает на шлеппера, где охлаждается естественным путем, без применения дополнительных охлаждающих установок.

10. После охлаждения труба поступает на косовалковую правильную машину, где устраняются механические деформации и кривизна возникшие во время технологического процесса прокатки труб.

11. После выхода трубы из косовалковой машины труба проходит предварительную маркировку и первичный осмотр, на предмет выявления

технологических дефектов.

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

Лист

10

| | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат |
|------|------|----------|---------|-----|

12. Далее происходит вырезка дефектных участков на станке в соответствии с ГОСТом и нанесение фаски на торец трубы. Затем труба проходит неразрушающий контроль и термическую обработку, если это оговорено в заказе.

13. После окончательной проверки трубы происходит ее маркировка и отгрузка на склад.

По требованию потребителя труба может быть подвергнута термической обработке. Комплекс технологического оборудования, установленный в цехе №1 на Челябинском трубопрокатном заводе, позволяет осуществить полный технологический контроль над производимой продукцией, и обеспечить гарантию качества труб. По требованию потребителя для предотвращения коррозии наружная поверхность каждой трубы покрывается антикоррозионным лакокрасочным покрытием на время транспортировки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 11 |

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Впервые в мире строгую научную теорию печей создал В. Е. Грум-Гржимайло [16]. В 20 -30-е годы прошлого века исследования в области пещестроения были систематизированы в книге «Справочник конструктора печей» под редакцией В. Е. Грум-Гржимайло. Сорокалетний опыт системных исследований в области теплового и аэродинамического расчёта и конструирования печей в области пещестроения был зафиксирован в справочнике при разработке, которого принимали активное участие сотрудники Стальпроекта [30]. Разработкой энергосберегающего оборудования для ТТУ и внедрением его на предприятиях машиностроения и металлургии успешно кроме института Стальпроект занимается институт Теплопроект.

Однако методики по выполнению тепловых расчётов печей и утилизационного оборудования, активно развиваемые в конце прошлого столетия [16], строились на инженерных методах расчёта, в которых принимались значительные упрощения. Эти методы не позволяли решать оптимизационные задачи сложного уровня, расчётные методы, применяемые для численных исследований, зачастую, из-за низкого развития вычислительной техники было тяжело использовать для существующего оборудования. Большой вклад при развитии этих методов внесли работы

Л. А. Бровкина, А. Д. Ключникова, М. А. Глинкова, В. А. Кривандина, Ю. И. Розенгарта, Б. И. Китаева и др.

Комплекс всевозможных энергосберегающих мероприятий в тепло технологии сводится к следующим трем группам: утилизационным, энергетической модернизации, интенсивному энергосбережению [18].

Первые две группы относятся к традиционным мероприятиям и решают тактическую задачу развития энергетики. Одной из таких задач является задача повышения энергетической эффективности ТТУ на основе регенеративного использования тепловых отходов отходящих из реактора газов, потока теплоты через ограждения, теплоты технологической продукции [80]. Отмечается, что наивысший результат экономии топлива и повышения КПД может иметь место только при одновременном снижении отношения потерь теплоты через ограждения к теплопоглощению материала и наиболее полной регенерации теплоты отходящих из реактора газов. Третье направление направлено, на разработку конкретных способов, технических средств наиболее полного использования этих резервов, а также на создание соответствующего оборудования для реализации этих резервов как в действующих, так и в новых ТТУ, системах и комплексах.

В последнее время появилось много нового математического инструмента для моделирования устройств нагрева, который позволяет на более качественном уровне решать задачи энергоэффективности. Г. Г. Немзер в своей книге предлагает классификацию математических моделей печей по следующим признакам: по способу построения (аналитические, экспериментально статистические, смешанные); по назначению (для исследований - разработка новых теоретических положений, улучшения технико-экономических показателей, создание новых техпроцессов), (для управления - автоматического регулирования, оптимального управления); по

моделирования, степени приближения полученного при моделировании значения к истинному значению параметра процесса или конструкции установки. Точность определяется совершенством математического моделирования процесса, в сочетании с ограничением времени моделирования для управляющего воздействия для обеспечения процедур расчёта результирующих температурных полей в форме, позволяющей использовать их в процедурах автоматизированного расчета оптимальных алгоритмов управления [14].

Погрешности или отклонение значения вычисленной величины от действительного её значения ввиду неточности моделирования будут зависеть от области охвата модели, от вычислительных ресурсов, от выбора модели для проведения теплотехнического расчета (одномерная, двухмерная либо трехмерная), от степени дискретизации [30]. Погрешности моделирования также будут зависеть от конечно-разносной аппроксимации дифференциального оператора при численном моделировании объектов [348]. Существенное влияние на эффективность моделирования оказывает снижение порядка модели. Модель сокращение или снижение порядка модели является математической теорией, для нахождения низкоразмерных приближений для системы ОДУ, поэтому снижению порядка модели придается большое значение в современных вычислительных комплексах [24]. В настоящее время накоплен значительный материал о повышении эффективности печных, установок [18]. Для решения задач энергоэффективности нагревательных газовых печей является создание их адекватных математических моделей, содержащих в явном виде все энергетические характеристики и конструктивные параметры таких технологических объектов при этом сокращается создание новых энергоэффективных установок. Это обычно позволяет вычислительными методами решать такие задачи, как: конструктивная и технологическая оптимизация по указанному критерию эффективности; распределение температурного поля внутри камеры; анализ изменений теплового потока в объеме печи и т.д.

Модернизация парка печного оборудования и повышение эффективности работы существующего, может проходить по трем основным направлениям. Первое - совершенствование режимов термической обработки металлов. Второе - оптимизация производственного процесса. Согласно результатам энергетического обследования, даже для устаревшего печного оборудования увеличение его степени загрузки до номинальной позволяет существенно повысить энергетическую эффективность его работы. Третье направление - создание новых, современных конструкций печного оборудования [26]. Для оценки влияния на уровень энергопотребления действующей системы А. Д. Ключниковым предложен метод интенсивного энергосбережения, который получил своё развитие в работах С. К. Попова [25]. Этот метод позволяет использовать приближение к установленному ориентиру - идеализированному аналогу действующей системы, которое потенциально обладает эффектом и называется интенсивным энергосбережением теплотехнологической системы.

Вопросам повышения энергоэффективности технологических процессов посвящены многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов в самых различных направлениях. Так, в работе [26] авторы указывают

| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|------|------|----------|---------|-----|----|
| на оптимизацию по энергоэффективности большинства схем производственных | | | | | Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 13 |
| конструкционных материалов с глубоким вторичных | | | | | | | | | | |

(побочных) ресурсов, посредством создания, например, энергометаллургических процессов и агрегатов, а также и уже существующих наработок, например ГУБТ, когенерации и др.

Работы авторов посвящены автоматизации на основе теплового моделирования состояния нагреваемого металла и энергосбережению в камерных и методических печах с целью повышения качества нагрева. Многие авторы большое внимание уделяют оптимизации конструктивных и режимных параметров [24]. Ими, в частности, учитывались следующие факторы, влияющие на энергоэффективность, где в качестве оптимизационного параметра выступает минимальное окисление металла, расход топлива, качество топлива и окислителя, конструктивных и режимных параметров установок, однако применительно к области оптимизации работы не носили системного характера. Кроме того, сложные, чрезмерно детализованные математические модели теплотехнологического и энергетического оборудования становятся непосильными для решения современными ЭВМ и обладают рядом ограничений, например для АСУ. При этом использование нейросетевой технологии, активно развивающейся в последнее время для исследований в этой области, может существенно помочь. Для её использования применительно к ТТУ установкам требуется развитие теоретических положений по применению нейросетевых технологий с учетом ряда технологических ограничений, оказывающих влияние на качество принятого решения в целом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 14 |

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ ПРИ НАГРЕВЕ ЗАГОТОВОК В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Нагреву заготовок в трубном производстве уделяется повышенное внимание, так как тепловые режимы нагревательных устройств влияют не только на расход топлива, а это более 50 % энергии, затрачиваемой на прокатку трубных заготовок, но и на равномерность нагрева заготовок, что отражается на качестве трубной продукции (отклонения диаметра и толщины стенки, овальность, различные дефекты поверхности и т. д.).

В настоящее время на современных металлургических предприятиях уже много лет не используют методические нагревательные печи. Опираясь на современный опыт нагрева заготовок перед прокатом, в данной выпускной квалификационной работе, была рассмотрена кольцевая печь Белорусского металлургического предприятия, как пример зарубежных передовых технологий, со схожими характеристиками нагрева при производительности.

В Белоруссии самое широкое распространение в трубном производстве получили нагревательные печи с подвижным кольцевым подом.

Трубопрокатный цех, введенный в эксплуатацию в июле 2007 г. на ОАО «Белорусский металлургический завод» (ОАО «БМЗ»), выпускает трубы диаметром 21,3–168,3 мм, освоено производство более 250 позиций различного назначения. Качество соответствует российским и зарубежным стандартам (ГОСТ, DIN, ASTM, API5L, EN, API5CT). Более 80% трубной продукции реализуется за пределы Республики Беларусь. Весь технологический процесс производства бесшовных труб на трубопрокатном агрегате ОАО «БМЗ» можно условно разбить на ряд этапов и, проанализировав каждый этап в сравнении с существующими в мире технологиями, сделать выводы о его преимуществах либо недостатках.

В технологии производства бесшовных труб нагрев металла считается одним из существенных технологических этапов. Режим нагрева заготовок перед деформацией в значительной степени определяет качество готовых труб, их механические и технологические свойства, производительность установки, энергосиловые и скоростные показатели процесса прокатки и прессования.

В качестве нагревательной печи для трубопрокатного комплекса Белорусского металлургического завода используется газовая печь с кольцевым вращающимся подом с максимальной производительностью 80 т/ч. Печь позволяет нагревать горячекатаные и непрерывнолитые круглые заготовки сечениями $\varnothing 140 - 200$ мм до температур пластической деформации.

На существующих в мире трубопрокатных агрегатах для производства бесшовных труб для нагрева заготовок применяют газовые (кольцевые, секционные, с шагающими балками и т. д.) и индукционные печи.

Газовые печи с кольцевым вращающимся подом получили наибольшее распространение в трубном производстве, поскольку обладают большой технологической гибкостью, приспособлены для перехода с камерного режима работы на методический и наоборот. В данного типа печах горелки равномерно расположены по окружности печи и позволяют распределять подачу топлива в соответствии с требованиями температурного режима: при камерном режиме –

| | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|----|------|------|----------|---------|-----|----|
| обеспечивают подачу топлива равномерно по всей окружности; при методическом режиме – неравномерно | по всей окружности; при методическом режиме – неравномерно | 13.04.01.2018 г. 9:55:09 | ПЗ | Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 15 |
|---|--|--------------------------|----|------|------|----------|---------|-----|----|

методическую(подогрева) зону – 20 %; на сварочную(нагрева) – 65 %; на зону выдержки – 15 %). Горизонтальное расположение пода, герметичность печи благодаря наличию водяного или песочного затвора пода и минимальному числу окон (только для загрузки, выгрузки и 1–2 контрольных), стационарное положение заготовок на поде, что сохраняет первичную окалину в процессе нагрева – все это способствует уменьшению окалинообразования в кольцевых печах. Величина потерь металла наугар в кольцевой печи (0,5–1,0 %) значительно меньше величины потерь в печах с шагающими балками.

В кольцевых печах заготовки, лежащие неподвижно на вращающемся поде, вместе с подом за время полного оборота проходят методическую, сварочную и томильную зоны. Во избежание подсоса холодного воздуха в рабочее пространство между стенами печи и вращающимся подом устанавливают специальные песочные или водяные затворы. Общий вид современной кольцевой печи приведен на рисунке 3.1.

Горелки устанавливают как на наружных, так и на внутренних стенах печи. Все шире применяется сводовое отопление. Печи с кольцевым подом оснащают рекуператорами. По наружной окружности размещаются горелки, обеспечивающие примерно 75–80 % тепловой мощности печи, по внутренней – 20–25 %. При методическом режиме дымовые газы удаляются лишь через дымоходы, расположенные около окна загрузки, а температура печи изменяется по ходу нагрева металла приблизительно так же, как и в методических нагревательных печах других конструкций.

Производительность кольцевых печей может изменяться в широких пределах в зависимости от расстояния между заготовками, их диаметров, тепловой мощности, марки стали. При этом удельная продолжительность нагрева может достигать значений 4–4,5 мин/см.

Математическая формулировка задачи сопряженного теплообмена между дымовыми газами, футеровкой печи и нагреваемым металлом является сложной и взаимосвязанной [9], поэтому выделим три основные составляющие для теплового режима печи: тепловой режим печной среды, тепловой режим футеровки и тепловой режим металла. Условия работы футеровки в различных частях кольцевого канала несколько отличаются друг от друга, поэтому тепловой режим футеровки при моделировании для свода и стен печи рассматривается в квазистационарном приближении, а кольцевой под, проходящий через все температурные зоны, требует учета его нагрева и охлаждения во времени.

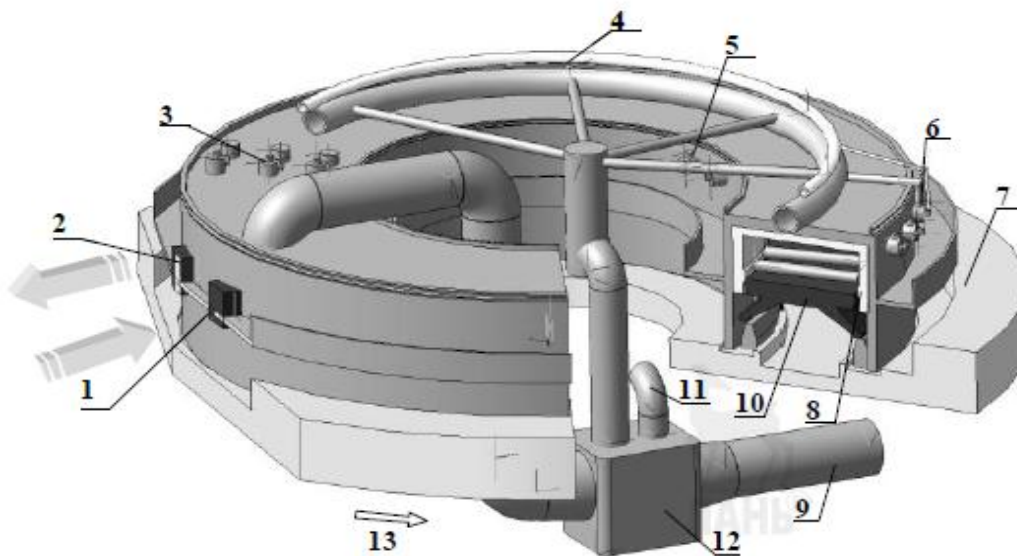


Рисунок 3.1 – Общий вид современной кольцевой печи:

1 – окно загрузки; 2 – окно выгрузки; 3 – сводовые плоскопламенные горелки; 4 – газо- и воздухопроводы; 5 – боковые горелки внутреннего кольца; 6 – боковые горелки внешнего кольца; 7 – фундамент; 8 – футеровка печи; 9 – дымоотводящий тракт; 10 – подвижный кольцевой под; 11 – вентиляционный воздух к рекуператору; 12 – рекуператор; 13 – направление вращения пода.

Фактически поперечное сечение кольцевого канала в модели используется только для нахождения тепловых потерь через ограждающие конструкции, а температура по длине заготовки считается постоянной.

Это справедливо по той причине, что концы заготовки при равномерной температуре среды должны нагреваться больше [4], тепловые потоки у стен меньше на 5–12 %, что равносильно выравниванию температурного поля по длине заготовок. Различного рода неравномерности нагрева зависят от таких факторов, как неправильная регулировка мощности горелок по обеим сторонам стен печи, подсосы воздуха в рабочее пространство, и других факторов, имеющих случайный характер, поэтому при моделировании не учитываются.

Расчет теплового режима по предложенной физико-математической модели организован итерационным процессом, поэтому в начале расчета все элементы печи имеют начальную температуру (например, 20 °С). Далее за каждый оборот печи происходит разогрев пода, пока система не достигнет квазистационарного состояния (не изменяющиеся во времени температуры всех элементов по длине печи). После прогрева печи имеется разогретая футеровка стен, которая находится в стационарном режиме и под печи, испытывающий циклические температурные воздействия по ходу движения: неотапливаемая зона (450–850 °С) → томильная зона (1260 °С) → неотапливаемая зона.

Важно отметить, что для наиболее эффективной работы печи нужен не максимально экономичный режим, а тот режим, который соответствует производительности прошивной машины, т. е. время нагрева заготовки определяется производительностью технологической линии.

В данной печи нагревали заготовки диаметром 385–369 мм длиной 1240–

| | |
|--|---------|
| 1600 мм, уложенные в два ряда соосно, расстояние между заготовками по ширине пода равно одному диаметру. Средний диаметр печи – 20 м, ширина | Лист |
| Изм. | Лист |
| № докум. | Подпись |
| Дат | Дат |

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

пода –4,15 м, высота рабочего пространства – 1,744 м. Штатные температуры по зонам печи равны: методическая – 960 °С, сварочные – 1270 °С, томильная – 1260 °С.

Нагрев заготовок из стали 40 диаметром $D = 385$ мм и длиной $l = 1400$ мм, расположенных в два ряда (шаг раскладки – 770 мм; $s/d = 3$), с производительностью кольцевой печи $P = 229$ т в смену (28,6 т/ч). Время нагрева до необходимой температуры – 240 мин.

В таблице 3.1 приведены параметры кольцевой печи ОАО «БМЗ» и параметры методической печи ПАО «ЧТПЗ».

Таблица 3.1 – Параметры кольцевой печи ОАО «БМЗ» и параметры методической печи ПАО «ЧТПЗ».

| Параметр | ОАОБМЗ | ПАОЧТПЗ |
|---|--------|---------|
| Расход газа печи, м ³ /ч | 1075,1 | 2400 |
| Начальная температура металла, °С | 20 | 20 |
| Конечная температура металла, °С | 1242 | 1270 |
| Максимальный перепад температуры в процессе нагрева, °С | 327 | 270 |
| Диаметр заготовки, мм | 385 | 450 |
| Длина заготовок, мм | 1400 | 1700 |
| Количество рядов | 2 | 2 |
| Время нахождения заготовки в печи, мин | 254 | 157 |
| Производительность печи, т/ч | 28,6 | 35 |

Сравнив кольцевую нагревательную печь ОАО «БМЗ» и методическую нагревательную печь ПАО «ЧТПЗ» можно сделать вывод, что печь ЧТПЗ имеет производительность выше, но расход газа в 2 раза больше чем у кольцевой.

4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ТРЕХЗОННОЙ ПЕЧИ

4.1 Расчет горения топлива

Целью сгорания является определение расхода воздуха, количества и состава продуктов сгорания (таблица 4.1)

Таблица 4.1 — Состав продуктов сгорания

| Газ природный | CH_4 | C_2H_6 | C_4H_8 | C_4H_{10} | C_5H_{12} | C_6H_{14} | CO_2 | N_2 | H_2 | O_2 |
|----------------------|--------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|--------|-------|-------|--------|
| % газа в составе | 95,7 | 1,98 | 0,487 | 0,141 | 0,0296 | 0,011 | 0,292 | 1,32 | 0,012 | 0,0001 |
| кф. теплоты сгорания | 0,33 | 0,60 | 0,865 | 2,281 | 1,4402 | 1,614 | - | - | 0,101 | - |

1) Рассчитаем теплоту сгорания природного газа и его смеси (4.1):

$$Q_H^p = 0,33 \cdot CH_4 + 0,60 \cdot C_2H_6 + 0,865 \cdot C_4H_8 + 2,281 \cdot C_4H_{10} + 1,4402 \cdot C_5H_{12} + 1,614 \cdot C_6H_{14} + 0,101 \cdot H_2 \text{ МДж/М}^3 \quad (4.1)$$

где Q_H^p - теплота сгорания природного газа и его смеси, МДж/М³

CH_4 - метан

C_2H_6 -этан

C_4H_8 - бутилен

C_4H_{10} - бутан

C_5H_{12} - пентан

C_6H_{14} - гексан

H_2 - водород

$$Q_H^p = 0,33 \cdot 95,7 + 0,60 \cdot 1,98 + 0,865 \cdot 0,487 + 2,281 \cdot 0,141 + 1,4402 \cdot 0,0296 + 1,614 \cdot 0,011 + 0,101 \cdot 0,012 = 33,966 \text{ МДж/М}^3$$

2) Расход кислорода на горение природного газа (4.2):

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot [0,5 \cdot H_2 + \sum (m + \frac{n}{4}) C_m H_n - O_2] \quad (4.2)$$

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot [0,5 \cdot H_2 + \sum ((1 + \frac{4}{4}) CH_4 + (2 + \frac{6}{4}) C_2H_6 + (4 + \frac{8}{4}) C_4H_8 + (4 + \frac{10}{4}) C_4H_{10} + (5 + \frac{12}{4}) C_5H_{12} + (6 + \frac{14}{4}) C_6H_{14} - O_2)] = 0,01 \cdot [0,0058 + 202,52887] = 2,025 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

3) Действительный расход воздуха (формула 4.3):

$$V_b = \alpha \cdot (1+k) \cdot V_{O_2} \quad (4.3)$$

| | | |
|---|-------------------------|------|
| где $\alpha = 1,05$ — коэффициент расхода газа | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| к — отношение объёмов содержаний N_2, O_2 в дутье | | 19 |
| Изм. Лист № докум. Подпись Дат | | |

$$k = 3,762$$

$$V_B = 1,05 \cdot (1+3,762) \cdot 2,025 = 10,125 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

4) Объем компонентов продуктов сгорания (формула 4.4):

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n) \quad (4.4)$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (0,292 + (95,71 + 3,96 + 1,948 + 0,564 + 0,14785 + 0,066)) = 1,027 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

$$V_{H_2O} = 0,01 (H_2O + H_2 + H_2S + 0,5 \sum n C_m H_n)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 (0 + 0,0116 + 0 + 0,5 \cdot (4 \cdot 95,71 + 6 \cdot 1,98 + 8 \cdot 0,487 + 10 \cdot 0,141 + 12 \cdot 0,02957 + 14 \cdot 0,011)) = 0,01 (0,0116 + 0,5 (382,84 + 11,88 + 3,896 + 1,41 + 0,35484 + 0,154)) = 2,003 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

5) Объем сгорания двухатомных газов (4.5):

$$V_{N_2} = 0,01 N_2 + \alpha k V_{O_2} \quad (4.5)$$

$$V_{N_2} = 0,01 \cdot 1,32 + 1,05 \cdot 3,762 \cdot 2,025 = 6,8502 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

6) Объем сгорания двухатомных газов (4.6):

$$V'_{O_2} = (\alpha - 1) V_{O_2} \quad (4.6)$$

$$V'_{O_2} = (1,05 - 1) \cdot 2,025 = 1,0125 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

7) Общий объем продуктов сгорания (4.7):

$$V_d = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V'_{O_2} = \sum V_i \quad (4.7)$$

$$V_d = 1,027 + 2,003 + 6,8502 + 1,0125 = 10,8927 \text{ М}^3 / \text{М}^3$$

8) Состав продуктов сгорания (формула 4.8):

$$x_i = 100 \cdot \frac{V_i}{V_d} \% \quad (4.8)$$

$$x_{CO_2} = 100 \cdot \frac{V_{CO_2}}{V_d} = 100 \cdot \frac{1,027}{10,8927} = 9,43 \%$$

$$x_{H_2O} = 100 \cdot \frac{V_{H_2O}}{V_d} = 100 \cdot \frac{2,003}{10,8927} = 18,39 \%$$

$$x_{N_2} = 100 \cdot \frac{V_{N_2}}{V_d} = 100 \cdot \frac{6,8502}{10,8927} = 62,89 \%$$

$$x_{O_2} = 100 \cdot \frac{V'_{O_2}}{V_d} = 100 \cdot \frac{1,0125}{10,8927} = 9,29 \%$$

В таблице 4.2 представлены компоненты продуктов сгорания.

| | | | | | | |
|-------------------------------------|------|----------|---------|-------------------------|--|------|
| 4.2 — Компоненты продуктов сгорания | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 20 |

| Компоненты | | | | Сумма |
|------------|--------|-------|-------|-------|
| CO_2 | H_2O | N_2 | O_2 | % |
| 9,43 | 18,39 | 62,89 | 9,29 | 100 |

4.2 Температурный режим нагрева металла

Под режимом нагрева подразумевают характер изменения температуры печных газов и металла во времени. Характер температурного режима нагревательной печи определяется пластичностью материала, массивностью нагреваемых изделий, начальным и требуемым конечным состоянием металла, конструктивными особенностями печи.

При трехступенчатом режиме имеются три теплотехнические зоны: методическая, сварочная и томильная.

Трёхступенчатый режим нагрева металла:

t_0 – начальная температура металла (20°C)

t_{yx} – температура уходящих газов (1170°C)

$t_{св}$ – температура сварочной зоны (1280°C)

$t_{нов}^{кон}$ – конечная температура поверхности металла (1270°C)

$t_{том}$ – температура газов в томильной зоне (1280°C)

$t_{нов}$ – температура поверхности металла

$t_{сеп}$ – температура середины материала.

На рисунке 4.1 представлен температурный график газов и металла по зонам в методической нагревательной печи.

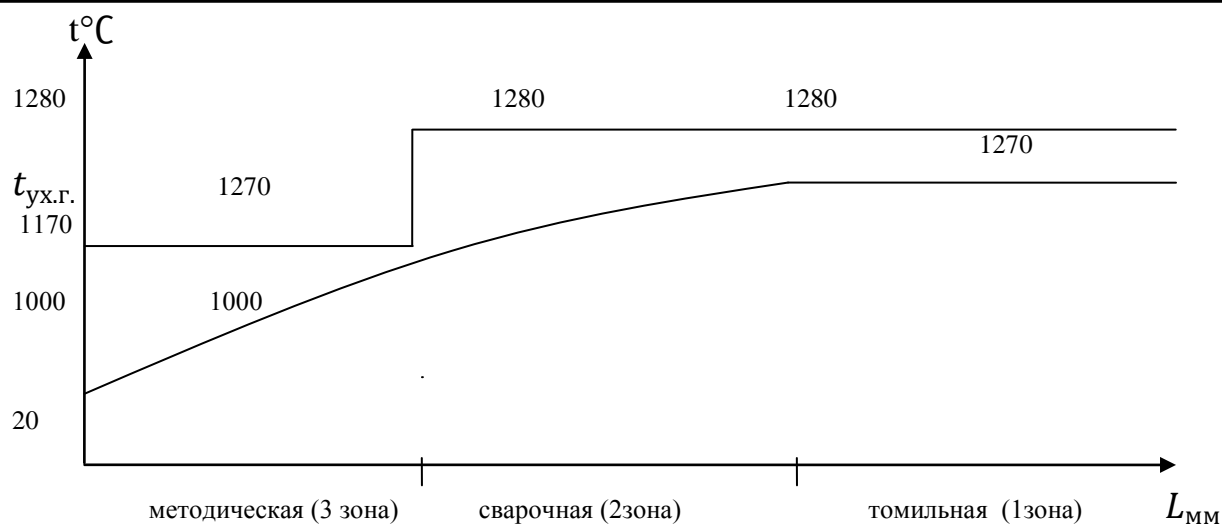


Рисунок 4.1 — Температурный график газов по зонам

4.3 Нагрев металла

4.3.1 Методическая зона

Одним из факторов, лимитирующих скорость нагрева металла, являются термические напряжения, обусловленные разностью температур. Наружные, более нагретые слои, стремятся расшириться и находятся, поэтому в сжатом состоянии. Внутренние, более холодные слои, подвержены при этом растягивающим усилиям. Если эти напряжения не превосходят предела упругости, то с выравниванием температуры по сечению термические напряжения исчезают. Сталь (за исключением некоторых специальных марок) обладает упругими свойствами до температуры $450 \div 500$ °С, выше этой температуры переходит в пластическое состояние. Следовательно, температурные напряжения должны учитываться до перехода металла из упругого состояния в пластическое. Поэтому рекомендуется медленный (методический) нагрев заготовок до тех пор, пока температура центра не превысит 500 °С.

Расчет коэффициента теплоотдачи в методической зоне.

1. Найдём парциальное давление поглощающих компонентов смеси (4.9, 4.10):

$$P_{CO_2} = x_{CO_2} \cdot P_{см}, \text{ кПа} \quad (4.9)$$

$$P_{CO_2} = \frac{9,43}{100} \cdot 10^5 = 9,43 \text{ кПа}.$$

$$P_{H_2O} = x_{H_2O} \cdot P_{см}, \text{ кПа} \quad (4.10)$$

$$P_{H_2O} = \frac{18,39}{100} \cdot 10^5 = 18,39 \text{ кПа}$$

| | | | | | | |
|---|------|----------|---------|-------------------------|--|------|
| 2. Параметры рабочего пространства печи | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 22 |

Ширина рабочего пространства = 5,1 м (B)

Длина заготовки = 1,7 м (l)

Число рядов заготовок в печи = 2 ряда (n)

3. Эффективная длина луча на входе в методической зоне (4.11):

$$l_{\text{эф мет}}^{\text{вх}} = 3,6 \cdot \frac{B \cdot h_{\text{мет}}^{\text{вх}}}{2(h_{\text{мет}}^{\text{вх}} + B)}, \quad (4.11)$$

$$l_{\text{эф мет}}^{\text{вх}} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 1,53}{2(1,53 + 5,1)} = 2,12(\text{м})$$

$h_{\text{мет}}^{\text{вх}} = 1,53$ (м) – высота рабочего пространства в начале методической зоны печи

4. Определим степень черноты газов (4.12, 4.13):

$$P_{\text{CO}_2} \cdot l_{\text{эф}}^{\text{вх}} = 9,43 \cdot 2,12 = 19,99(\text{кПа} \cdot \text{м}) \Rightarrow \varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,114 \quad (4.12)$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot l_{\text{эф}}^{\text{вх}} = 18,39 \cdot 2,12 = 38,99(\text{кПа} \cdot \text{м}) \Rightarrow \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,192 \quad (4.13)$$

$\varepsilon_{\text{CO}_2}, \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$ – определены при температуре уходящих газов (1170°C)

5. Определим интегральный коэффициент излучения (формула 3.9 [3]) (4.14):

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \beta \cdot \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,114 + 1,096 \cdot 0,192 = 0,324$$

6. Определим угловой коэффициент излучения кладки на металл (4.15):

$$\varphi_{\text{км}}^{\text{вх}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{кл}}} = \frac{l}{(2h + B)}, \quad (4.15)$$

$$\varphi_{\text{км}}^{\text{вх}} = \frac{1,7}{(2 \cdot 1,53 + 5,1)} = 0,208$$

7. Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (4.16):

$$c_{2\text{км}}^{\text{вх}} = c_0 \cdot \varepsilon_{\text{м}} \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{\varphi_{\text{км}} \cdot (1 - \varepsilon_2) + 1}{\varphi_{\text{км}} \cdot (1 - \varepsilon_2) \cdot [\varepsilon_{\text{м}} + \varepsilon_2 \cdot (1 - \varepsilon_{\text{м}})] + \varepsilon_2} \quad (4.16)$$

$\varepsilon_{\text{м}} = 0,8$ – коэффициент теплового излучения материала;

$c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 23 |

$$c_{2KM} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,324 \cdot \frac{0,208 \cdot (1 - 0,324) + 1}{0,208(1 - 0,324) \cdot [0,8 + 0,324 \cdot (1 - 0,8)] + 0,324} = 3,01 \left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right)$$

8. Удельный тепловой поток (4.17):

$$q_l^{ex} = c_{2KM} \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right] \quad (4.17)$$

T_M – температура поверхности металла, К

T_2 – температура уходящих газов, К

$$T_M^{ex} = t_H + 273 = 20 + 273 = 293 \quad (4.18)$$

$$T_2^{ex} = 1170 + 273 = 1443 \quad (4.19)$$

$$q_l^{ex} = 3,2 \cdot \left[\left(\frac{1443}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 130285 \left(\frac{Bm}{m^2} \right)$$

9. Определим коэффициент теплоотдачи в начале методической зоны (4.20):

$$\alpha_{нач}^{мет} = \frac{q_l}{t_2 - t_0}, \quad (4.20)$$

$$\alpha_{нач}^{мет} = \frac{130285}{1170 - 20} = 113,29 \left(\frac{Bm}{m^2 K} \right)$$

10. Эффективная длина луча в конце методической зоны (4.21):

$$l_{эф.мет}^{вых} = 3,6 \cdot \frac{B \cdot h_{мет}^{вых}}{2(h_{мет}^{вых} + B)}, \quad (4.21)$$

$$l_{эф.мет}^{вых} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 2,44}{2(2,44 + 5,1)} = 1,8(м)$$

$h_{мет}^{ex} = 2,44 (м)$ – высота рабочего пространства в конце методической зоны печи

11. Коэффициент теплоотдачи в конце методической зоны:

при температуре в конце методической зоны 1170 °С: (По табл.П3 и П4 [3])

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|--|------|
| | | | | | $\varepsilon_{CO_2} = 0,1304$ 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 24 |

$$\varepsilon_{H_2O} = 0,178$$

$$\varepsilon_2 = 0,110 + 1,096 \cdot 0,178 = 0,305$$

11. Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (формула 3.39 [1]):

$$c_{2KM}^{6yx} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,305 \cdot \frac{0,170 \cdot (1 - 0,305) + 1}{0,170(1 - 0,305) \cdot [0,8 + 0,305 \cdot (1 - 0,8)] + 0,305} = 3,79 \left(\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right)$$

12. Удельный тепловой поток

$$T_M^{6yx} = t_H + 273 = 1000 + 273 = 1273$$

$$T_2^{6yx} = 1170 + 273 = 1443$$

$$q_L^{6yx} = 3,79 \left[\left(\frac{1443}{100} \right)^4 - \left(\frac{1273}{100} \right)^4 \right] = 64798 \left(\frac{Bm}{m^2} \right)$$

13. Определим коэффициент теплоотдачи в конце методической зоны (4.22):

$$\alpha_{кон}^{мет} = \frac{q_L}{t_2 - t_0}, \quad (4.22)$$

$$\alpha_{кон}^{мет} = \frac{64798}{1170 - 1000} = 381,16 \left(\frac{Bm}{m^2 K} \right)$$

14. Определим средний коэффициент теплоотдачи по крайним значениям в начале и в конце зоны (4.23):

$$\alpha_{cp} = \sqrt{\alpha^{нач} \cdot \alpha^{кон}}, \quad (4.23)$$

$$\alpha_{cp} = \sqrt{113,29 \cdot 381,16} = 207,80$$

4.3.2 Сварочная зона

В сварочной зоне при ускоренном нагреве температура газов остается постоянной. Так как температура поверхности металла изменяется по ходу нагрева, то коэффициент теплоотдачи излучением будет также изменяться.

Эффективная длина луча на входе в сварную зону:

$$l_{эф св}^{ex} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 1,18}{2(1,18 + 5,1)} = 1,72(м)$$

| | |
|---|------|
| $h_{св}^{ex} = 1,18$ (м) – высота рабочего пространства в начале сварочной зоны | Лист |
| Изм. | 25 |
| Лист | |
| № докум. | |
| Подпись | |
| Дат | |

4. Определим степень черноты газов: (По табл. ПЗ и П4 [1])

$$P_{CO_2} \cdot l_{эф}^{ex} = 9,43 \cdot 1,72 = 16,22 (\text{кПа} \cdot \text{м}) \Rightarrow \varepsilon_{CO_2} = 0,099$$

$$P_{H_2O} \cdot l_{эф}^{ex} = 18,39 \cdot 1,72 = 31,63 (\text{кПа} \cdot \text{м}) \Rightarrow \varepsilon_{H_2O} = 0,159$$

$\varepsilon_{CO_2}, \varepsilon_{H_2O}$ – определены при температуре уходящих газов (1280°C)

5. Определим интегральный коэффициент излучения (формула 3.9 [1]):

$$\varepsilon_2 = 0,099 + 1,095 \cdot 0,159 = 0,273$$

6. Определим угловой коэффициент излучения кладки на металл:

$$\varphi_{км}^{ex} = \frac{1,7}{(2 \cdot 1,18 + 5,1)} = 0,228$$

7. Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (формула 3.39 [1]):

$$c_{зкм} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,273 \cdot \frac{0,228 \cdot (1 - 0,273) + 1}{0,228(1 - 0,273) \cdot [0,8 + 0,273 \cdot (1 - 0,8)] + 0,273} = 3,48 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$$

Удельный тепловой поток (4.24):

$$q_l^{ex} = c_{зкм} \left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] \quad (4.24)$$

T_m – температура поверхности металла, К

T_z – температура уходящих газов, К

$$T_m^{ex} = t_n + 273 = 1000 + 273 = 1273$$

$$T_z^{ex} = 1280 + 273 = 1443$$

$$q_l^{ex} = 3,48 \cdot \left[\left(\frac{1553}{100} \right)^4 - \left(\frac{1273}{100} \right)^4 \right] = 111036 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$$

Определим коэффициент теплоотдачи в начале сварной зоны:

$$\alpha_{нач}^{св} = \frac{111036}{1280 - 1000} = 396,56 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$$

Эффективная длина луча в конце сварной зоны:

$$l_{эф}^{св} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 2,49}{2(2,49 + 5,1)} = 1,8 (\text{м})$$

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 26 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ |

$h_{мет}^{вх} = 2,49 (м)$ – высота рабочего пространства в конце сварной зоны печи

Коэффициент теплоотдачи в конце сварной зоны:

при температуре в конце сварной зоны $1280 \text{ }^\circ\text{C}$: (По табл.П3 и П4 [1])

$$\varepsilon_{CO_2} = 0,120$$

$$\varepsilon_{H_2O} = 0,208$$

$$\varepsilon_2 = 0,120 + 1,089 \cdot 0,208 = 0,347$$

6. Определим угловой коэффициент излучения кладки на металл:

$$\varphi_{км}^{вх} = \frac{1,7}{(2 \cdot 2,49 + 5,1)} = 0,169$$

Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (формула 3.39 [1]):

$$c_{зкм}^{вх} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,347 \cdot \frac{0,169 \cdot (1 - 0,347) + 1}{0,169(1 - 0,347) \cdot [0,8 + 0,347 \cdot (1 - 0,8)] + 0,347} = 2,96 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right)$$

12. Удельный тепловой поток

$$T_M^{вх} = t_H + 273 = 1270 + 273 = 1543$$

$$T_2^{вх} = 1280 + 273 = 1553$$

$$q_L^{вх} = 2,96 \left[\left(\frac{1553}{100} \right)^4 - \left(\frac{1543}{100} \right)^4 \right] = 4392,64 \left(\frac{Вт}{м^2} \right)$$

13. Определим коэффициент теплоотдачи в конце сварной зоны:

$$\alpha_{кон}^{св} = \frac{4392,64}{1280 - 1270} = 439,3 \left(\frac{Вт}{м^2 К} \right)$$

14. Определим средний коэффициент теплоотдачи по крайним значениям в начале и в конце сварной зоны (4.25):

$$\alpha_{ср} = \sqrt{\alpha^{нач} \cdot \alpha^{кон}}, \quad (4.25)$$

$$\alpha_{ср} = \sqrt{396,56 \cdot 439,3} = 417,38$$

4.3.3 Томильная зона

Температура продуктов сгорания в томильной зоне обычно выше на $30 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$

выше конечной температуры поверхности металла.

| | | | | | |
|--|------|----------|---------|-----|------|
| Эффективная длина луча на входе в томильную зону | | | | | Лист |
| 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | | | | 27 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | |

$$l_{эф\ m}^{ex} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 1,2}{2(1,2 + 5,1)} = 1,75(м)$$

$h_{св}^{ex} = 1,2(м)$ – высота рабочего пространства в начале томильной зоны печи

4. Определим степень черноты газов: (По табл. ПЗ и П4 [1])

$$P_{CO_2} \cdot l_{эф}^{ex} = 9,43 \cdot 1,75 = 16,50(кПа \cdot м) \Rightarrow \varepsilon_{CO_2} = 0,109$$

$$P_{H_2O} \cdot l_{эф}^{ex} = 18,39 \cdot 1,75 = 32,18(кПа \cdot м) \Rightarrow \varepsilon_{H_2O} = 0,161$$

$\varepsilon_{CO_2}, \varepsilon_{H_2O}$ – определены при температуре уходящих газов (1280°C)

5. Определим интегральный коэффициент излучения (формула 3.9 [1]):

$$\varepsilon_2 = 0,109 + 1,096 \cdot 0,161 = 0,285$$

6. Определим угловой коэффициент излучения кладки на металл:

$$\varphi_{км}^{ex} = \frac{1,7}{(2 \cdot 1,2 + 5,1)} = 0,227$$

7. Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (формула 3.39 [1]):

$$c_{2км} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,285 \cdot \frac{0,227 \cdot (1 - 0,285) + 1}{0,227(1 - 0,285) \cdot [0,8 + 0,285 \cdot (1 - 0,8)] + 0,285} = 3,55 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right)$$

Удельный тепловой поток

$$T_m^{ex} = t_n + 273 = 1270 + 273 = 1543$$

$$T_2^{ex} = 1280 + 273 = 1553$$

$$q_l^{ex} = 3,55 \cdot \left[\left(\frac{1553}{100} \right)^4 - \left(\frac{1543}{100} \right)^4 \right] = 5268,2 \left(\frac{Вт}{м^2} \right)$$

Определим коэффициент теплоотдачи в начале томильной зоны:

$$\alpha_{нач}^m = \frac{5268,2}{1280 - 1270} = 526,82 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right)$$

Эффективная длина луча в конце томильной зоны:

$$l_{эф\ m}^{ex} = 3,6 \cdot \frac{5,1 \cdot 1,82}{2(1,82 + 5,1)} = 2,41(м)$$

$h_m^{ex} = 1,82(м)$ – высота рабочего пространства в конце томильной зоны печи

| | | | | | |
|------|-------|----------|---------|------|------|
| Изм. | Листы | № докум. | Подпись | Дата | Лист |
| | | | | | 28 |

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

Коэффициент теплоотдачи в конце томильной зоны:

при температуре в конце томильной зоны 1280 °С: (По табл.ПЗ и П4 [1])

$$\varepsilon_{CO_2} = 0,110$$

$$\varepsilon_{H_2O} = 0,188$$

$$\varepsilon_2 = 0,110 + 1,093 \cdot 0,188 = 0,315$$

6. Определим угловой коэффициент излучения кладки на металл:

$$\varphi_{км}^{блх} = \frac{1,7}{(2 \cdot 1,82 + 5,1)} = 0,195$$

Определим приведённый коэффициент излучения от продуктов сгорания на металл с учётом тепла, отражённого от кладки печи на металл (формула 3.39 [1]):

$$c_{2км}^{блх} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,315 \cdot \frac{0,195 \cdot (1 - 0,315) + 1}{0,195(1 - 0,315) \cdot [0,8 + 0,315 \cdot (1 - 0,8)] + 0,315} = 3,76 \left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right)$$

12. Удельный тепловой поток

$$T_M^{блх} = t_H + 273 = 1270 + 273 = 1543$$

$$T_2^{блх} = 1280 + 273 = 1553$$

$$q_L^{блх} = 3,76 \left[\left(\frac{1553}{100} \right)^4 - \left(\frac{1543}{100} \right)^4 \right] = 4392,64 \left(\frac{Вт}{м^2} \right)$$

13. Определим коэффициент теплоотдачи в конце сварной зоны:

$$\alpha_{кон}^m = \frac{5579,84}{1280 - 1270} = 557,98 \left(\frac{Вт}{м^2 К} \right)$$

14. Определим средний коэффициент теплоотдачи по крайним значениям в начале и в конце сварной зоны (4.26):

$$\alpha_{cp} = \sqrt{\alpha^{нач} \cdot \alpha^{кон}}, \quad (4.26)$$

$$\alpha_{cp} = \sqrt{526,82 \cdot 557,98} = 542,18$$

Коэффициент теплопроводности материала (по таблице I – 85 [2]).

$$\lambda = 19 \left(\frac{Вт}{м \cdot град} \right)$$

Коэффициент температуропроводности (4.27):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 29 |

$$a = \frac{\lambda}{C_{cp} \cdot \rho}, \quad (4.27)$$

$$a = \frac{19}{560 \cdot 7800} = 4,35 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right)$$

где: $C_{cp} = 560 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right)$ (по таблице I – 86 [2])

$$\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ (по таблице I – 88 [2])}$$

Определим время нагрева в методической зоне (4.28):

$$\tau_{мет} = \frac{L}{P} \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho \cdot n \right), \quad (4.28)$$

где L - длина методической зоны м

P - производительность печи 35 т/ч (9,72 кг/сек)

$$\tau_{мет} = \frac{9,895}{9,72} \left(\frac{3,14 \cdot 0,55^2}{4} \cdot 7800 \cdot 2 \right) = 3771,11(\text{с}) = 62,85(\text{мин})$$

$$\tau_{св} = \frac{9,620}{9,72} \left(\frac{3,14 \cdot 0,55^2}{4} \cdot 7800 \cdot 2 \right) = 3666,31(\text{с}) = 61,11(\text{мин})$$

$$\tau_{то.м} = \frac{5,215}{9,72} \left(\frac{3,14 \cdot 0,55^2}{4} \cdot 7800 \cdot 2 \right) = 1987,50(\text{с}) = 33,13(\text{мин})$$

$$\sum \tau = 3771,11 + 3666,31 + 1987,50 = 9424,92(\text{с}) = 157,082(\text{мин})$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 30 |

5 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ПУТЕМ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАТОРА ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА

Нагревательные и термические печи металлургической и машиностроительной промышленности являются одними из основных потребителей топлива в стране, причем в них, как правило, расходуют наиболее ценные сорта топлива: мазут и газ. В подавляющем большинстве случаев промышленные печи работают с весьма низким термическим к. п. д., величина которого в производственных условиях чаще всего не превышает 20—30%, т. е. в 3—4 раза ниже, чем, например, к. п. д. современных парокотельных установок. Низкий термический к. п. д. промышленных печей обуславливается в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами, достигающими иногда 50—65% от количества тепла, подведенного в печь.

Лучшим методом повышения термического к. п. д. печей, а следовательно, и экономии топлива является возврат в печь части тепла, содержащегося в отходящих дымовых газах, подогревом в рекуператорах воздуха, используемого для горения топлива, а также подогревом горячего газа.

Подогрев воздуха не только обеспечивает экономию топлива, но и повышает температуру продуктов сгорания топлива, что способствует ускорению процессов нагрева металла в печах и делает возможным применение новых способов нагрева металла—скоростного, безокислительного, открытым пламенем и др. Печи, предназначенные для работы при высокой температуре рабочего пространства и требующие применения высококалорийного топлива, при установке рекуператоров могут работать на менее качественном (местном) топливе без снижения производительности и ухудшения технологических условий нагрева.

5.1 Типы рекуператоров

В промышленности применяют керамические и металлические рекуператоры, причем последние имеют ряд существенных преимуществ перед керамическими и их внедряют в промышленность все в больших масштабах.

Сейчас используют много различных металлических рекуператоров на промышленных печах: игольчатых, термоблоков, трубчатых, радиационных и др. Область применения керамических рекуператоров сужается. Их применяют в основном только в тех случаях, когда по условиям технологии нагрева необходим надежный подогрев воздуха свыше 600—700° С, так как применение в этом случае металлических рекуператоров из жаропрочной и окалиностойкой стали может оказаться неэкономичным.

Рассмотрены основные подходы в конструировании и приведены типичные конструкции рекуператоров для нужд промышленности. Предложена классификация рекуператоров на основе аэродинамических схем движения нагреваемого воздуха для интенсификации теплообмена на воздушной стороне. Одной из современных тенденций в конструировании рекуператоров является комбинирование различных схем взаимного движения дымовых газов и воздуха в рекуператорах, создание многозаходных теплообменников, интенсификация теплоотдачи на воздушной стороне за счет использования теплообменных труб

Отмечено, что значительное повышение скоростей нагреваемого воздуха на входе в рекуператор (создание высокоскоростных теплообменников) применялось ранее лишь в системах горелочных устройств. Показано, что в конструировании высокотемпературных рекуператоров для крупногабаритных печей обычно прибегают к традиционной компоновке, а модернизация рекуператоров за счет установки в них активных перфорированных вставок может применяться для средних и компактных теплообменников. Приведены классификации рекуператоров по различным классификационным признакам, указаны трудности при их сравнении. Предложена классификация конструкций рекуператоров, в основу которой положена аэродинамическая схема, используемая для повышения эффективности теплоотдачи на воздушной стороне, а также предложено конструктивное решение для формирования в рекуператоре турбулентного вихревого движения нагреваемого воздуха за счет совместного действия истекающих из перфорированной вставки струй и дополнительных завихрителей.

Однако в настоящее время высокочрезвычайно и капиталоемкие мероприятия экономии энергоносителей – природного газа в промышленности такие, как переход при выплавке стали с мартеновского на конвертерный процесс, частичная или полная замена природного газа на пылеугольное топливо и введение в строй систем непрерывного литья заготовок, использование внутренних энергоресурсов, не подкреплены бюджетным финансированием, следовательно, перекладываются на оборотные средства хозяйствующих субъектов и являются невыполнимыми в краткосрочной перспективе.

Поэтому в качестве малозатратных энерготехнологических мероприятий, экономически рентабельных даже в условиях перманентного экономического кризиса, согласно "Отраслевой программе энергоэффективности и энергосбережения на период до 2017 г." Минпромполитики, предлагались следующие: повышение эффективности использования топлива в печах для нагревания и выплавки металла и в других печных агрегатах посредством подогрева воздуха для горения за счет использования теплоты уходящих газов в рекуператорах, рекуперативная утилизация тепла на стендах подогрева ковшей и в хозяйстве прокатных станов, утилизация физической теплоты внутренних энергоресурсов и др.

Поскольку срок окупаемости данных предложений составляет меньше 1 года, изучение современных тенденций их конструирования, основных принципов повышения эффективности теплообмена на воздушной стороне, а также разработка и внедрение таких малозатратных энергосберегающих предложений, в частности рекуперативных легких высокотемпературных теплообменников, является актуальной научной задачей.

Современные теоретические представления о процессе теплопередачи в рабочем пространстве печи как о радиационно-конвективном режиме теплообмена, в отличие от представлений этого процесса как основанного преимущественно на передаче лучистой энергии (радиационный режим), показывают, что основной вклад в интенсификацию теплообмена вносит аэродинамика движения газов, определяющая линии их тока, степень турбулентности в определенных местах дымовых каналов и местные аэродинамические сопротивления печи.

| | | | | | | |
|---|------|----------|---------|-----|--------|------|
| Повышение энергоэффективности работы металлических трубочатных рекуператоров на стороне дымовых газов | | | | | Изм. 1 | Лист |
| Изм. 1 | | | | | Лист | 32 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | |

поверхности теплообмена (диаметров либо длины нагреваемых труб рекуператоров), изготовления рекуператоров с фасонными нагреваемыми поверхностями, использования изогнутых трубных пучков [7]. Повышение энергоэффективности рекуператоров может достигаться в том числе за счет размещения нагреваемых труб рекуператоров в дымовых каналах печей под углами, обеспечивающими максимально эффективный теплообмен с дымовыми газами (обычно перпендикулярно их движению), за счет интенсификации процессов конвективного теплообмена на воздушной стороне рекуператора посредством увеличения скоростей воздуха либо увеличения пути его движения вдоль нагретой стенки (рекуператоры для больших металлургических печей и многозаходные рекуператоры) или посредством размещения различных вставок в рекуператоры и оребрений для повышения турбулентности потока.

Известны классификации теплообменного оборудования, основанные на различных отличительных характеристиках. Так, по принципиальной конструкции теплообменников выделяют следующие типы теплообменников: типа "труба в трубе", кожухотрубные, пластинчатые теплообменники, пластинчато-ребристые или матричные теплообменники, теплообменники со вспомогательными техническими средствами и теплообменники специализированных конструкций (других типов) [9].

По схеме движения дымовых газов и воздуха в рекуператорах выделяют рекуператоры, построенные по схеме прямотока, противотока, перекрестного тока и комбинации перекрестного тока с прямотоком либо противотоком [10]. По материалу рекуператоров и режимам теплообмена выделяют конвективные рекуператоры из чугунных труб, термо-блоки (чугунно-стальные рекуператоры), чугунные рекуператоры из гладких стальных труб, радиационные и комбинированные рекуператоры [8].

При анализе рассмотренных конструкций рекуператоров используется классификация на основе применяемых в них аэродинамических схем движения нагреваемого воздуха для интенсификации теплообмена на воздушной стороне рекуператора.

Пластинчатый рекуперативный теплообменник с перекрестным током.

Схема рекуператора «обдув пластины». Так, известен пластинчатый рекуперативный теплообменник с перекрестным током (рисунок 5.1).

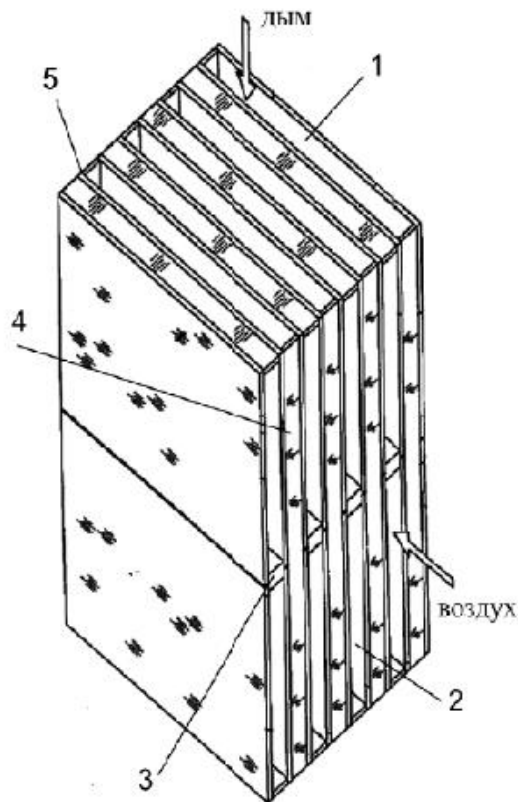


Рисунок 5.1 — Пластинчатый рекуперативный теплообменник с перекрестным током: 1—горячий канал (дымовые газы); 2 — холодный канал (воздух); 3 — холодная переборка; 4— горячая переборка; 5 —теплообменная пластина

Представляющий собой конструкцию из теплообменных пластин 5, соединенных известным способом (болтами либо сваркой) с холодными 3 и горячими 4 переборками (пластинами) [12]. Теплообменные пластины и переборки формируют перекрестно расположенные каналы: горячий 1 для потока дымовых газов и холодный 2 для охлаждающего воздуха. В рекуператор подают перекрестно направленные потоки газов и воздуха, при этом за счет теплопередачи и конвекции достигается утилизация тепла дымовых газов за счет разогрева и охлаждения теплообменных пластин 5.

Пластинчатые рекуператоры используются при температурах подогрева теплоносителя до 150-273 °С, состоят из ряда параллельных гофрированных пластин, обеспечивающих турбулизацию потока, а также обладающих достаточной жесткостью. Последнее условие требует изготовления самих пластины в ограниченной номенклатуре толщин (0,1-1 мм), типоразмеров для строго определенной области применения [9].

К недостаткам указанных рекуператоров можно отнести необходимость применения исключительно тонкостенных ребер малой высоты, что связано с необходимостью сохранения работоспособности ребер по всей высоте и необходимостью недопущения "выхолаживания" ребра, которая проявляется в снижении эффективности при высоте ребер более 4 мм. В настоящее время в рекуперативных теплообменниках, сконструированных по этой аэродинамической схеме, активно применяются фасонные профили для теплообменных поверхностей (рисунок 5.2).

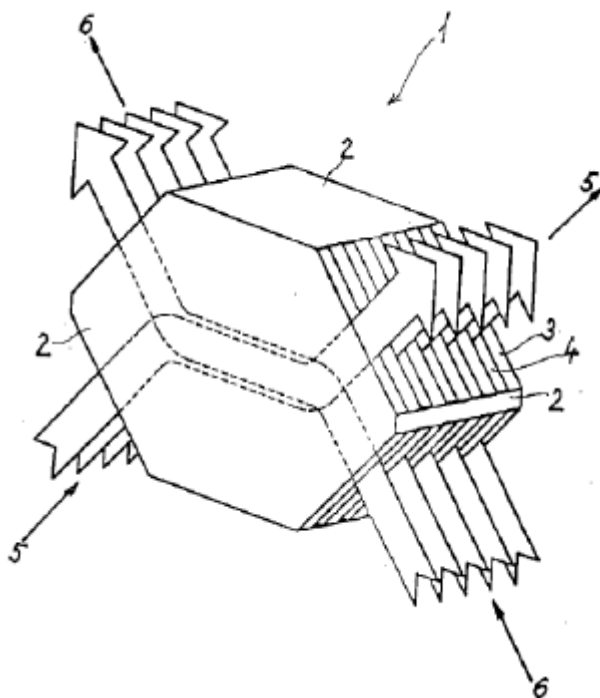


Рисунок 5.2 — Противоточный рекуперативный теплообменник:
 1— теплообменник; 2— барабан (корпус); 3,4 — переборки;
 5,6 — подвод и отвод потока

К рекуператорам традиционных конструкций также можно отнести рекуператоры для больших металлургических печей, обычно применяемые для подогрева воздуха до 500-700°C. В нем нагреваемый воздух движется в трубах большого диаметра и длины, рекуператор обеспечивает многозаходность циркуляции нагреваемого воздуха. К недостаткам этого рекуператора можно отнести сложность и металлоемкость конструкции. Нагреваемые металлические трубы за счет прогорания от переизлучения из предрекуператорного пространства требуют установки дополнительной сложной системы противовесов-рычагов для предотвращения их провисания, а также установки перед входом в рекуператор дополнительных защитных, обычно радиационных, рекуператоров.

Рекуператоры на основе технологии импактных струй.

Активное использование принципа рекуперации тепла от нагретой стенки теплообменника за счет формирования системы натекающих на нее импактных (ударных) струй завоевало популярность в СССР в конце 1970-х годов и успешно применяется до настоящего времени. Зарубежные источники показывают широкое использование технологии струй, в том числе импактных совместно с применением сложных фасонных профилей, в системах охлаждения и рекуперации тепла: в высокоэффективных компактных теплообменниках, в системах вентиляции и кондиционирования, в турбинной технике, авиации и пр. [17].

Теоретическое описание процессов истечения струй из перфорированного воздуховода (вставки) и расчет его коэффициента сопротивления приводятся в работах по аэродинамике, в теории турбулентных струй рассматриваются теоретический расчет коэффициента сопротивления при движении потока в зазоре коаксиальных цилиндров и его верификация данными эксперимента, накоплен значительный практический опыт расчетов истечения струй из

отверстия в стенке и их траекторий в сходящем потоке внутри торсочных устройств, а также для неизотермических струй.

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | Лист |
| | | | | | 35 |

Схема рекуператора «обдув перфорированной пластины»

Во многих случаях при конструировании рекуператоров и в настоящее время применяется аэродинамическая схема обдува перфорированной пластины-рассекателя с отверстиями разных диаметров и формы (рисунк 5.3), либо приведенная ранее система, которая представляет собой пакет перфорированных пластин или пучков труб без перфорации, куда нагретый и охлаждающий воздух подаются на разных уровнях либо попеременно, подобно регенераторной системе мартеновских печей.

Это объясняется простотой расчета аэродинамики движения газа и учетаместных сопротивлений в таком теплообменнике, поскольку схема истечения струй из отверстий (сопел) в цилиндрической стенке не позволяет обеспечить их натекание под оптимальными (в диапазоне 45-90°) углами и, следовательно, такая аэродинамическая схема затрудняет управление эффективностью рекуперации теплоты.

Рассмотренная аэродинамическая схема натекания охлаждающего воздуха на перфорированную пластину положена в основу струйного рекуператора конструкции Института газа НАН Украины. При работе рекуператора формируется хорошо управляемая и аэродинамически достаточно просто рассчитываемая система истекающих (под углами, близкими к 90°) импактных струй, которая обеспечивает максимальную эффективность теплопередачи в точке контакта (удара). Популярность применения указанных конструктивных решений обусловлена и тем, что аэродинамический расчет данной схемы базируется на теоретических зависимостях, полученных благодаря аналитическому решению уравнения Навье-Стокса для случая обтекания воздухом бесконечной пластины при различных режимах потока [19].

Промышленные образцы рекуператора при температурах дымовых газов (рекуператор РМС 1000) в рабочей камере $t_{гс} = 700-1065 \text{ } ^\circ\text{C}$ и теплообменной поверхности $t_{тп}$ до $750 \text{ } ^\circ\text{C}$ позволили получить температуру подогрева воздуха на выходе $t_{в}$ до $330 \text{ } ^\circ\text{C}$, для рекуператора РМС 500 $t_{гс} = 870-990 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{тп} = 230-390 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{в}$ до $280 \text{ } ^\circ\text{C}$. Данный рекуператор относится к теплообменникам радиационного типа и предназначен для работы при температурах продуктов сгорания до $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ [25].

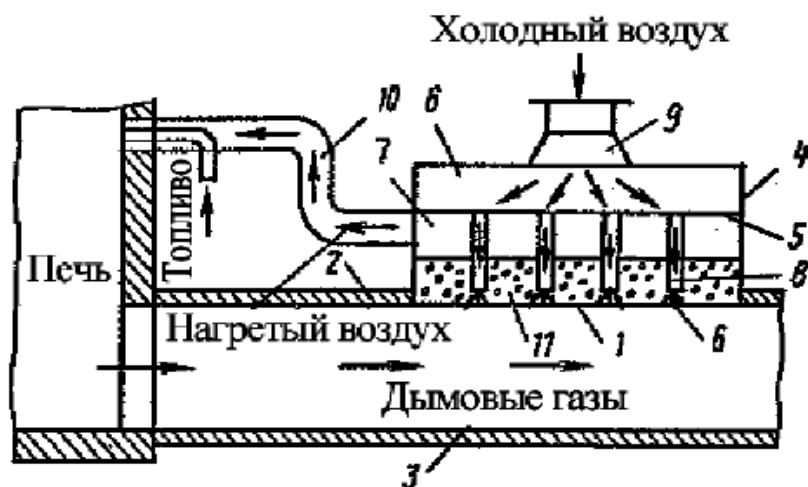


Рисунок 5.3— Схема способа рекуперативного подогрева воздуха:

1 — теплообменная поверхность; 2 — стенка; 3 — газопровод; 4 — воздушный короб; 5 — перегородка; 6 — раздающий воздушный отсек; 7 — собирающий воздушный отсек; 8 — воздухоподающий патрубок;

9 — воздухоподводящая труба; 10 — воздухоотводящая труба; 11 — расплав синтетического шлака

Несмотря на простоту конструкции рекуператора и эффективность рекуперации тепла на воздушной стороне для приведенной аэродинамической схемы такой рекуператор при установке в рабочем пространстве печного агрегата будет на дымовой стороне недостаточно участвовать в конвективном теплообмене с печной атмосферой, отходящими дымовыми газами, разогреваясь лишь за счет лучистого теплообмена и переизлучения от кладки. Следовательно, для обеспечения эффективности нагрева его рабочей поверхности может потребоваться его установка в предтопках, либо непосредственно в рабочем пространстве печи (ретортные методические печи).

Схема рекуператора «истечение струй из цилиндрической стенки».

Учитывая указанные выше ограничения для рекуператоров, построенных по аэродинамической схеме обдува перфорированной пластины (см. рисунок 5.3), применение технологии струй в рекуператорах параллельно развивалось по схеме истечения струй из отверстий в цилиндрической стенке. Конструктивно это выражалось в попытках установки различных вставок (в том числе перфорированных или так называемых активных) в трубчатые металлические рекуператоры и рекуператоры других конструкций [25].

Так, известен трубчатый рекуператор двойной циркуляции (рисунок 5.4, а).

Рекуператор включает прямоугольный корпус с установленной в верхней части трубной доской (плитой) и смонтированными в ней в гнездах трубными вставками, а также трубной доской в нижней части, куда смонтированы нижние концы трубных вставок.

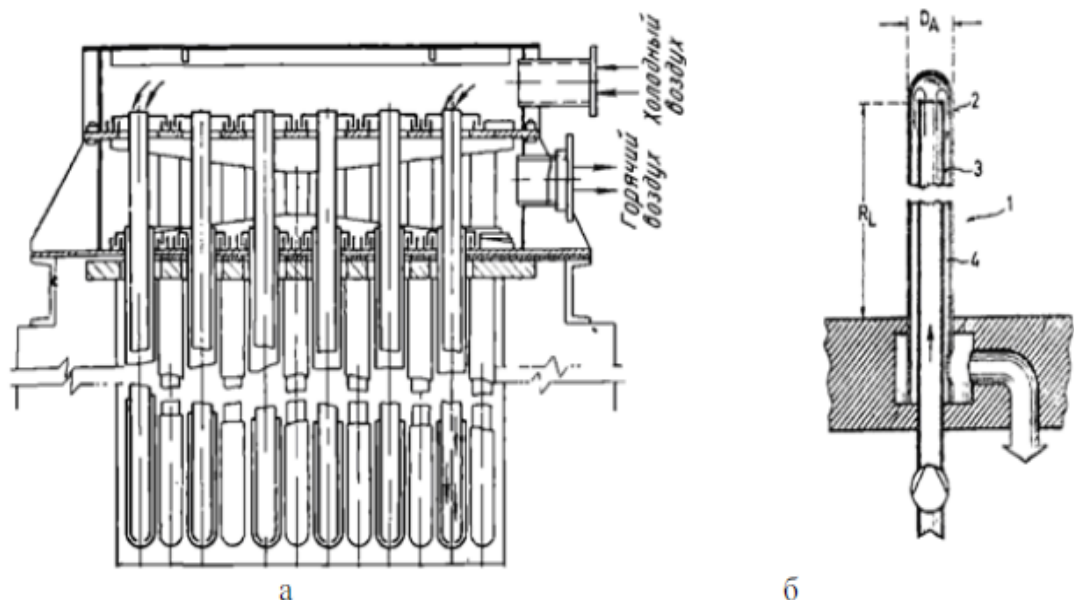


Рисунок 5.4 — Трубчатый рекуператор двойной циркуляции (а), рекуператор Didieder-WerkeAG (Вайсбаден) (б) : 1— рекуператор; 2 — наружная труба; 3 — внутренняя труба, 4 — осевой зазор; 5 — отводящий патрубок

Трубные вставки расположены в шахматном порядке. На нижнем конце вставки соединены с системой подвода нагретых дымовых газов из печи, на верхнем конце — с системой отвода дымовых газов. Посредине в верхней части

корпуса перпендикулярно стенке установлен патрубок для подвода холодного воздуха во внутреннюю полость рекуператора, посредине в нижней части

корпуса перпендикулярно стенке установлен патрубок отвода нагретого в рекуператоре воздуха.

Рекуператор включает прямоугольный корпус с установленной в верхней части трубной доской (плитой) и смонтированными в ней в гнездах трубными вставками, а также трубной доской в нижней части, куда смонтированы нижние концы трубных вставок. Трубные вставки расположены в шахматном порядке. На нижнем конце вставки соединены с системой подвода нагретых дымовых газов из печи, на верхнем конце – с системой отвода дымовых газов. Посредине в верхней части корпуса перпендикулярно стенке установлен патрубок для подвода холодного воздуха во внутреннюю полость рекуператора, посредине в нижней части корпуса перпендикулярно стенке установлен патрубок отвода нагретого в рекуператоре воздуха.

Рекуператоры на основе вихревой технологии. Создание универсального рекуперативного теплообменника невозможно, поэтому технология струй в совокупности со вставками и оребрением различной формы применялась и для модернизации традиционных конструкций рекуператоров: U-образных, термоблоков и др., что позволило повысить эффективность рекуперации тепла при их неизменных габаритах. Прообразом активных вставок можно считать рекуператор двойной циркуляции и его более поздняя зарубежная реализация фирмой Didieder-WerkeAG (рисунок 5.4, б). Например, известен U-образный теплообменник, в котором внутри воздушных U-образных труб для повышения эффективности теплоотдачи на воздушной стороне установлены закрученные ленточные вставки с различным шагом закрутки (рисунок 5.5).

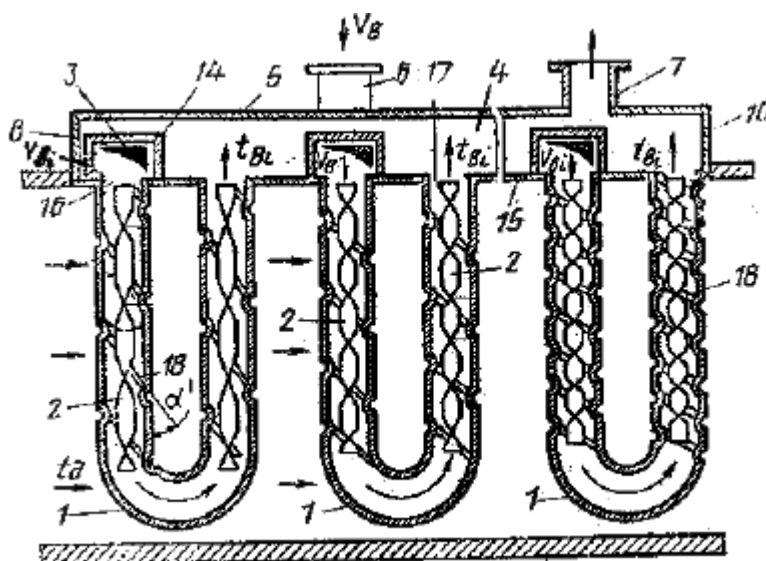


Рисунок 5.5– U образный теплообменник: 1– U - образная труба; 2 – закрученная вставка; 3– воздушный короб; 4 – короб нагретого воздуха; 5 – крышка; 6 – подводящий патрубок; 7 – отводящий патрубок; 8, 9, 10, 11– боковые стенки; 12– разделительная стенка; 13– отверстия; 14 – П-образная раздаточная труба; 15 – распределительная пластина; 16, 17– впускное и выпускное отверстие; 18 – многозаходные спиральные выступы.

Известен радиационно-конвективный спиральный теплообменник, имеющий конусообразную, спирально-ступенчатую форму с патрубками подвода и отвода греющей и нагреваемой сред, в стенке которого имеется канал

| | | |
|--------------------------|---|----------|
| U-образного (уголкового) | сечения в виде конической спирали. | Лист |
| теплообменнике | противотоком движутся вихри нагретого воздуха | И 38 |
| Изм. | Лист | № докум. |
| Подпись | Дат | |

высокотемпературных дымовых газов (рисунок 5.6). При этом множественная циркуляция достигается установкой внутри конусообразного корпуса фасонного патрубка с внутренним и наружным спиральным оребрением, которое согласуется по направлению винтовой линии со спиральными поверхностями внутреннего профиля конусообразного корпуса [30].

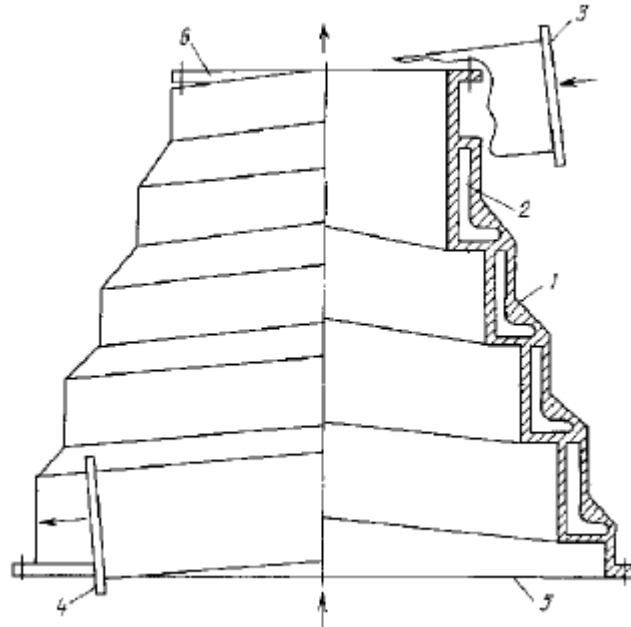


Рисунок 5.6 – Радиационно-конвективный теплообменник спирального типа :1–корпус; 2– L-образное сечение в корпусе; 3–патрубок подвода нагреваемой среды; 4 –патрубок отвода нагреваемой среды; 5 –подвод греющей среды; 6 – отвод греющей среды

Также известен противоточный цилиндрический рекуператор для систем цеховой вентиляции и отопления, который представляет собой оребренную поверхность, выполненную в виде винтовых спиральных ребер. Теплообменник включает внешнюю и внутреннюю трубные вставки с оребренными поверхностями, которые выполнены в форме винтовых продольных спиральных ребер, представляющих продольные спиральные завихрители. Эти спиральные завихрители на поверхности внешней и внутренней трубных вставок расположены коаксиально и с обоих концов теплообменника образуют кольцевой распределитель с входным и выходным каналами для впуска цехового и выпуска холодного воздуха одновременно (рисунок 5.7).

Струйно-вихревые рекуператоры.

Однако существует объективный предел повышения эффективности рекуперации на стороне дымовых газов за счет наращивания площади теплообменной поверхности, а также очевидны недостатки истечения струй из отверстий в перфорированной цилиндрической вставке. И если для компактных металлических теплообменников целесообразна модернизация на основе технологии струй, установки вставок и оребрения, то для крупных рекуператоров (длиной 5 м и более) основное влияние будет оказывать фактор масштаба, сложность инженерного расчета и изготовления теплообменника

больших размеров, что по-прежнему вынуждает применять в таких случаях

традиционные подходы при их проектировании, а именно: многократность

циркуляции нагретого воздуха (многозаходный рекуператор), увеличение диаметров и длины труб, либо их изгиб [34].

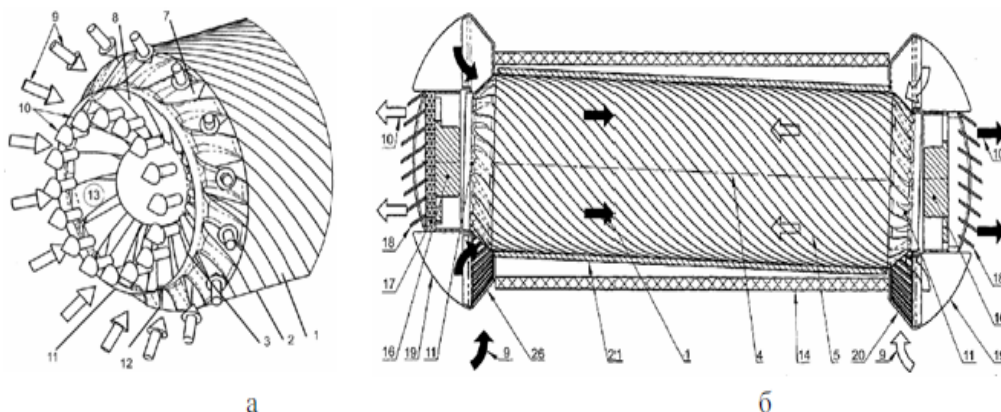


Рисунок 5.7 – Противоточный цилиндрический рекуперативный теплообменник :1– рекуперативный теплообменник; 2 – наружная труба; 3– внутренняя труба; 4– продольная ось; 5 – поверхность теплообмена;б) внешняя винтовая линия; 7– входной канал;8– выходной канал; 9– подвод воздуха;10– отвод воздуха; 11– распределитель;12– внешняя распределительная зона;13– внутренняя распределительная зона;14– корпус;15– внешняя защитная труба;16– нагнетатель; 17– фильтр; 18– выхлопная решетка; 19– крышка;20– решетка всасывания; 21– наружная трубная вставка.

Таким образом, задача повышения эффективности рекуперации тепла в настоящее время решается на основе комбинирования режимов (прямоток, противоток, комбинированный противоток) взаимного перемещения нагретых дымовых газов и охлаждающего воздуха в рабочем пространстве рекуператора. При этом очевидно достижение эффекта синергии за счет совместного действия различных факторов интенсификации теплообмена таких, как установка ребрений, применение в рекуператоре труб фасонного сечения, применение технологии импатных (ударных) струй, формирование многозаходного потока газов и воздуха и прочие решения, которые объединяют в одной конструкции металлического теплообменника сразу несколько из рассмотренных выше подходов.

Рекуператор может быть использован в печах для нагревания и выплавки металла и в других печных агрегатах для повышения эффективности использования топлива посредством подогрева воздуха для горения за счет использования теплоты уходящих газов. Предлагаемый рекуператор может быть установлен в канале отвода дымовых газов. Решена задача усовершенствования рекуператора конструкции типа "труба в трубе", в котором в результате установки внутри нагреваемой трубы внутренней перфорированной трубы (перфорированной вставки) с отверстиями, расположенными по спирали, и распорок-завихрителей вдоль нее обеспечивается повышение эффективности теплоотдачи конвекцией и повышение температуры подогрева отходящего дутьевого воздуха, за счет чего снижается металлоемкость рекуператора и повышается ресурс его

| | | | | | | |
|-------------------|------|----------|---------|-------------------------|--|------|
| эксплуатации [33] | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 40 |

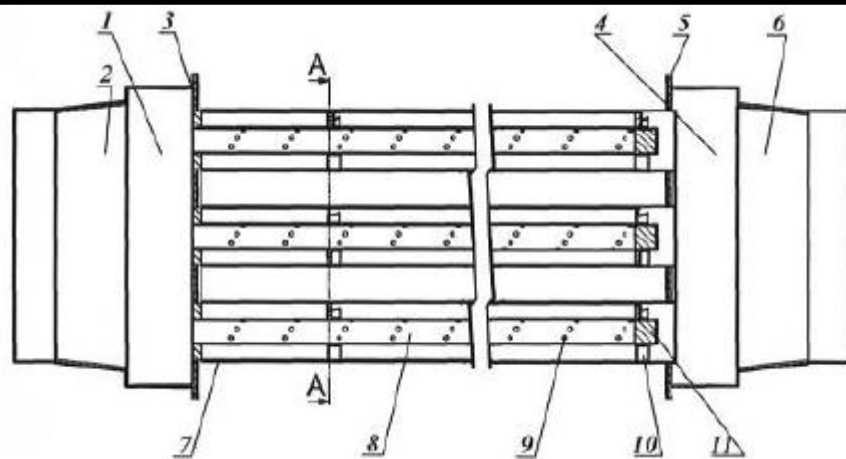


Рисунок 5.8 – Рекуператор «труба в трубе» 1–входящий воздушный короб; 2–диффузор; 3–входная перфорированная стенка (доска); 4 – выходной воздушный короб; 5 –выходная перфорированная стенка; 6– выходной воздуховод, 7–нагреваемая труба; 8 –воздушная перфорированная труба; 9 –сопла; 10 –распорка-завихритель; 11 – крышка

Теплообменник работает следующим образом. По дымоходу из рабочего пространства печи двигаются горячие дымовые газы. На пути своего движения они обтекают расположенные в шахматном порядке нагреваемые трубы 7 рекуператора, нагревая их поверхность до заданной температуры. Во внутренние воздушные перфорированные трубы 8 по входному воздушному коробу 1 через диффузор 2 подают холодный воздух (20 °С). Это воздух при прохождении по внутренним воздушным трубам 8 формирует турбулентный вихрь из импактных (ударных) струй, которые взаимодействуют с нагретой стенкой нагреваемых труб 7, охлаждают ее и нагреваются сами, чем обеспечивают рекуперацию тепла отходящих дымовых газов.

Спиральная перфорация внутренней поверхности труб 8 при истекании воздуха формирует турбулизированный вихрь, который движется вдоль зазора между нагреваемыми трубами 7 и внутренними воздушными трубами 8. Обтекание распорок-завихрителей 10 нагретым воздухом обеспечивает дополнительную турбулизацию сформированного вихря. Нагретый от стенки нагреваемой трубы 7 воздух подают к системе подогрева дутья горелочных устройств.

Совокупность характерных особенностей аэродинамической схемы рекуператора обеспечивает повышение эффективности теплоотдачи конвекцией за счет формирования турбулентного вихря из импактных (ударных) струй из расположенных по спирали перфорированных отверстий и дополнительное повышение эффективности теплоотдачи конвекцией за счет закручивания формирующего вихря при обтекании распорок-завихрителей. При этом распорки-завихрители выполняют двойную функцию: кроме закручивания турбулентного вихря и обеспечения удара по охлаждаемой поверхности под углами, близкими к оптимальным для достижения максимально эффективной теплоотдачи, распорки-завихрители предотвращают провисание перфорированной вставки в случае перегрева.

В данной конструкции рекуператора за счет спирального расположения сопел (отверстий) в воздушной трубе (перфорированной вставке) нивелирует

| | | | | | |
|--------------------------|------|----------|---------|-----|------|
| 13.04.01.2018.965.09.113 | | | | | Лист |
| | | | | | 41 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | |

взаимное сносящее действие истекающих из них струй, как основной недостаток аэродинамической схемы "истечение струй из цилиндрической стенки" и обеспечивает формирование импактных струй и их удар о негретую поверхность под оптимальными для теплообмена конвекцией углами. Кроме того, спиральное расположение сопел обеспечивает формирование закрученного турбулизированного вихря из импактных струй, который дополнительно закручивается и турбулизуется распорками-завихрителями.

Достаточно универсальным является трубчатый металлический рекуператор, (рисунок 5.9), на основе исследований и опыта эксплуатации рекуператоров на нагревательных печах наиболее распространенных типов.

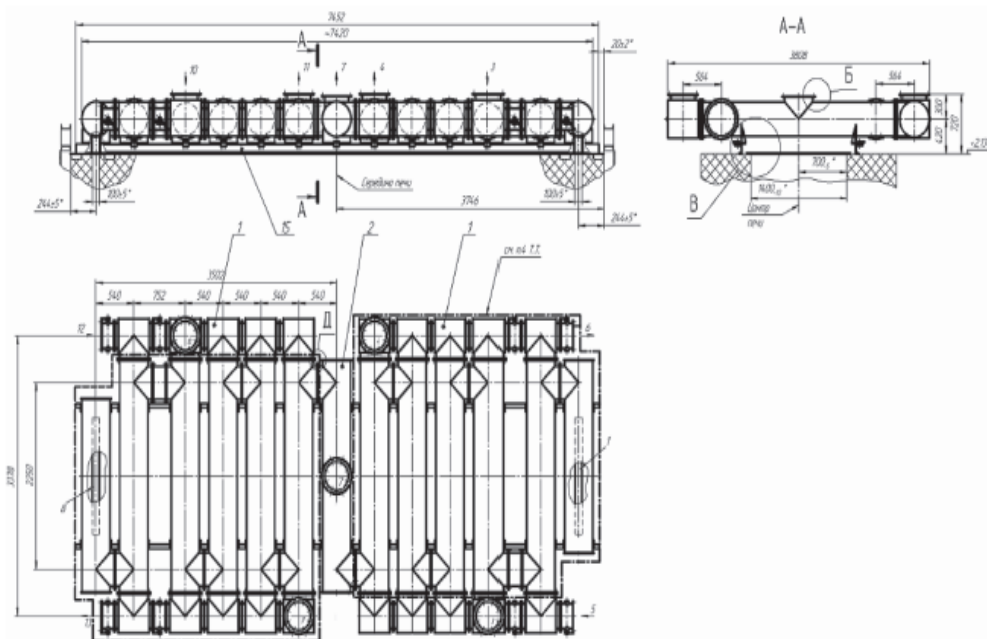


Рисунок 5.9 –Трубчатый металлический рекуператор для нагревательной печи

Блочная конструкция позволяет за счет изменения схемы соединения унифицированных блоков последовательно, параллельно, комбинированно создавать различные варианты рекуператоров, отличающиеся по производительности и температуре нагрева дутья, одновременно снимать с теплообменника воздух, нагретый до разных температур, варьировать режимы нагрева путем переключения блоков или секций, а также переключения схемы нагрева: противоток, прямоток, перекрестное движение и их комбинации.

Одним из показателей, характеризующим энергетическую эффективность работы печи, является коэффициент рекуперации (или регенерации), показывающий степень утилизации теплоты уходящих из печи дымовых газов. Чем выше степень утилизации теплоты продуктов сгорания, тем большая часть теплоты сжигаемого топлива используется непосредственно в объеме печи для реализации технологического процесса, и тем меньше удельные расходы топлива и соответственно себестоимость продукции.

Наиболее распространенная система утилизации теплоты дымовых газов нагревательных печей включает установленный за печью рекуператор и серийный котел-утилизатор с дымососом [2]. Недостатки этой системы заключаются в низкой стойкости рекуператора, что приводит к потере воздуха

утилизатора. В результате температура дыма перед котлом-утилизатором редко превышает 400–500 °С и поэтому котлы-утилизаторы зачастую имеют паропроизводительность на уровне 15–30% от проектной.

Экономия топлива при температуре уходящих газов 800–900 °С (характерная температура для нагревательных печей машиностроительного и металлургического производств) при увеличении температуры подогрева воздуха горения последовательно с 200 до 700 °С на каждые 100 °С составляет около 5% [4, 5]. Таким образом, нагрев воздуха горения до температуры 400–500 °С позволяет сэкономить 20–25% топлива, а при повышении температуры нагрева воздуха до 700 °С экономия топлива может достигать 35%. Помимо прямой экономии топлива, подогрев воздуха позволяет повысить температуру факела и, тем самым, интенсифицировать теплообмен в печи. Вместе с тем, лимитирующим фактором является увеличение объема вредных выбросов (NO_x) с уходящими дымовыми газами из печи.

Выбор типа и характеристик рекуператора, как правило, обусловлен рядом факторов, таких, как технологическое назначение и температура рабочего пространства печи, объем и температура уходящих газов, гидравлическое сопротивление рекуператора, удельная поверхность нагрева, теплосъем с поверхности нагрева, коэффициент теплопередачи и др. В технической литературе не существует единого подхода к выбору оптимальной конструкции и характеристик рекуператора.

5.2 Расчет металлического рекуператора для подогрева воздуха

В работе рассмотрена эффективность энергосбережения при повышении температуры подогрева воздуха для горения в нагревательной печи металлургического производства, температуры подогрева воздуха 310 °С.

Расчет металлического рекуператора для подогрева воздуха

Трубчатые металлические рекуператоры разнообразны по конструкции, но типизированы и состоят из труб различного диаметра с разным шагом. Наибольшее распространение получили рекуператоры прямотрубные, петлевые, дымотрубные системы Шака, двойной циркуляции.

Для всех типов трубчатых рекуператоров коэффициенты теплопередачи α_o и α_g в зависимости от типа труб и их расположения вычисляются по различным формулам.

Для газоплотных рекуператоров тепловой баланс составляется с учётом 10% потерь тепла в окружающую среду:

$$Q = 0,9 \cdot V_{np.cг} (C_{np.cг}^{нач} \cdot t_{np.cг}^{нач} - C_{np.cг}^{кон} \cdot t_{np.cг}^{кон}) = V_m \cdot (C_m^{кон} \cdot t_m^{кон} - C_m^{нач} \cdot t_m^{нач}) \quad (5.1)$$

где $t_m^{нач}$, $t_m^{кон}$ - начальная и конечная температуры топлива на входе и выходе из

рекуператора, °С,

$t_m^{нач} = 20^\circ C$, $t_m^{кон} = 310^\circ C$;

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

Лист

43

| | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат |
|------|------|----------|---------|-----|

$$C_m^{кон} = 1,485 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ \text{C})$$

$$C_m^{нач} = 0,01 \cdot 4,19 \cdot (0,388 \cdot 3,809 + 0,31 \cdot 10,675 + 0,375 \cdot 17,516 + 0,442 \cdot 1,474 + \\ + 0,306 \cdot 45,135 + 0,309 \cdot 17,332 + 0,358 \cdot 3,128 + 0,313 \cdot 0,621 + 0,361 \cdot 0,31) = \\ = 1,325 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ \text{C})$$

$$V_m = B = 0,241 \text{ м}^3 / \text{с} - \text{расход газа};$$

$$Q = 0,241 \cdot (1,485 \cdot 310 - 1,325 \cdot 20) = 104,431 \text{ кВт}$$

Температуру уходящих газов после рекуператора находим из уравнения :

$$C_{пр.сг}^{кон} \cdot t_{пр.сг}^{кон} = C_{пр.сг}^{нач} \cdot t_{пр.сг}^{нач} - \frac{Q}{0,9 \cdot V_{пр.сг}} \quad (5.2)$$

где $V_{пр.сг} = 0,724 \text{ м}^3 / \text{с}$ - расход продуктов сгорания;

$t_{пр.сг}^{нач} = 700 \text{ }^\circ \text{C}$ - начальная температура продуктов сгорания на входе в рекуператор, $^\circ \text{C}$;

$$C_{пр.сг}^{кон} \cdot t_{пр.сг}^{кон} = 1,485 \cdot 700 - \frac{104,431}{0,9 \cdot 0,724} = 1166 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Принимаем $t_{пр.сг}^{кон} = 675 \text{ }^\circ \text{C}$

$$C_{пр.сг}^{кон} \cdot t_{пр.сг}^{кон} = 0,01 \cdot 4,19 \cdot (0,468 \cdot 8,148 + 0,323 \cdot 70,0768 + 0,331 \cdot 1,5958 + \\ + 0,337 \cdot 20,1072 + 0,19 \cdot 0,07228) \cdot 675 = 1139 \text{ кДж} / \text{м}^3$$

Погрешность: $\Delta = \frac{1166 - 1139}{1166} \cdot 100\% = 2,305\% < 3\%$ - что допустимо.

Среднее значение разности температур для противоточного движения:

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_{пр.сг.}^{нач.} - t_m^{кон.}) - (t_{пр.сг.}^{кон.} - t_m^{нач.})}{\ln \frac{t_{пр.сг.}^{нач.} - t_m^{кон.}}{t_{пр.сг.}^{кон.} - t_m^{нач.}}} \quad (5.3)$$

$$P = \frac{t_m^{кон.} - t_m^{нач.}}{t_{пр.сг.}^{нач.} - t_m^{нач.}}; \quad (5.4)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 44 |

$$P = \frac{310 - 20}{700 - 20} = 0,426$$

$$R = \frac{t_{np.c2.}^{нач.} - t_{np.c2.}^{кон.}}{t_m^{кон.} - t_m^{нач.}}; \quad (5.5)$$

$$R = \frac{700 - 675}{310 - 20} = 0,086$$

По P и R определяется поправка $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$, на которую умножается Δt_{cp} .

$$\varepsilon_{\Delta t} = 0,97$$

Тогда
$$\Delta t_{cp} = \frac{(700 - 310) - (675 - 25)0}{\ln \frac{400 - 310}{675 - 20}} \cdot 0,97 = 495,768 \text{ } ^\circ C$$

Коэффициент теплопередачи k определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\delta} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_m}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C) \quad (5.6)$$

где $\delta = 0,004 \text{ м}$ - толщина стенки [ГОСТ 8733-80]

λ_{cm} - теплопроводность стенки, при средней температуре.

Средняя температура стенок рекуператора:

$$t_{cm.(cp)} = \frac{t_{m.(cp)} + t_{np.c2.(cp)}}{2} = \frac{165 + 687,5}{2} = 426,25 \text{ } ^\circ C \quad (5.7)$$

где $t_{m.(cp)} = \frac{310 + 20}{2} = 165 \text{ } ^\circ C$

$$t_{np.c2.(cp)} = \frac{700 + 675}{2} = 687,5 \text{ } ^\circ C$$

$\lambda_{cm} = 41,829 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ C)$ - материал трубы - Ст. 10 [3, стр.112, Табл. 4.1]

Коэффициент теплоотдачи от дыма к стенке:

$$\alpha_\delta = \alpha_\delta^K + \alpha_\delta^{изл.} \quad (5.8)$$

При $t_{np.c2.(cp)} = 687,5 \text{ } ^\circ C$ определяем коэффициент вязкости ν [3, табл. 9.5, стр. 394]:

$$\nu = 64,559 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$$

| | | | | | | |
|------|----------------|----------------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | | Лист |
| | Режим движения | дымовых газов: | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | 45 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | |

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{Э}}}{\nu}; \quad (5.9)$$

где $\omega = 3 \text{ м/с}$ [5, табл. 3, стр. 26];

$d_{\text{Э}} = d_{\text{пр.}} = 0,038 \text{ м}$ - внешний диаметр труб;

$$Re = \frac{3 \cdot 0,038}{64,559 \cdot 10^{-6}} = 1766 < 2300 \text{ - режим вынужденного движения -}$$

ламинарный.

Коэффициент $\alpha_{\text{д}}^k$ определяем графическим методом [3, рис. 9.19, стр. 402]

$$\alpha_{\text{д}}^k = \alpha \cdot k_z \cdot k_t \quad (5.10)$$

где $k_z = 1$ - поправка на число труб.

$$\alpha = 38,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$k_t = 1,04$ - поправка на температуру при $t_{\text{пр.сг.}(ср)} = 687,5 \text{ }^\circ\text{С}$.

(определяем по содержанию $\text{H}_2\text{O} = 20,45 \%$ в продуктах сгорания)

$$\alpha_{\text{д}}^k = 38,9 \cdot 1 \cdot 1,04 = 40,456 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коэффициент теплоотдачи излучением от дыма к наружной поверхности трубки рекуператора определяем по формуле [3, стр. 400]:

$$\alpha_{\text{д}}^{\text{изл}} = C_n \cdot \frac{\left(\frac{T_{\text{пр.сг.}(ср)}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{см.ср.}}}{100}\right)^4}{t_{\text{пр.сг.}(ср)} - t_{\text{см.ср.}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{С}) \quad (5.11)$$

где $T_{\text{пр.сг.}(ср)} = (t_{\text{пр.сг.}(ср)} + 273,15) = (687,5 + 273,15) = 960,65 \text{ К}$

$T_{\text{см.ср.}} = (t_{\text{см.ср.}} + 273,15) = (426,25 + 273,15) = 699,4 \text{ К}$,

$C_n = 16,7 \cdot \varepsilon_{\text{пр.сг.}}$ - коэффициент лучеиспускания (приведённое значение)

$\varepsilon_{\text{пр.сг.}}$ - степень черноты продуктов сгорания.

$$\varepsilon_{\text{пр.сг.}} = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \beta \quad (5.12)$$

| | | | | | | |
|-------------------------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| Эффективная длина луча: | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 46 |

$$s_{\text{эф}} = 0,9 \cdot d_{\text{э}} = 0,9 \cdot 0,051 = 0,046 \text{ м}$$

Парциальное давление P_i компонентов газовой смеси:

$$P_{\text{CO}_2} = 11,92 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 29,38 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{эф}} = 11,92 \cdot 0,046 = 0,547 \text{ кПа} \cdot \text{м}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{эф}} = 29,38 \cdot 0,046 = 1,348 \text{ кПа} \cdot \text{м}$$

$$\beta = 1,15$$

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,082, \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,03$$

$$\varepsilon_{\text{пр.ср.}} = 0,082 + 0,03 \cdot 1,15 = 0,112$$

$$C_n = 16,7 \cdot 0,028 = 0,468 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

$$\alpha_{\text{д}}^{\text{изи}} = 0,468 \cdot \frac{\left(\frac{753,15}{100}\right)^4 - \left(\frac{569,4}{100}\right)^4}{480 - 296,25} = 5,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

$$\alpha_{\text{д}} = 36,75 + 5,52 = 42,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Рассчитываем теплоотдачу от стенки подогреваемому газу.

Определяем режим движения газа:

$$\text{Re} = \frac{\omega_m \cdot d_{\text{э}}}{\nu_m};$$

где $d_{\text{э}} = d_{\text{пр.}} = 0,03 \text{ м}$ - внутренний диаметр труб;

Принимаем $\omega_m = 8 \text{ м}/\text{с}$

Для температуры $t_{\text{м.ср}} = 165 \text{ °C}$ определяем ν_m - коэффициент кинематической вязкости топлива. Определяется по процентному содержанию каждого газа в топливе [7, табл. 3.6, стр. 22]:

$$\nu_m = 0,2 \cdot \nu_{\text{ДГ}} + 0,8 \cdot \nu_{\text{КГ}} = 0,2 \cdot 61,981 \cdot 10^{-6} + 0,8 \cdot 25,069 \cdot 10^{-6} = 32,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\text{Re} = \frac{5 \cdot 0,03}{32,45 \cdot 10^{-6}} = 4622 > 2300 \text{ - режим вынужденного движения -}$$

турбулентный.

В соответствии с [3, рис. 9.16, стр. 399] для турбулентного режима находим:

| | | | |
|------|--|--|-------------|
| | $\alpha = 33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ | $k_t^{\text{о}} = 1,16, k_t^{\text{н}} = 0,93, k_t = 1$ (при $l/d_{\text{э}} > 40$) | Лист |
| | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | 47 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись Дат |

где k_t^o - поправка на неизотермичность при нагреве газа при $t_{cm.(cp)} = 426,25 \text{ } ^\circ\text{C}$,

k_t^H - поправка на неизотермичность при остывании газа,

k_l - поправка на начальный участок.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к подогреваемому газу

$$\alpha_m = 33 \cdot 1,16 \cdot 0,93 \cdot 1 = 35,6 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тогда коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{84,298} + \frac{0,004}{41,829} + \frac{1}{35,6}} = 24,97 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Площадь теплопередающей поверхности:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}; \quad (5.13)$$

$$F = \frac{104,431 \cdot 10^3}{24,97 \cdot 495,768} = 8,436 \text{ м}^2$$

Определяем число трубок:

$$n = \frac{F}{f_{mp}}; \quad (5.14)$$

где f_{mp} - площадь поверхности одной трубки.

$$f_{mp} = \pi \cdot d_{mp} \cdot l = \pi \cdot 0,038 \cdot 3 = 0,358 \text{ м}^2 \quad (5.15)$$

$$n = \frac{8,436}{0,358} = 24,555 \text{ шт.} \text{ Принимаем } n = 25 \text{ шт.}$$

Принимаем количество труб в ряду – 5 шт. Количество рядов – 5.

Тип пучка – гладкотрубный, с коридорным расположением.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 48 |

6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Повышение эффективности работы оборудования, снижение материало- и энергоемкости продукции, сокращение и вторичное использование отходов (рециклинг) – важнейшие задачи любого производства. Наиболее энергоемким процессом в металлургии и литейном производстве является плавка. Сокращение удельных энергозатрат на плавку становится все более актуальной задачей в связи с постоянным ростом цен на энергоносители. При этом самым дорогим энергоносителем по-прежнему остается электроэнергия.

Теряемая в процессе плавки тепловая энергия не просто рассеивается в атмосфере, а расходуется на «производство» загрязнений окружающей среды: образование пыли, вредных веществ, высокотемпературных газов и т. д. Для осуществления природоохранных мероприятий приходится затрачивать эквивалентное или даже большее количество энергии (в соответствии с первым законом термодинамики). Таким образом, экономическая эффективность внедрения способов, сокращающих энергопотребление при плавке, с учетом экологических факторов возрастает более чем вдвое.

Из всех методов сокращения удельных затрат электроэнергии на плавку наибольший эффект до 160–200 кВт·ч на 1 т расплава обеспечивает предварительный подогрев шихты. На нагрев и расплавление металлозавалки расходуется примерно 70–75% энергии, идущей на весь процесс плавки, на перегрев и доводку жидкого металла уходит лишь 25–30% суммарных затрат. Предварительный нагрев шихты до температуры 550–750 °С сокращает на 30–35% затраты энергии в первый период плавки и соответственно на 20–25% общий расход энергии, при этом соответственно уменьшаются расход электродов, продолжительность плавки, расход футеровочных материалов.

Высокотемпературные отходящие газы топливных печей представляют собой по сути богатый источник дешевой тепловой энергии или вторичных энергоресурсов (ВЭР). Наиболее эффективным способом использования ВЭР является рекуперация – возврат тепла отходящих газов обратно в печь путем подогрева дутья, что не только повышает т. к. п. д., но и улучшает технологические и экологические характеристики агрегата. Кроме того, горячее дутье повышает производственную гибкость печей, что, конечно, реализуется при соответствующем уровне управления печным агрегатом: развитой системе КИПиА, компьютерном управлении, квалифицированном персонале. Рекуператоры нашли широкое применение на нагревательных печах различной мощности, в первую очередь отапливаемых природным газом. Требования к нагреву дутья в нагревательных печах, как правило, не превышают 350–400 °С, безопасность системы рекуперации обеспечивается отсутствием либо минимальными количествами CO, H₂, CH₄ и сажи. Это обстоятельство исключает необходимость в сооружении камер дожигания газов на входе в рекуператоры. Все это позволяет успешно использовать конвективные металлические трубчатые теплообменники.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 49 |

7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В процессе работы оборудования выделяются следующие загрязняющие вещества: пыль неорганическая до 20 %SiO₂, углерода оксид, железа оксид, азота диоксид, марганец и его соединения, алюминия оксид, магния оксид, фториды плохо растворимые, кислота серная, пыль абразивная и др.

Организация воздухоохранной деятельности поставлена на ПАО «ЧТПЗ» на достаточно высокий уровень. Предприятием получен сертификат соответствия системы экологического менеджмента требованиям международного стандарта ISO - 14001:2004, имеются экологический паспорт и проект санитарно-защитной зоны. Лаборатория санитарно-экологического контроля имеет Аттестат аккредитации Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии.

Обеспечение деятельности и организация системы экологического менеджмента (СЭМ) возложены на главного инженера предприятия. Существенную роль в СЭМ играет отдел охраны окружающей среды и производственной санитарии (ОООС и ПС). Его функции:

- Организация и координация деятельности по охране окружающей среды в подразделениях ПАО «ЧТПЗ» по поддержанию в рабочем состоянии системы экологического менеджмента предприятия.

- Проведение внутренних аудитов системы экологического менеджмента ПАО «ЧТПЗ».

- Мониторинг и измерение параметров окружающей и производственной среды и предоставление оформленных результатов подразделениям ПАО «ЧТПЗ» и внешним контролирующим организациям.

- Выполнение расчетов платежей за природопользование.

- Оформление статистической отчетности по охране окружающей среды (2 ТП - отходы, 2 ТП - воздух, 2 ТП - вода, 4 ОС).

Приказом по предприятию назначены лица ответственные за охрану окружающей среды в подразделениях - заместители начальников цехов, которые организуют эксплуатацию и ремонт ПГУУ (пылегазоулавливающая установка).

Отчетность по форме 2-ТП (воздух) составляется на основании данных паспортов ПГУУ, журналов и данных подразделений о работе технологического оборудования, энергозатратах, расходах сырья и объемах производства.

Большая часть источников загрязнения атмосферы на предприятии (64%) оснащены ПГУУ. Для улавливания пыли используются пылесадительные камеры, циклоны, рукавные и картриджные фильтры, трубы Вентури, электрофильтр. Для улавливания кислот применяются пенные и кассетные фильтры. Очистка газов шлакоплавильных печей предусмотрена в трубах Вентури.

Определение категории опасности предприятия

Исходные данные:

Таблица 7.1 – Масса выбрасываемого вещества

| Масса выбрасываемого вещества М _в , т/год / величина фоновой концентрации С _ф | | | | | Лист |
|---|------|----------|---------|-----|------|
| 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | |

| мг/м по видовому составу выбросов. | | | | |
|------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------|-------|
| Азота диоксид | Аммиак | Кислота азотная | Пыль неорганическая | Сажа |
| 38/500 | 0,4/0,03 | - | - | - |
| Сероводород | Диоксид серы | Углеводороды предельные | Углерода окись | Фенол |
| 0,2/0 1 | 9,8/0,17 | 49/0,2 | 975/3,5 | - |

Категория опасности присваивается предприятию в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ по коэффициенту КОП, определяемому по формуле:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}} \right)^{\alpha_i}, \quad (7.1)$$

где M_i - масса выбрасываемого вещества, т/год;

ПДК_{cc_1} - среднесуточная предельно допустимая концентрация данного вещества, мг/м³; при отсутствии ПДК_{cc_1} в расчетах используются $\text{ПДК}_{\text{мр}}$;

α_i - коэффициент, зависящий от класса опасности данного вещества.

$$\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}} = \frac{38}{0,04} = 950$$

$$\left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}} \right)^{\alpha_i} = 950^{1,3} = 7430$$

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}} \right)^{\alpha_i} = 7914,9$$

Полученное значение коэффициента КОП дает основание присвоить 4-ю категорию опасности.

В зависимости от присвоенной категории опасности предприятия устанавливается объем и содержание проекта нормативов ПДВ, а также периодичность отчетности и сроки контроля деятельности предприятия по загрязнению атмосферного воздуха природоохранными органами.

Таблица 7.2 – Данные для определения КОП

| Видовой состав выбросов | M_i , т/год | ПДК_{cc_1} , мг/м ³ | Класс опасности вещества | α_i | $\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}}$ | $\left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{cc}_1}} \right)^{\alpha_i}$ |
|--------------------------------|---------------|--|--------------------------|------------|--|--|
| Азота диоксид | 38 | 0,04 | 2 | 1,3 | 950 | 7430 |
| Аммиак | 0,4 | 0,04 | 4 | 0,9 | 10 | 7,9 |
| Сероводород | 0,2 | 0,008 | 2 | 1,3 | 25 | 65,6 |
| Изм. Лист № докум. Подпись Дат | | | | | | 13.04.2018 18.965.09 ПЗ |
| | | | | | | 51 |

| | | | | | | |
|----------------------------|-----|------|---|---------|-----|-------|
| Диоксид Серы | 9,8 | 0,05 | 3 | 1,0 | 196 | 196 |
| Углеводороды предельные | 49 | 1 | 4 | 0,9 | 49 | 33,2 |
| Углерода окись | 975 | 3 | 4 | 0, 9 | 325 | 182,2 |

Объем и содержание проекта нормативов ПДВ:

1. Титульный лист.
2. Список исполнений
3. Аннотация
4. Содержание
5. Введение
6. Общие сведения о предприятии
 - 6.1. Карта-схема предприятия
 - 6.2. Ситуационная карта-схема района размещения предприятия
7. Краткая характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы
 - 7.1. Краткая характеристика технологии производства и технологического оборудования с точки зрения загрязнения атмосферы
 - 7.2. Краткая характеристика установок очистки газов, укрупненный анализ их технического состояния, эффективности работы
 - 7.3. Оценка степени соответствия применяемой технологии, очистки газов, технологического и пылегазоочистного оборудования передовому уровню
 - 7.4. Перспективы развития
 - 7.5. Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу
 - 7.6. Сведения о залповых выбросах
 - 7.7. Параметры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для расчета
 - 7.8. Обоснование полноты и достоверности исходных данных (г/с, т/год), принятых для расчетов нормативов ПДВ
 - 7.9. Сведения об ущербе, причиняемом выбросами предприятия:
 - здоровью населения
 - окружающей среде
8. Проведение расчетов и определение предложений нормативов ПДВ
 - 8.1. Расчеты и анализ уровня загрязнения атмосферы на текущий момент
 - 8.2. Предложения по нормативам ПДВ
 - 8.3. План мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с целью достижения нормативов ПДВ
 - 8.4. Уточнение размеров санитарно-защитной зоны с учетом розы ветров
9. Мероприятия по регулированию выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях
10. Контроль за соблюдением нормативов ПДВ на источниках выброса

Периодичность отчетности и контроля:

1. Инвентаризация источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (1 раз в 5 лет)

| | | | | | | |
|------|------|--|---------|-----|--|------|
| | 2. | Пересмотр норм ПДВ в целом по городу (1 раз в 5 лет) | | | | Лист |
| | 3. | Разработка (или пересмотр) планов по охране атмосферного воздуха | | | | 52 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | |

13.04.01.2018 9:65.09 ПЗ

формам статической отчетности (ежегодно)

4. Разработка ведомственных проектов норм ПДВ по полной схеме

5. Периодичность контроля деятельности предприятия по охране атмосферного воздуха: ежегодно

1. Определение нормативов ПДВ для вредных примесей из незатененных источников

Дополнительные исходные данные:

Количество труб – 8 шт

Высота трубы Н – 40 м

Скорость выхода газовой среды U_0 – 8 м/с

Размеры устья трубы – 2,2 м

Температура окружающего атмосферного воздуха $t_{в} = 25^{\circ}\text{C}$

Температура выбрасываемой газовой смеси $t_r = 26^{\circ}\text{C}$

Коэффициент очистки аэрозолей перед выбросом 95%

Таблица 7.3 – Расчет ПДВ предприятия, незатененную трубу с круглым устьем

| Видовой состав выбросов | $ПДК_{мр}$, мг/м ³ | $C_{ф'}$, мг/м ³ | $C_{м'}$, мг/м ³ | $C_{ф'}$, мг/м ³ | М, г/с | Н, м | А |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------|------|-----|
| Азота диоксид | 0,085 | 0,05 | 79,6 | 31,7 | 1,20 | 40 | 160 |

Продолжение таблицы 7.3

| Видовой состав выбросов | $ПДК_{мр}$, мг/м ³ | $C_{ф'}$, мг/м ³ | $C_{м'}$, мг/м ³ | $C_{ф'}$, мг/м ³ | М, г/с | Н, м | А |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|---------|---|
| Аммиак | 0,2 | 0,03 | 0,6 | 0,21 | 0,01 | | |
| Сероводород | 0,008 | 0,1 | 0,3 | 0,02 | 0,006 | | |
| Диоксид серы | 0,05 | 0,17 | 20,5 | 8,03 | 0,31 | | |
| Углеводороды предельные | 1 | 0,2 | 120,9 | 9,6 | 1,55 | | |
| Углерода окись | 5 | 3,5 | 2052 | 0,08 | 30,9 | | |

Максимальная величины приземных концентраций вредных примесей для случая, когда температуры почти одинаковы по формуле:

$$C_m = A M F n \eta D / H^{4/3}$$

A=160 - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального (зависящего от разности температур выбрасываемой газовой смеси и наружного воздуха) и горизонтального (зависящего от скорости ветра) рассеивания вредных примесей;

M – масса выбрасываемого в атмосферу вредного вещества, г/с;

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

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, для равнины η=1;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м.

Значения коэффициента m определяются по формуле:

$$m = \frac{1}{\sqrt[3]{f}} \quad (7.2)$$

Выражение для определения параметра f имеет вид:

$$f = 1000 \frac{U_0^2 D}{H^2 \Delta T} \quad (7.3)$$

ΔT- разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, °C;

D – диаметр устья трубы, м

Значение коэффициента n зависит от опасной скорости ветра U_m (скорость,

| | |
|---|-------------------------|
| при которой приземные концентрации примесей имеют наибольшие значения | Лист |
| определяется: | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ |
| Изм. | Лист |
| № докум. | Подпись |
| Дат | Дат |

$$n = 3 - \sqrt{(Um - 0.3)(4.36 - Um)}, \text{ при } 0,3 < Um < 2 \text{ м/с} \quad (7.4)$$

Опасная скорость ветра находится по формуле:

$$U_m = 0.65 \sqrt[3]{\frac{Q \Delta T}{H}}, \text{ м/с} \quad (7.5)$$

Объем газовой смеси Q определяется по формуле:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} U_0, \text{ м}^3/\text{с} \quad (7.6)$$

Формула для определения ПДВ (г/с) из источника, осуществляющего холодные выбросы

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}_{\text{мр}} - C_{\phi}) H^{\frac{3}{4}} 8Q}{A F m \Delta D} \quad (7.7)$$

Значение C_{ϕ} вычисляется по формуле:

$$C_{\phi} = C_{\phi} \left(1 - 0,4 \frac{C_m}{C_{\phi}} \right), \text{ мг/м}^3, \text{ при } C_m \leq 2C_{\phi} \quad (7.8)$$

$$C_{\phi} = 0,2C_{\phi}, \text{ мг/м}^3 \quad \text{при } C_m > 2C_{\phi}$$

2. Определение величины расстояний X_m для выбрасываемых из источника загрязнения веществ по одному из указанных вариантов, по которым определялись нормативы ПДВ.

Расстояние X_m (м) от источника выброса, на котором приземная концентрация примеси имеет наибольшее значение C_m , определяется по формуле:

$$X_M = \frac{5-F}{4} dH \quad (7.9)$$

Опасная скорость ветра для газовой смеси, имеющей температуру окружающей среды находится по формуле:

$$U_m = 1,3U_0 D/H, \text{ м/с} \quad (7.10)$$

Коэффициент d определяется следующим образом:

при $f > 100$

$$d = 11,4U_m, \text{ если } 0,5 < U_m < 2 \text{ м/с}$$

Расчет расстояний X_m для определения размеров санитарно-защитной зоны

При выполнении условия $C_m + C_{\phi} < \text{ПДК}$ размер санитарно-защитной зоны (S_{33}) принимается равным $X_m = 268$ м

При сравнении наибольшего расчетного значения $X_m = 268$ м с табличными значениями L_0 , принимаем санитарно - защитную зону равную 300 м (класс

предприятия III).

| | | | | | |
|---|----------|---------|-----|--|------|
| 4. Определение размера платежей за загрязнение атмосферного воздуха | | | | | Лист |
| Изм. | | | | | 55 |
| Лист | № докум. | Подпись | Дат | | |

предприятием, для которого определялись категория опасности и нормы ПДВ.

Так как $M_i < M_{ПДВ_i}$ величина платежей за сверхлимитное загрязнение атмосферного воздуха определяется по формуле:

$$P_{общ} = K_{эс} K_{и} \sum_{i=1}^n M_i N_{ПДВ_i}, \text{ руб} \quad (7.11)$$

$K_{эс}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе (для Челябинска $K_{эс}=2,4$);

$K_{и}$ – коэффициент индексации, зависящий от темпов инфляции ($K_{и}=1,2$);

i – вид загрязняющего вещества;

M_i , $M_{ПДВ_i}$ и $M_{лi}$ – массы: фактическая, в пределах ПДВ и в пределах лимитов i -го загрязняющего вещества, т/год;

$N_{ПДВ_i}$ и $N_{лi}$ – нормативы платы за выбросы в пределах ПДВ и установленных лимитов i -го загрязняющего вещества, руб/т.

Расчет платежей за загрязнение атмосферного воздуха

Размер платежей составляет: 8 345 руб. 664 коп.

Пример расчета платежей за загрязнения атмосферного воздуха диоксид азотом.

$$P_{NO_x} = 2,4 \times 1,2 \times (38 \times 52) = 5690,88 \text{ руб.}$$

7.1 Расчет дымовой трубы

Дымовая труба должна рассчитываться с учетом возможности повышения тепловой мощности печи. Принимаем запас мощности равным 1,25, тогда увеличение потерь давления составит $1,25^2 = 1,56 \sim 1,6$.

Расчетное разряжение, создаваемое трубой:

$$h_{расч} = 1,6 \cdot \Sigma p_{расч} = 1,6 \cdot 122,6 = 196 \text{ Па} \quad (7.12)$$

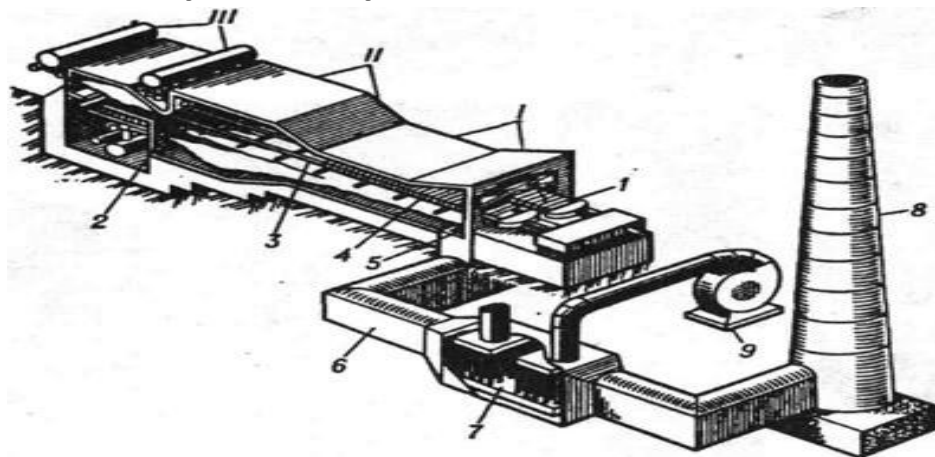


Рисунок 7.1 —Общий вид трёхзонной толкательной методической печи:

I - методическая зона; II - сварочная зона; III - томильная зона;

1 - толкатель; 2 - горелка; 3 - охлаждаемые подовые трубы;

4 - нагреваемые заготовки; 5 - вертикальный канал для отвода продуктов сгорания (дымопад); 6 - дымовой боров;

7 - рекуператор; 8 - дымовая труба; 9 - воздушный вентилятор

Приведенную скорость газов в устье дымовой трубы принимаем $\omega_{02} = 1,2$ м/с.

Тогда диаметр трубы в устье

$$d_y = \sqrt{\frac{4 \cdot V'_D \cdot (1 + \Delta\rho')}{\pi \cdot \omega_{02} \cdot 3600}} \quad (7.13)$$

где $V'_D = 9370,8$ м³/ч- количество продуктов сгорания перед рекуператором; $\Delta\rho' = 0,2$ - коэффициент, учитывающий подсос воздуха в дымовой тракт за рекуператором и в свободном борове. Выполним подстановку:

$$d_y = \sqrt{\frac{4 \cdot 9370,8 \cdot (1 + 0,2)}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 3600}} = 1,82 \text{ м.}$$

Принимаем 2 м.

Диаметр трубы у основания рассчитывается по формуле:

$$d_{осн} = 1,5 \cdot d_y = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м} \quad (7.14)$$

Средний диаметр трубы

$$d_{CP} = \frac{d_y + d_{осн}}{2} = \frac{2 + 3}{2} = 2,5 \text{ м.} \quad (7.15)$$

Приведенная скорость дыма у основания трубы:

$$\omega_{01} = \frac{4 \cdot (1 + \Delta\rho') \cdot V'_D}{\pi \cdot d_{осн}^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot (1 + 0,2) \cdot 9370,8}{3,14 \cdot 3^2 \cdot 3600} = 0,442 \text{ м/с} \quad (7.16)$$

Ориентировочная высота дымовой трубы:

$$H \approx \frac{h_p}{0,8 \cdot 9,81} = \frac{196}{0,8 \cdot 9,81} = 25 \text{ м} \quad (7.17)$$

Принимая охлаждение дымовых газов в трубе рамным 1° на 1 м, находим температуру дыма в устье:

$$t_{д.у.} = t_{д.осн.} - \delta \cdot H, \quad (7.18)$$

где $t_{д.осн.}$ - температура дыма у основания трубы.

С учетом обвода части дыма мимо рекуператора (20%) и подсоса воздуха

$$t_{д.осн.} = \frac{t'_D \cdot 0,2 + t''_D \cdot 0,8}{1 + \Delta\rho'} = \frac{900 \cdot 0,2 + 500 \cdot 0,8}{1 + 0,2} = 485 \text{ °C} \quad (7.19)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------------|---------------------------------------|---------|-----|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | $t_{д.у.}$ | $= 485 - 1 \cdot 25 = 460 \text{ °C}$ | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | | | | 57 |

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

Средняя температура дыма в трубе:

$$t_{\text{д.ср.}} = \frac{t_{\text{д.осн.}} + t_{\text{д.у.}}}{2} = \frac{485 + 460}{2} = 472,5^{\circ}\text{C} \quad (7.20)$$

Высота дымовой трубы определяется по формуле:

$$H = \frac{h_{\text{расч}} + \rho_{\text{Д0}} \left[\frac{\omega_{02}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{д.у.}}) - \frac{\omega_{01}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{д.осн.}}) \right]}{g \left[\frac{\rho_{\text{В0}}}{1 + \alpha \cdot t_{\text{г.}}} - \frac{\rho_{\text{Д0}}}{1 + \alpha \cdot t_{\text{д.ср.}}} \right] - \frac{\mu}{2 \cdot d_{\text{ср.}}} \cdot \rho_{\text{Д0}} \cdot \left[\frac{\omega_{01}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{д.осн.}}) - \frac{\omega_{02}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{д.у.}}) \right]} \quad (7.21)$$

Здесь $h_{\text{расч}} = 196$ Па; $t_{\text{г.}} = 20^{\circ}\text{C}$; $\rho_{\text{Д0}} = 1,528$ кг/м³; $t_{\text{д.осн.}} = 485^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{д.у.}} = 460^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{д.ср.}} = 472,5^{\circ}\text{C}$; $\mu = 0,05$; $d_{\text{ср.}} = 2,5$ м; $\omega_{02} = 1,2$ м/с; $\rho_{\text{В0}} = 1,528$ кг/м³.

$$H = \frac{196 + 1,528 \left[\frac{1,2^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{460}{273} \right) - \frac{0,3^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{485}{273} \right) \right]}{9,81 \left[\frac{1,528}{1 + \frac{20}{273}} - \frac{1,528}{1 + \frac{472,5}{273}} \right] - \frac{0,05}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,528 \cdot \left[\frac{0,3^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{485}{273} \right) - \frac{1,2^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{460}{273} \right) \right]} = 24 \text{ м}$$

8 КОНТРОЛЬНО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АВТОМАТИКА

Для управления металлургическими процессами необходима оперативная информация о множестве физических параметров, таких как: температура металлов в процессе плавки и контроль температуры печей, влажность технологических газов, используемых в процессах, состав газов плавильных печей, химический состав шихтовых материалов, металла и шлака в процессе плавки, плотность вещества, влажность формовочных и стержневых смесей, температура и влажность воздуха в производственных помещениях и на складах с готовой продукцией, контроль содержания вредных веществ в отходящих газах и т.п.

Система автоматизации рассматриваемой печи предусматривает:

- регулирование температуры в каждой из 3 зон печи;
- регулирование соотношения « газ-воздух» для каждой зоны;
- регулирование давления в рабочем пространстве печи;
- регулирование давления газа и воздуха в коллекторе перед печью.

В таблице 8.1 представлены контрольно- измерительные приборы и автоматика методической нагревательной печи.

Таблица 8.1 — Контрольно - измерительные приборы и автоматика методической нагревательной печи.

| Позиция по схеме | Измеряемый параметр | Тип прибора, средства измерения | Предел измерения | Цена дел. | Класс точности |
|------------------|--|--|------------------|-----------|----------------|
| 1 | Давление газа в коллекторе перед печью, кгс/ м ² | Комплект: датчик давления Метран- 150 CG2, контроллер SIMATICS7-300 | 0...1 600 | 1 | 0,075* |
| 2 | Давление воздуха в коллекторе перед печью, кгс/ м ² | Комплект: датчик давления Метран- 150 CG2, контроллер SIMATICS7-300 | 0...1 600 | 1 | 0,075* |
| 3 | Давление в рабочем пространстве печи, кгс/ м ² | Комплект: датчик давления Метран- 150 CG0, контроллер SIMATICS7-300 | 0...6,3 | 0,1 | 0,1* |
| 4 | Расход газа на 1-ю зону печи, м ³ /ч | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0...1 000 | 1 | 0,1* |

Продолжение таблицы 8.1

| Позиция по схеме | Измеряемый параметр | Тип прибора, средства измерения | Предел измерения | Цена дел. | Класс точности |
|------------------|----------------------------|--|------------------|-----------|----------------|
| 5 | Расход воздуха на 1-ю зону | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0...10 000 | 1 | 0,1* |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | |

| | | | | | |
|----|--|--|------------|------|------|
| | печи, м ³ /ч | перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | | | |
| 6 | Расход газа на 2-ю зону печи, м ³ /ч | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0...1 250 | 1 | 0,1* |
| 7 | Расход воздуха на 2-ю зону печи, м ³ /ч | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0...12 500 | 1 | 0,1* |
| 8 | Расход газа на 3-ю зону печи, м ³ /ч | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0... 1 600 | 1 | 0,1* |
| 9 | Расход воздуха на 3-ю зону печи, м ³ /ч | Комплект: сужающее устройство, датчик перепада давления Метран-150 CD1 (0...1,6 кПа), контроллер SIMATICS7-300 | 0...16 000 | 1 | 0,1* |
| 10 | Давление газа перед горелками кПа | Микроанометр ЗОНД-10ДГ-1031А | ±20кПа | 0,01 | ±1% |
| 11 | Давление воздуха перед горелками кПа | | | | |

Продолжение таблицы 8.1

| Позиция по схеме | Измеряемый параметр | Тип прибора, средства измерения | Предел измерения | Цена дел. | Класс точности |
|------------------|--|---|------------------------|------------|-----------------------|
| 12 | Температура газа перед сужающими устройствами, °С | Термометр контактный цифровой ТК-5.11 с зондами | -40...300 -40...260 | 0,1 | 0,5 |
| 13 | Температура воздуха перед горелками, °С | | | | |
| 14 | Скорость потока газа и воздуха в трубопроводах перед горелками, м/с | Анемометр АМ-70 | 0,3...70 | 0,1 | $\mp(0,3 + 0,05 * V)$ |
| 15 | Состав продуктов сгорания: - кислород (O ₂), % - оксид углерода (CO),ppm | ЭлектронныйгазоанализаторКМ 940 | 0...21 0...10000 | 0,1 1,0 | 5% 10% |

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

9.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов

Металлургическое производство отличается большим количеством опасных и вредных производственных факторов.

К физическим опасным производственным факторам в прокатном производстве относятся:

- подвижные машины и механизмы;
- подвижные части оборудования;
- движущиеся изделия, заготовки, материалы (валки, шпиндели, муфты станов, выбросы петли прокатываемого материала, осколки прокатываемого металла, отлетающие окалина и шлаки);
- повышенная температура поверхностей;
- повышенное значение напряжения в электрической сети;
- острые кромки, заусеницы и шершавость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- высокая вероятность возможности возгорания.

К физическим вредным производственным факторам относят:

- повышенную запыленность воздуха;
- повышенную температуру и влажность воздуха рабочей зоны;
- сниженную подвижность воздуха;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- повышенный уровень шума, инфразвуковых колебаний, ультразвука и вибрации;
- повышенный уровень электрических, магнитных и электромагнитных излучений;
- недостаточную освещенность рабочей зоны, повышенную яркость света и сниженную контрастность.

Химические производственные факторы. Выделение вредных веществ в воздух (токсичной пыли, газов) происходит при проведении технологических процессов проката металла и проведении работ, связанных с применением химических веществ и материалов (смазка, техническое масло и др.). В листопрокатных цехах перед холодной прокаткой листов, перед нанесением защитных покрытий металл очищают от слоя окислы путем травления в ваннах разбавленной серной, соляной или азотной кислотой. При прокате металла наиболее возможное проникновение в организм веществ в виде пара и пыли через органы дыхания (около 95 % всех отравлений).

Биологические производственные факторы при прокатке не являются значительными.

Наиболее характерными психофизиологическими факторами для прокатного производства является высокая скорость технологических процессов и интенсивность грузопотоков, которая обуславливает в свою очередь высокую интенсивность работы персонала. Это приводит к большому умственному утомлению, которое связано с ошибками в управлении механизмами, и возникновение опасных ситуаций, т.е. преобладают нервно- психические перегрузки.

| | | | | |
|--|------|----------|---------|-------------------------|
| Рассмотрим наиболее важные производственные факторы прокатного | | | | Юст |
| производства. | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат |
| | | | | 62 |

Пыль является наиболее распространенным неблагоприятным фактором производственной среды. В металлургическом производстве преобладает пыль, которая содержит оксиды железа, кремния, марганца, фтористые соединения и др.

При работе станов в результате раздавливания поверхностного пласта окарины на металле образуется металлическая пыль. Наиболее интенсивное выделение пыли происходит на блюмингах и слябингах – до 515– 4400 мг/м³ . В воздухе у станов горячей прокатки металла содержание пыли окислов железа достигает 2400–4400 мг/м³ . При эксплуатации машины огневой зачистки поверхности металла общее количество пыли в продуктах сгорания достигает 12 г/м³ . Содержание пыли в воздухе у клетей листовых станов представляет от 200 до 2400 мг/м³ .

Микроклимат в прокатных цехах определяется наличием чрезмерного конвекционного и лучистого тепла, в связи с чем, они относятся к группе горячих цехов. Источниками тепла являются прокатываемый металл, нагретые оборудование, механизмы и коммуникации, открытые отверстия или крышки нагревательных устройств, горючие газы.

Нагретый прокатываемый металл является основным источником тепла. Лучистая энергия на расстоянии 1 м от проката составляет до 4- 5 калл /см² в минуту. Двигаясь по цеху, прокат на своем пути нагревает все металлическое оборудование, при этом нагретые предметы сами становятся источником тепла и быстро нагревают воздуха.

На рабочих местах нагревательщиков металла температура воздуха в летний период достигает 40–45°C, на рабочих местах вальцовщиков литейных станов – 35–40°C. Высокая температура воздуха наблюдается также на постах управления операторов, в кабинах крановщиков, которые работают в главном пролете стана.

Метеорологические условия в прокатных цехах характеризуются также наличием участков с высокой и низкой влажностью воздуха, что отрицательно влияет на самочувствие и здоровье человека. В прокатных цехах к шумоопасному оборудованию относятся рабочие клетки, машины огневой зачистки металла, ножницы для резания металла маятниковой дисковые пилы, правильные машины; моталки, шлепперы, рольганги, листоукладчики, непрерывно-травильные агрегаты и др.

Основным источником шума является прокатный стан, в котором находится огромное количество металлических механизмов. Основной шум прокатного цеха лежит в области частот до 1000 Гц и имеет значение звукового давления в пределах 75–95 дБ и может достигать 110 дБ. Уровни звуковой мощности оборудования приведены в таблице 3.18.

При производстве проката металла используются передовые методы очистки поверхности металлических изделий (листовой прокат, сортовой прокат) с применением ультразвука. Ультразвук обладает главным образом локальным действием на организм, поскольку передается при непосредственном контакте с ультразвуковым инструментом, обрабатываемыми деталями или средами, в которых возбуждаются ультразвуковые колебания. Ультразвук, генерируемый низкочастотным промышленным оборудованием, оказывают неблагоприятное влияние на организм человека.

| | | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-------------|-------|---------------------------|
| | Длительное | систематическое | воздействие | | ультразвука |
| | распространяюще | гося | воздушным | путем | 13,04-13,30-18,96-500 дБз |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | Учст 63 |

сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Наиболее характерным является наличие вегетососудистой дистонии и астенического синдрома. Степень выраженности изменений зависит от интенсивности и длительности воздействия ультразвука и усиливается при наличии в спектре высокочастотного шума, при этом присоединяется выраженное снижение слуха. В случае продолжения контакта с ультразвуком указанные расстройства приобретают более стойкий характер.

Характер изменений, возникающих в организме под воздействием ультразвука, зависит от дозы воздействия.

Развитие техники и транспортных средств, совершенствование технологических процессов и оборудования сопровождаются увеличением мощности и габаритов машин, что обуславливает тенденцию повышения низкочастотных составляющих в спектрах и появление инфразвука.

Инфразвук возникает за счет тех же процессов что и шум слышимых частот. Прокатные станы (конструкции с плоскими поверхностями большой площади и малой жесткости) создают условия для генерации инфразвука. Инфразвук при прокате металла имеет постоянный характер.

Максимальные уровни низкочастотных акустических колебаний от промышленных источников в прокатном цехе достигают 100–110 дБ. Исследования биологического действия инфразвука на организм показали, что при уровне от 110 до 150 дБ и более он может вызывать у людей неприятные субъективные ощущения и многочисленные реактивные изменения, к числу которых следует отнести изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной системах, вестибулярном анализаторе. Имеются данные о том, что инфразвук вызывает снижение слуха преимущественно на низких и средних частотах. Выраженность этих изменений зависит от уровня интенсивности инфразвука и длительности действия фактора.

В условиях прокатного производства наблюдается местная (локальная) и общая вибрации. Прокатные станы (система механизмов) при своей работе создают общую вибрацию, которая заключается в отклонении рабочих мест от положения равновесия на малую величину. При производстве отдельных видов работ по обработке проката работники испытывают локальную вибрацию, передающуюся на руки работающего. В прокатном цехе вибрация обладает неоднородностью по спектру частот и непостоянством во времени.

Локальная вибрация зависит от контакта оператора с колеблющимся телом. Производственными источниками локальной вибрации являются ручные механизированные машины ударного, ударно-вращательного и вращательного действия с пневматическим или электрическим приводом. Инструменты ударного действия основаны на принципе вибрации. К ним относятся клепальные, рубильные, отбойные молотки, пневмотрамбовки. К ручным механизированным машинам вращательного действия относятся шлифовальные, сверлильные машины, электромоторные пилы.

Длительное воздействие вибрации высоких уровней на организм человека приводит к развитию преждевременного утомления, снижению производительности труда, росту заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии – вибрационной болезни.

В прокатном производстве применяется огромное количество разнообразного электрооборудования, оказывающего опасное воздействие

работников (электрические поля промышленной частоты, электромагнитные

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | № стр |
| | | | | | 64 |

поля высокой частоты). Источником электрических полей промышленной частоты являются токоведущие части действующих электроустановок (линии электропередач, индукторы, конденсаторы термических установок, фидерные линии, генераторы, трансформаторы, электромагниты, соленоиды, импульсные установки, литые и металлокерамические магниты и др.). Длительное воздействие электрического поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса.

Источником электромагнитных полей высоких частот являются неэкранированные элементы оборудования для индукционной обработки металла (закалка, отжиг, плавка, пайка, сварка и т.д.) и других материалов, а также оборудования и приборов, применяемых для генерации токов высокой частоты. Длительное воздействие токов высокой частоты на различные системы организма человека по последствиям имеют многообразные проявления. Наиболее характерными при воздействии электромагнитного излучения являются отклонения от нормального состояния центральной нервной системы и сердечно-сосудистой системы человека. Субъективными ощущениями облучаемого персонала являются жалобы на частую головную боль, сонливость или общую бессонницу, утомляемость, слабость, повышенную потливость, снижение памяти, рассеянность, головокружение, потемнение в глазах, беспричинное чувство тревоги, страха и другие.

Правильное освещение рабочих мест прокатных цехов имеет большое значение для создания безопасных условий работы: неудовлетворительное освещение негативно влияет на зрение работников, может стать причиной травматизма. Равномерное распределение яркости в условиях прокатного производства не достигается. Вследствие образования огромного количества пыли наблюдается ухудшение видимости и уменьшается обзор. Чрезмерная ослепительная яркость металлических деталей нарушает условия комфортного зрения, ухудшает контрастную чувствительность.

Пожарная и взрывная опасность прокатного производства определяется следующими факторами:

- наличием широко развитой сети кабельного хозяйства, большого количества масла в масло-эмульсионных подвалах, сети масляных гидроприводов;
- применением горючих (взрывоопасных) газов в нагревательных печах и колодцах, при резании металла, взрывоопасный водород образовывается в травильных ваннах при обработке металла, взрывоопасного защитного газа при отжиге металла в безкислородной среде.

9.2 Общие требования по охране труда (нагревальщика металла)

К работе в качестве нагревальщика металла допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие:

- медицинский осмотр и признанные годными по состоянию здоровья;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- стажировку на рабочем месте под руководством наставника;

| | | | | | | | | | | |
|------|------|------------------------|---------|-----|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | – | обучение по профессии; | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 65 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | | | | | |

– проверку знаний в цеховой квалификационной комиссии с выдачей удостоверения по профессии и допущенные к самостоятельной работе распоряжением по цеху.

Нагревальщикам 6-го и 7-го разрядов разрешено эксплуатировать и ремонтировать установки газового хозяйства только при получении удостоверений «На право эксплуатации и ремонта установок газового хозяйства», а также при наличии допуска к выполнению этих работ, оформленного распоряжением по цеху.

Нагревальщик должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты и Коллективным договором.

Нагревальщик металла должен знать и выполнять:

– требования настоящей инструкции, а также требования перечня инструкций по охране труда для данной профессии, утверждённого начальником ТПЦ № 1;

– положение о применении ключ-бирочной системы в цехах Общества;

– правила внутреннего трудового распорядка Общества;

– устройство, принцип работы, правила технической эксплуатации методических нагревательных печей;

– правила личной гигиены;

– правила противопожарного режима в РФ

– «План ликвидации аварий» на участке горячего проката ТПЦ № 1.

Нагревальщик металла должен уметь:

– пользоваться средствами индивидуальной защиты;

– правильно пользоваться первичными средствами пожаротушения и знать места расположения их на участке горячего проката;

– оказывать пострадавшему первую (доврачебную) помощь.

Ношение каски и средств индивидуальной защиты органов слуха, зрения на всей территории цеха обязательны.

В случаях травмирования или недомогания необходимо прекратить работу, известить об этом руководителя работ (а также специалиста по охране труда) и вместе с ним обратиться в медицинское учреждение Общества.

При невыполнении требований охраны труда, изложенных в настоящей инструкции, а также в общезаводских инструкциях по охране труда, нагревальщик металла в зависимости от характера нарушений и их последствий несет ответственность согласно действующему законодательству РФ.

Требования охраны труда перед началом работы

Нагревальщик металла перед началом работы обязан:

– надеть спецодежду и спецобувь, предусмотренную «Типовыми нормами бесплатной выдачи» для нагревальщика металла. В легкой одежде и обуви (рубашке, майке, тапочках, кепках и т.п.) работать строго запрещается;

– Использовать все средства индивидуальной защиты, необходимые для выполнения порученного вида работ на методических нагревательных печах;

– прибыть на сменно-встречное собрание, получить задание на производство работ;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 66 |

– ознакомиться с состоянием рабочего места, проверить наличие и исправность технологического инструмента, наличие и исправность ограждений и кожухов;

– обо всех выявленных замечаниях сообщить нагревальщику металла 7-го разряда или лицу, его замещающему, который в свою очередь докладывает сменному мастеру проката;

– к работе не приступать до устранения выявленных замечаний.

Нагревальщик 7-го разряда или лицо, его замещающее, обязан принять смену от нагревальщика предыдущей смены и расписаться в журнале «Приёма-сдачи смены».

Перед началом работы нагревальщик металла, обслуживающий шлаковую лётку, обязан проверить:

– состояние шлаковой лётки, шлаковых ванн и коробок под сварочный шлак;

– отсутствие посторонних предметов в шлаковых ваннах;

– материалы для заправки шлаковой лётки и шлаковых ванн (окалина, магнезит, уголь должны быть сухими);

– наличие и исправность инструмента: лопаты совковой с длинной ручкой, крючка для оттяжки, длиной не менее 2-х метров, грузозахватного приспособления для транспортировки шлаковых ванн;

– обо всех выявленных замечаниях доложить нагревальщику металла 7-го разряда или лицу, его замещающему.

Перед началом работы нагревальщик металла, занимающийся кантовкой слитков и заготовок, обязан проверить:

– визуальным осмотром: арматуру нагревательной печи, состояние трансмиссий и цепей кантовальных окон;

– пробным включением: механизм закрывания и открывания кантовальных окон;

– наличие материалов для травки подины: окалины, ферросилиция, магнезита;

– наличие и исправность ручных кантовальных ломиков, скребков для выгребания окалины, крючка для оттяжки, грузозахватных приспособлений, коробок под окалину;

– обо всех выявленных замечаниях доложить нагревальщику металла 7-го разряда или лицу его замещающему.

Перед началом работы нагревальщик металла, работающий на кантовальной машине, обязан проверить:

визуально:

наличие и исправность ограждений вращающихся частей;

надёжность крепления кантовального ломика в шомполе машины;

исправность ходовых путей, зубчатой рейки;

наличие и исправность перекрытия троллейного канала;

наличие болтов в муфтах;

пробным включением:

исправность механизмов и узлов кантовальной машины;

регулировку тормоза механизма хода;

исправность тормоза аварийной остановки;

принять ключ-бирку от нагревальщика металла, сдающего смену;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09.13 | Лист |
| | | | | | | 67 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | |

обо всех выявленных замечаниях доложить нагревальщику металла 7-го разряда или лицу его замещающему.

Перед началом работы нагревальщик металла, осуществляющий нагрев слитков и заготовок, обязан:

- ознакомиться с состоянием и работой методических печей «по тепловому режиму и по расходу газа»;
- проверить работу КИП;
- убедиться в исправности газового оборудования, огнеупорной кладки методических печей, технологического оборудования;
- проверить состояние троллейных каналов и кантовальных машин;
- наличие и исправность всех кожухов, ограждений, мостиков и переходных лестниц;
- принять от нагревальщика металла, предыдущей смены, ключ-бирку;
- расписаться в журнале по эксплуатации методической печи № 1;
- обо всех поступивших замечаниях доложить сменному мастеру проката.

Требования охраны труда во время работы

Во время работы нагревальщик металла обязан:

- содержать эксплуатируемое оборудование, грузозахватные приспособления и инструмент в исправном состоянии, применять их по назначению и характеру выполняемой работы;
- ходить только по установленным проходам и переходным мостикам;
- спрыгивать со ступенек переходных мостиков запрещается;
- не допускать на рабочее место лиц, не имеющих от ношения к данной работе;
- содержать рабочее место в чистоте, не загромождать его деталями, инструментом, не захламлять мусором;
- при выполнении работы несколькими работниками одновременно быть предельно внимательным, не отвлекаться и не отвлекать других, чётко выполнять указания нагревальщика металла 7-го разряда или лица, его замещающего;
- все работы выполнять только в защитной каске;
- обо всех замечаниях по охране труда, возникающих во время работы, сообщать сменному мастеру проката;
- работу не возобновлять, если её продолжение противоречит требованиям или нормам охраны труда.

Во время работы нагревальщику металла запрещается:

- открывать дверцы электрических установок, прикасаться к электрооборудованию и электропроводам;
- самостоятельно проводить ремонт оборудования;
- прикасаться или прислоняться к, находящимся в движении, механизмам;
- переходить или находиться под грузом, подвешенным на кран;
- работать на неисправном оборудовании или неисправным инструментом;
- использовать инструмент или технологическое оборудование не по назначению;
- выполнять работу без СИЗ, предусмотренных «Типовыми нормами

бесплатной выдачи» для нагревальщиков металла.

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | Лист |
| | | | | | 68 |

Во время работы нагревательщик металла, обслуживающий шлаковые лётки, обязан:

- производить замену шлаковен с жидким шлаком и кантовку их с застывшим шлаком по технологическим картам № 4 и № 10;

- для обслуживания самой летки и её жёлоба, а также для ремонта шлаковен, использовать сухие материалы: магнезит, окалину, уголь, ферросилиций.

Во время работы нагревательщику металла, обслуживающему шлаковые лётки, Запрещается:

- использовать в работе неисправные чалочные и грузозахватные приспособления;

- выпускать из печи жидкий шлак в сырую шлаковню, а также заливать расплавленный шлак водой;

- спускаться в шлаковый приямок и стоять рядом со шлаковней, при наполнении её расплавленным шлаком;

- производить заправку шлаковой лётки без специальной заправочной лопаты с длинной ручкой;

- высыпать сварочный шлак из шлаковни до полного его затвердевания, время полного затвердевания шлака – не менее 16-ти часов;

- составлять шлаковые чаши с жидким шлаком и пустые друг на друга;

- допускать накопления жидкого шлака на подине во время травки (подтравки) в объёме более одной шлаковни.

Во время работы нагревательщик металла, работающий на кантовальной машине, обязан:

- перед каждым пуском в работу кантовальной машины проверять действие тормоза механизма хода, посредством включения машины на ход вниз по уклону путей и её остановку постановкой командо-коптроллера в нулевое положение;

- перед включением хода кантовальной машины или хода шомпола обязательно следить за отсутствием людей в зоне движения или предметов на пути движения;

- в случае самопроизвольного движения кантовальной машины вниз по уклону, поставить командо-кнтроллер в нулевое положение, остановить кантовальную машину тормозом аварийной остановки, вызвать ремонтную службу, о происшедшем сообщить сменному мастеру проката;

- по команде нагревательщика металла, производящего выгребку окалины и травку печи, остановить машину, выдвинуть лом кантовальной машины до упора в колонну печи на 2 окна выше того окна, из которого производится выгребка или травка. Контроллеры управления машиной установить в нулевое положение. Для предотвращения самопроизвольного движения кантовальной машины, поставить её на аварийный тормоз;

- включение кантовальной машины в работу производить по команде нагревательщика металла, производящего выгребку окалины или травку подины, убедившись, что он вышел из опасной зоны.

Уходя с кантовальной машины, машинист обязан взять с собой ключ-бирку, предварительно поставив кантовальную машину на аварийный тормоз.

При постановке кантовальной машины на ремонт ключ-бирка передаётся лицу, производящему ремонт. Машинист, если он не производится на ремонт, 13.04.01.2018.18:09:13

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|----|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 69 |
|------|------|----------|---------|-----|----|

обязан находиться на своём рабочем месте или выполнять работу по указанию сменного мастера проката или мастера металлургических нагревательных печей.

Во время работы нагревальщику металла, работающему на кантовальной машине, запрещается:

- производить ремонт и смазку механизмов кантовальной машины на ходу;
- принимать участие в ремонте электрического оборудования;
- производить кантовку слитков или заготовок при неисправных механизмах кантовальной машины;
- использовать кантовальную машину не по прямому назначению; в виде исключения, под руководством нагревальщика металла 7-го разряда, разрешается использовать кантовальную машину для разрушения бугров на подине печи.

Во время работы нагревальщик металла, занимающийся кантовкой слитков и заготовок обязан соблюдать личную осторожность и согласованность в работе с машинистом кантовальной машины и посадчиком металла, а именно:

- перед началом ручной кантовки в хвостовой части печи, подать команду посадчику металла на остановку механизмов посада, а машинисту кантовальной машины на её остановку;
- к работе приступить, убедившись в остановке механизмов посада и кантовальной машины;
- закончив кантовку слитков или заготовок вручную, выйти из опасной зоны, подать команду посадчику металла на включение механизмов посада, а машинисту кантовальной машины на включение машины;
- перед началом выгребки окалины из методической печи, подать команду машинисту кантовальной машины на её остановку;
- убедившись, что кантовальная машина остановлена и лом выдвинут до упора в колонну печи, приступить к выгребке окалины при помощи скребка; закончив выгребку окалины выйти из опасной зоны, подать команду машинисту кантовальной машины на её включение; технологический инструмент (ломик ручной, скребок, совковую лопату) убрать на место хранения;
- систематически, в течение смены, во время технических перерывов работы кантовальной машины или по команде нагревальщика 7-го разряда проверять визуально надёжность подвески тяг трансмиссий кантовальных окон;
- не допускать выполнения работ при неисправных трансмиссиях.

Во время работы нагревальщику металла, занимающемуся кантовкой слитков и заготовок, запрещается:

- производить работы, при наличии посторонних предметов на полу и в зоне обслуживания печи;
- находиться в зоне действия кантовальной машины;
- использовать в работе сырые материалы;
- заливать водой пол у печи и расплавленный шлак при травке;
- опираться на рельс ногой при выгребании окалины, во время движения по рельсу кантовальной машины;

| | | | | | |
|------|------|--|---------|-------------------------|------|
| | – | допускать перегруз корабок окалиной, сварочным шлаком. | | | Лист |
| | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 70 |

Во время работы нагревательщик металла, осуществляющий нагрев слитков и заготовок, обязан:

- вести нагрев металла в соответствии с ТИ 158-Тр.ТБ 1 - 23, раздел 3;
- проверять материалы, используемые для обслуживания шлаковой лётки и заправки подины методических печей, во избежание попадания в методическую печь взрывоопасных предметов или сырых материалов;
- обеспечивать в течение смены согласованность действий эксплуатационного и ремонтного персонала, с соблюдением требований бирочной системы. Запрещается оставлять ключ-бирку на ПУ без присмотра.
- постоянно в процессе работы проверять достаточность мер безопасности на рабочих местах, выявлять и пресекать всякие нарушения инструкций по охране труда подчинёнными;
- принимать меры по ликвидации, обнаруженных лично или подчинённым персоналом, неисправностей и замечаний по охране труда;
- о замечаниях и принятых мерах доложить сменному мастеру проката.

Требования охраны труда в аварийных ситуациях

При возникновении аварийной ситуации во время технологического процесса нагревательщик металла должен поставить в нулевое положение электронно-пусковую аппаратуру, извлечь ключ-бирку из гнезда пульта управления и действовать согласно плану ликвидации аварий цеха № 1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 71 |

10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Эффективное использование энергетических ресурсов, выявление рациональных направлений развития и эксплуатации энергетического хозяйства является важной задачей для экономики промышленного предприятия. Важную роль в обеспечении эффективного развития предприятия играет принятие экономически обоснованных решений по реализации инвестиционных проектов. Энергосбережение и ресурсосбережение является одной из важнейших задач при развитии любого производства, в связи с этим необходимо модернизировать производственное оборудование, для снижения потребления энергии и ресурсов.

В работе предусмотрена установка металлического рекуператора в методической нагревательной печи. В результате установки рекуператора уменьшаются потери тепла, повышается коэффициент полезного действия печи, снижается расход топлива в результате чего получаем экономию текущих затрат.

Расчет выполнен по методике пособия «Экономико-управленческая часть дипломного проекта».

10.1 Технико-экономический расчет

10.1.1 Смета капитальных затрат

Проанализируем капитальные затраты на установку рекуператора и сведем их в таблицу 10.1. Данные по стоимости, указанные в таблице 10.1, взяты из источника [23].

Таблица 10.1 – Смета капитальных затрат на установку рекуператора

| Наименование | Единицы измерения | Стоимость |
|---|-------------------|-----------|
| Разработка проекта | тыс. руб. | 17,20 |
| Приобретение рекуператора ОПТ-900/6,3-341/5,7 | тыс. руб. | 57451,99 |
| Другое (дополнительные материалы для монтажа) | тыс. руб. | 973,75 |
| Транспортировка до места монтажа | тыс. руб. | 301,20 |
| Монтажные работы | тыс. руб. | 938,27 |
| Пуско-наладочные работы | тыс. руб. | 392,60 |
| Итого капитальных затрат | тыс. руб. | 60075,01 |

Капитальные затраты на установку рекуператора

$$K = 17,200 + 57451,99 + 973,754 + 301,200 + 938,266 + 392,600 = 60075,01 \text{ тыс.руб.}$$

10.1.2 Расчет текущих затрат

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 72 |

Производительность методической печи в базовом периоде 1050 т/год. Базовая калькуляция себестоимости нагрева заготовок представлена в таблице 10.2

Таблица 10.2– Базовая калькуляция себестоимости нагрева заготовки

| Номер | Наименование статей калькуляции | Цена, руб. | Количество | Сумма, тыс.руб./год |
|-------|--|------------|------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Основное топливо: | | | |
| 1.1 | Природный газ, тыс.м ³ | 4,09 | 1357 | 5550,13 |
| 1.2 | Мазут, т | 11,500 | 1050 | 12075,00 |
| 2. | Энергозатраты | | | |
| 2.1 | Теплоэнергия, ккал/год | 3,13 | 1778,18 | 5565,70 |
| 2.2. | Электроэнергия, тыс.кВт.ч | 3,50 | 91,371 | 319,80 |
| 2.3 | Сжатый воздух, тыс.м ³ | 86,2 | 0,1332 | 11,50 |
| 2.4 | Кислород технический, тыс.м ³ | 1268,5 | 0,0168 | 21,40 |
| 2.5 | Кислород технологический, тыс.м ³ | 638,5 | 0,0465 | 29,70 |
| | Итого затрат по производству | | | 23573,23 |
| 3 | Амортизация | - | - | 2,43 |
| 4 | Фонд оплаты труда | - | - | 1534,29 |
| 5 | Отчисления в общественные фонды, тыс. руб. | - | - | 767,14 |
| 6 | Содержание основных фондов, тыс. руб. | - | - | 376,75 |
| 7 | Материалы на травку | - | - | 318,26 |

Продолжение таблицы 10.2

| Номер | Наименование статей калькуляции | Цена, руб. | Количество | Сумма, тыс.руб./год |
|-------|--|------------|------------|---------------------|
| 8 | Капитальный ремонт (1 раз в год) | - | - | 2569,35 |
| 9 | Транспортные перевозки, тыс. руб. | - | - | 37,90 |
| 10 | Прочие расходы, тыс. руб. | - | - | 36,82 |
| 11 | Охрана труда, тыс. руб. | - | - | 5,36 |
| | Итого расходы по переделу | | | 5648,30 |
| | Производственная себестоимость, т | | | 29221,53 |

Расходы по переделу на тонну продукции определяются на основе базовой калькуляции себестоимости.

Увеличение объема производимой продукции уменьшает удельную величину условно-постоянных расходов в расходах по переделу. В плановой калькуляции себестоимости продукции статьи расходов по переделу определяются по формуле 10.1.

$$C_{i(пл)} = C_{i(б)} \cdot (1 - d_{ус.пос}^i) + C_{i(б)} \cdot d_{ус.пос}^i \cdot \frac{1}{\gamma} \quad (10.1)$$

где $C_{i(пл)}$, $C_{i(б)}$ – затраты по i–той статье расходов по переделу в плановой и базовой калькуляциях, соответственно, руб./т;

$d_{ус.пос}^i$ – доля условно–постоянной части в i–той статье себестоимости, доли ед.

Данные условно–постоянных расходов в статьях затрат по переделу для различных металлургических производств сведены в таблицу 10.3

Таблица 10.3 –Условно–постоянные расходы в статьях затрат по переделу

| Номер | Статья затрат по переделу | Плановые затраты по переделу, руб./т | Базовые затраты по переделу, руб./т |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Основное топливо | | |
| 1.1 | Природный газ, тыс.м ³ | 4995,12 | 5550,13 |

Продолжение таблицы 10.3

| Номер | Статья затрат по переделу | Плановые затраты по переделу, руб./т | Базовые затраты по переделу, руб./т |
|-------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись |
| | | | Дат |

| | | | |
|------|--|-----------------|-----------------|
| 1.2 | Мазут, т | 10867,50 | 12075,00 |
| 2. | Энергозатраты | | |
| 2.1 | Теплоэнергия, ккал/год | 5009,13 | 5565,70 |
| 2.2. | Электроэнергия, тыс.кВт.ч | 1133,32 | 319,80 |
| 2.3 | Сжатый воздух, тыс.м ³ | 10,35 | 11,50 |
| 2.4 | Кислород технический, тыс.м ³ | 19,26 | 21,40 |
| 2.5 | Кислород технологический, тыс.м ³ | 26,73 | 29,70 |
| | Итого затрат по производству | 22061,42 | 23573,23 |
| 3 | Амортизация | 2,19 | 2,43 |
| 4 | Фонд оплаты труда | 2380,86 | 1534,29 |
| 5 | Отчисления в общественные фонды, тыс. руб. | 690,43 | 767,14 |
| 6 | Содержание основных фондов, тыс. руб. | 37,68 | 376,75 |
| 7 | Материалы на травку | 286,43 | 318,26 |
| 8 | Капитальный ремонт (1 раз в год) | 3312,41 | 2569,35 |
| 9 | Транспортные перевозки, тыс. руб. | 34,11 | 37,90 |
| 10 | Прочие расходы, тыс. руб. | 33,14 | 36,82 |
| 11 | Охрана труда, тыс. руб. | 4,82 | 5,36 |
| | Итого расходы по переделу | 6782,07 | 5648,30 |
| | Производственная себестоимость, т | 29144,88 | 29221,53 |

Норма расхода основных материалов в «базовом» периоде определяется из базовой калькуляции (таблица 10.2), а выход годного в «базовом» периоде по формуле 10.2.

$$G_{(6)} = \frac{1}{H_p} \cdot 100\%, \quad (10.2)$$

где $G_{(6)}$ – выход годного, %;

$H_p=1,089$ – норма расхода основных материалов, т/т,

$$G_{(6)} = \frac{1}{1,089} \cdot 100\% = 91\%.$$

Для определения выхода годного в плановом периоде необходимо принять величину ожидаемого изменения выхода годного X , % и рассчитать плановый показатель выхода годного по формуле 10.3,

$$G_{(пл)} = G_{(6)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta X}{100}\right) = \frac{100}{Np_{(6)}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta X}{100}\right), \quad (10.3)$$

где $G_{(пл)}$ – выход годного в плановом периоде, %;

ΔX – изменение выхода годного в результате реализации технических и технологических решений, %;

$Np_{(6)}$ – норма расхода основных материалов в базовом периоде, т/т.

Т.к. качество продукции в плановом периоде останется на прежнем уровне, то выход годного не изменится ($\Delta X=0$).

$$G_{(пл)} = \frac{100}{1,089} \cdot \left(1 + \frac{0}{100}\right) = 91\%$$

Следовательно, и норма расхода основных материалов не изменится

$Np_{(пл)}=1,089$ т/т.

Удельные расходы других материалов (добавочных, технологических, ремонтных и др.) и топлива в плановом периоде определяются по каждому материалу относительно данных базового периода. При этом, учитываются ожидаемые эффекты от реализации технических и технологических решений. Если не ожидается изменение расхода j -го материала или топлива, то его расход в плановом периоде принимается равным базовому. Если ожидается изменение расхода материала, то его расход в плановом периоде определяется относительно базового периода [22].

Расчет годовой производительности цеха в плановом периоде проводится с учетом непосредственного изменения производительности при реализации основных решений ВКР и изменения выхода годного. Объем производства в базовом периоде 1050 т.

Т.к. предлагаемый проектный вариант не предусматривает увеличение производственных мощностей печи за счет внедрения установки нагрева воздуха в печи, то расчет годового объема производства продукции осуществляется по формуле 10.4.

$$P_{год(пл)} = P_{год(6)} \cdot \frac{G_{(пл)}}{G_{(6)}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta P}{100}\right) \quad (10.4)$$

где $P_{год(пл)}$, $P_{год(6)}$ – годовой объем производства цеха в плановом и базовом периодах, соответственно, т;

ΔP – изменение производительности цеха в результате реализации основных решений, %,

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 76 |

$$P_{год(пл)} = 1050 \cdot \frac{91}{91} \cdot \left(1 + \frac{16}{100}\right) = 1218 \text{ т.}$$

Определив годовой объем производства цеха в плановом периоде необходимо оценить возможности смежных производств (согласно технологической схемы производства) по обеспечению цеха сырьем и полуфабрикатами объекта ВКР.

10.1.3 Расчет срока окупаемости проекта

После определения всех статей затрат в плановом периоде составляется плановая калькуляция себестоимости продукции и определяется плановая себестоимость продукции [22].

Определим абсолютное изменение себестоимости по формуле 10.5

$$\Delta CB_{абс.} = CB_{(пл)} - CB_{(б)}, \quad (10.5)$$

Определим относительное изменение себестоимости по формуле 10.6

$$\Delta CB_{отн.} = \frac{CB_{(пл)} - CB_{(б)}}{CB_{(б)}} \cdot 100\%. \quad (10.6)$$

где $\Delta CB_{абс.}$, $\Delta CB_{отн.}$ – абсолютное и относительное изменение себестоимости, тыс. руб./т,

$$\Delta CB_{абс.} = 29144,88 - 29221,53 = -76,65 \text{ тыс. руб./т;}$$

$$\Delta CB_{отн.} = \frac{29144,88 - 29221,53}{29221,53} \cdot 100\% = -0,0026 \text{ \%}.$$

Отрицательные значения абсолютного и относительного изменений себестоимости продукции свидетельствуют о снижении себестоимости в плановом периоде в сравнении с базовой себестоимостью.

Норма расхода основных материалов в «базовом» периоде определяется из базовой калькуляции (таблица 10.3), а выход годного в «базовом» периоде по формуле 10.7.

$$G_{(б)} = \frac{1}{Np} \cdot 100\%, \quad (10.7)$$

где $G_{(б)}$ – выход годного, %;

$Np=1,089$ – норма расхода основных материалов, т/т,

$$G_{(б)} = \frac{1}{1,089} \cdot 100\% = 91\%.$$

Для определения выхода годного в плановом периоде необходимо принять величину ожидаемого изменения выхода годного X , % и рассчитать плановый показатель выхода годного по формуле 10.8; 04.01.2018.965.09 ПЗ

$$G_{(пл)} = G_{(б)} \cdot \left(1 + \frac{\Delta X}{100}\right) = \frac{100}{Нр_{(б)}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta X}{100}\right), \quad (10.8)$$

где $G_{(пл)}$ – выход годного в плановом периоде, %;

ΔX – изменение выхода годного в результате реализации технических и технологических решений, %;

$Нр_{(б)}$ – норма расхода основных материалов в базовом периоде, т/т.

Т.к. качество продукции в плановом периоде останется на прежнем уровне, то выход годного не изменится ($\Delta X=0$).

$$G_{(пл)} = \frac{100}{1,089} \cdot \left(1 + \frac{0}{100}\right) = 91 \%$$

Следовательно, и норма расхода основных материалов не изменится

$Нр_{(пл)}=1,089$ т/т.

Удельные расходы других материалов (добавочных, технологических, ремонтных и др.) и топлива в плановом периоде определяются по каждому материалу относительно данных базового периода. При этом, учитываются ожидаемые эффекты от реализации технических и технологических решений. Если не ожидается изменение расхода j -го материала или топлива, то его расход в плановом периоде принимается равным базовому. Если ожидается изменение расхода материала, то его расход в плановом периоде определяется относительно базового периода [22].

Годовой экономический эффект от реализации технических и технологических решений определяется для планового периода в зависимости от изменения свойств производимой продукции.

Если качественные показатели продукции не изменяются, то годовой экономический эффект характеризует общую экономию годовых затрат с учетом величины капитальных вложений и определяется по формуле 10.9 [22].

$$\mathcal{E}_{год(пл)} = (СБ_{(б)} - СБ_{(пл)}) \cdot P_{год(пл)} - E_n \cdot K_d, \quad (10.9)$$

где $\mathcal{E}_{год(пл)}$ – годовой экономический эффект в плановом периоде, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, который показывает долю капитальных вложений, окупаемых за плановый период (принимается из диапазона 0,12-0,15),

$$\mathcal{E}_{год(пл)} = (29221,53 - 29144,88) \cdot 1218 - 0,13 \cdot 50075,01 = 6509,75$$

Эффективность технических и технологических решений, реализация которых требует капитальных вложений, оценивается по сроку окупаемости, который определяется в зависимости от изменения свойств производимой продукции.

Если качественные показатели продукции не изменяются, то срок окупаемости капитальных вложений определяется по формуле 10.10. [22].

$$T = \frac{K_d}{(CB_{(б)} - CB_{(пл)}) \cdot P_{год(пл)}}, \quad (10.10)$$

где T – срок окупаемости капитальных вложений, лет,

$$T = \frac{60075,01}{(29221,53 - 29144,88) \cdot 1218} = 0,64 \text{ лет.}$$

Проведенные расчеты показали, что в результате применения разработанных мероприятий и внедрения установки рекуператора наблюдается следующий экономический эффект: срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,64 года.

Таким образом, модернизация методической печи является экономически целесообразной ввиду того, что срок окупаемости не превышает принятых в настоящее время 5 лет.

10.2 SWOT – анализ вариантов проектных решений

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Проведем анализ двух вариантов: без установки рекуператора и с установкой рекуператора.

SWOT-анализ варианта без установки рекуператора приведен в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – SWOT-анализ варианта без установки рекуператора

| S: Сильные стороны | W: Слабые стороны |
|---|---|
| 1. Знакомое оборудование для персонала 2. Наличие средств на внедрение других инноваций. | 1. Устаревшее, изношенное оборудование 2. Затраты, связанные с ремонтом оборудования 3. Низкий КПД печи 4. Большой расход топлива 5. Большой угар металла |
| O: Благоприятные возможности | T: Угрозы |
| 1. Устойчивый спрос на трубную продукцию | 1. Повышение цен на энергоресурсы и на их транспортировку 2. Изменение курсов валют |

SWOT-анализ варианта с установкой рекуператора приведен в таблице 10.5

Таблица 10.5 – SWOT- анализ варианта с установкой рекуператора

| S: Сильные стороны | | | | W: Слабые стороны | |
|--------------------------------------|------|----------|---------|--|----|
| 1. Повышение КПД печи | | | | 1. Капитальные затраты | |
| 2. Снижение расхода топлива | | | | 2. Отсутствие системы | |
| 3. Снижение затрат на электроэнергию | | | | 3.04.01.2018.965.09 ПЗ материальной | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 79 |

| | |
|---|--|
| 4. Снижение расхода на огнеупорные материалы | заинтересованности работников в результате деятельности предприятия |
| 5. Снижение расхода на ежегодный капитальный ремонт | |
| О: Благоприятные возможности | Т: Угрозы |
| 1. Устойчивый спрос на трубную продукцию | 1. Рост цен на оборудование 2. Повышение цен на энергоресурсы и на их транспортировку |

Вывод: из анализа вариантов видно преобладание сильных сторон второго варианта (с установкой рекуператора), что позволяет сделать вывод о целесообразности данного проекта.

10.3 Планирование целей предприятия и проекта

10.3.1 Планирование целей предприятия в пирамиде целеполагания

Под планированием целей предприятия понимают совокупность методов и способов повышения энергоэффективности применительно к реально функционирующему объекту теплоэнергетики, с разработкой плана изменений, включающая в себя необходимые расчеты и графические элементы.

Проект повышения энергоэффективности необходим для того, чтобы создать процесс работы на сегодня на будущее, проведя стратегические изменения управляя проектом изменений.

Для осуществления деятельности предприятия необходимо формулировать качественные цели: видение и миссию.

Видение – идеальное представление о предназначении организации. Видение создает перспективу, придает смысл и значение повседневной деятельности, подвигает персонал к действию.

Миссия – описывает действия организации в настоящее время. Это основная общая цель деятельности организации, которая четко выражает причины ее существования и общественно- социальную значимость.

Все цели предприятия должны быть сформулированы по принципу SMART.

S – specific, significant, stretching - конкретная, значительная. Это означает что цель должна быть максимально конкретной и ясной. Степень ее «прозрачности» определяется однозначностью восприятия всеми. Поставленные вами цели должны быть понятными и точно выраженными. В процессе постановки целей нет места глобальным и неопределенным подходам.

M–measurable, meaningful, motivational – измеримая, значимая, мотивирующая. Цель должна быть измеримой, причем критерии измерения должны быть не только по конечному результату, но и по промежуточному. Если цель неизмерима, вы никогда не сможете узнать, достигли вы ее или нет! А персонал? они потеряют всякий интерес к работе, если не будут видеть вехи, определяющие их успех. В случае отсутствия соответствующих «измерений» вам будет очень тяжело сохранить должную мотивацию персонала.

A – attainable, agreed upon, action-oriented – достижимая, согласованная, ориентированная на конкретные действия. Необходимо адекватно оценивать

| | | |
|-------------------------------|--|----------|
| ситуацию и понимать, что | цель достижима с точки зрения внешних | Лист |
| внутренних ресурсов, которыми | располагает организация/подразделение. | |
| Изм. | Лист | № докум. |
| | | Подпись |
| | | Дат |

13.04.01.2018.965.09.ПЗ

R–realistic–реалистичная, уместная, полезная и ориентированная на конкретные результаты. Цель должна быть реалистичной и уместной в данной ситуации, должна вписываться в нее и не нарушать баланс с другими целями и приоритетами.

T – time-based, timely, trackable – наопределенный период, своевременная, отслеживаемая. Срок или точный период выполнения – одна из главных составляющих цели. Она может иметь как фиксированную дату, так и охватывать определенный период.

Цели как поезд, должны иметь время отправления, время прибытия и четко установленную продолжительность движения, равно как и выполнения.

Такое 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.

Составим пирамиду целеполагания для рассматриваемого нами предприятия ПАО «ЧТПЗ» (рисунок 10.1).

Поскольку управление является целенаправленным воздействием, то прежде чем осуществить какой-либо план, программу, определить пути и методы решения тех или иных социальных, экономических или организационных задач, необходимо сформулировать цели. Здесь и нужен инструментарий в виде определённых правил.

Целеполагание – процесс создания и формирования цели, один из важнейших элементов процесса управления.

Целеполагание происходит в единстве со средствами и в сопоставлении с достигнутыми результатами, что необходимо для переформулировки цели, её уточнения, выдвижения новых целей.

Пирамида целеполагания – мощный инструмент стратегического менеджмента. Она позволяет наглядно и доступно представить видение и миссию объекта, а так же его цели и способы, по средствам которых эти цели будут достигаться.

10.3.2 Планирование целей проекта в дереве целей

Дерево целей – это структурированный иерархический перечень целей организации, в котором цели более низкого уровня подчинены и служат для достижения целей более высокого уровня.

Дерево целей помогает организовать деятельность, направленную на достижение главной цели организации, структурировать все проводимые мероприятия.

Составим дерево целей реализации проекта по повышению энергетической эффективности установки рекуператора в трехзонной методической нагревательной печи цеха № 1.

Продуктом применения данного метода стратегического планирования должна стать логичная и простая схема управления предприятием.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 81 |

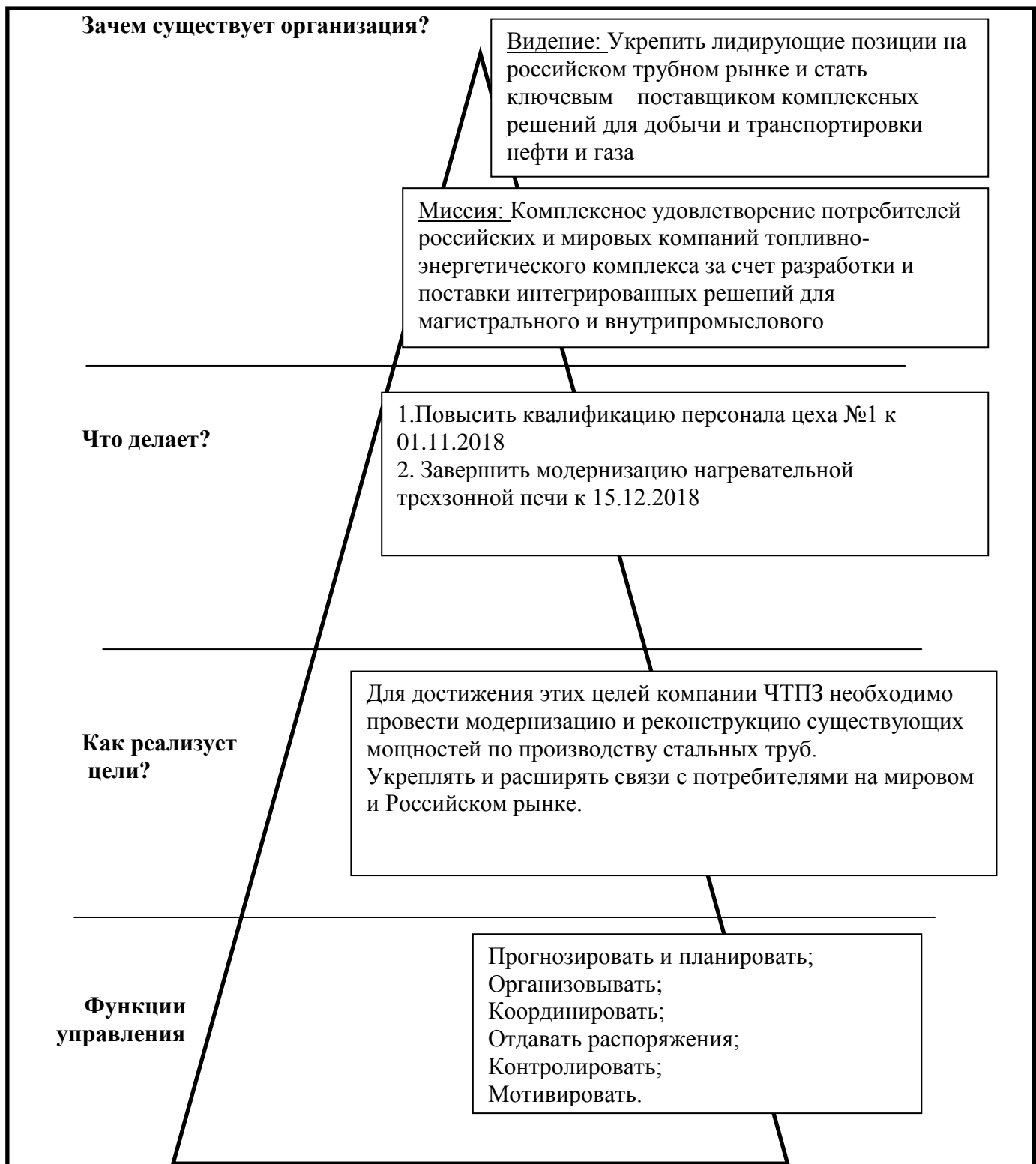


Рисунок 10.1 – Пирамида целеполагания ПАО ЧТПЗ

Дерево целей реализации проекта по повышению энергетической эффективности установки рекуператора в трехзонной методической нагревательной печи цеха № 1 представлено на рисунке 10.2.

Миссия: Комплексное удовлетворение потребителей российских и мировых компаний топливно-энергетического комплекса за счет разработки и поставки интегрированных решений для магистрального и внутрипромыслового трубопроводного транспорта

Цель проекта: Завершить модернизацию методической нагревательной трехзонной печи к 15.12.2018

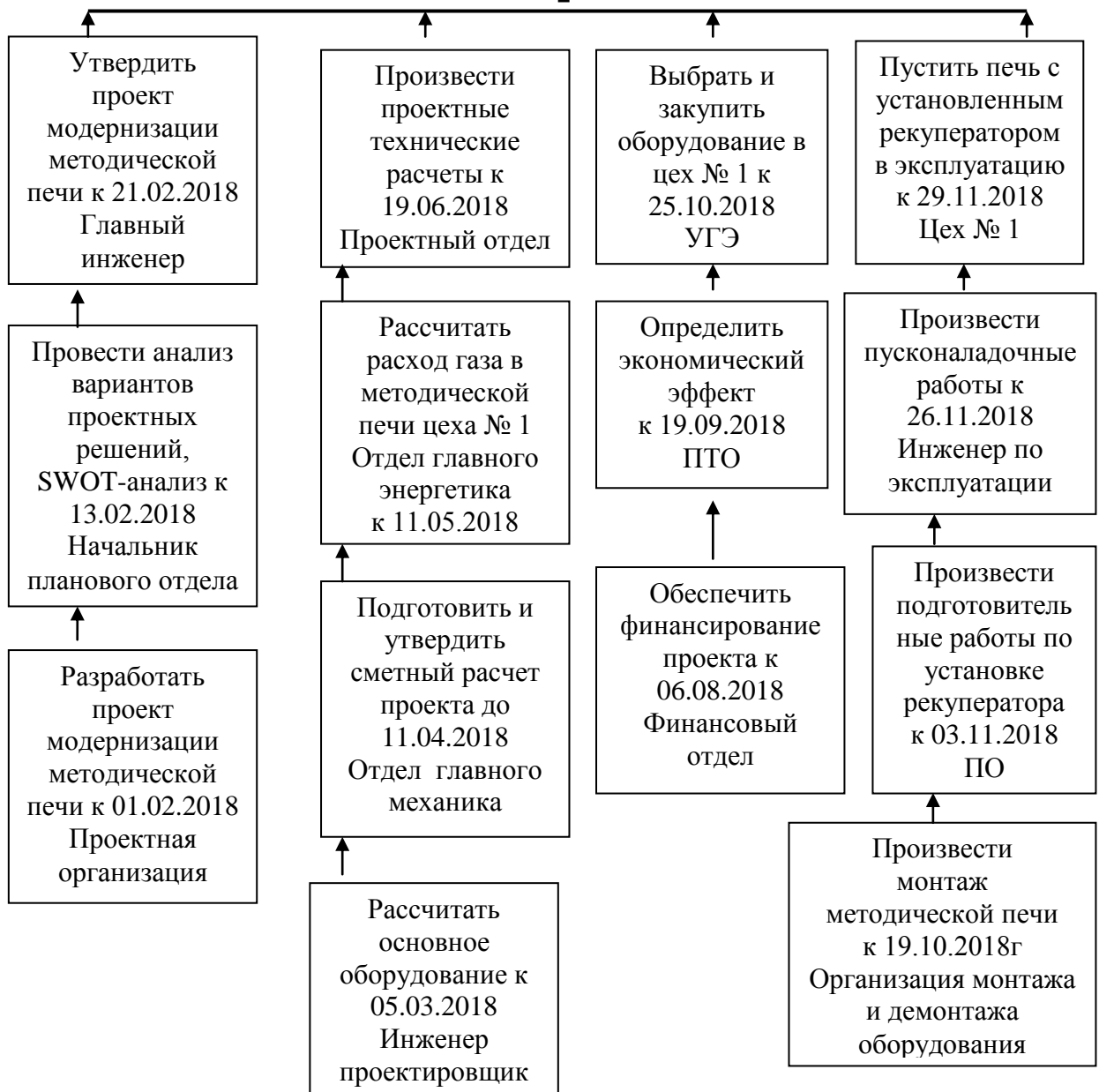


Рисунок 10.2 – Дерево целей установки рекуператора

10.3.3 Поле сил эффективности реализации проекта

Поле сил характеризует организационную надежность состояния предприятия, устойчивость и направленность его развития, которые определяются соотношением сил реализации цели и сдерживающих сил, этому препятствующих.

Движущие силы:

1. Наличие финансовых ресурсов, является сильным фактором, т.к без финансирования невозможна реконструкция.
2. Наличие квалифицированного персонала, является средним фактором, который позволит установить рекуператор в запланированный срок.
3. Широкое разнообразие оборудования на рынке, является низким фактором. Это позволит выбрать более подходящий и качественный рекуператор.

Сдерживающие силы:

4. Увеличение срока монтажа методической печи, является средним фактором, так как срок может быть больше чем запланирован.
5. Задержка поставки оборудования, является низким фактором, так как срок может быть больше чем запланирован.

На рисунке 10.3 представлено поле сил реализации проекта

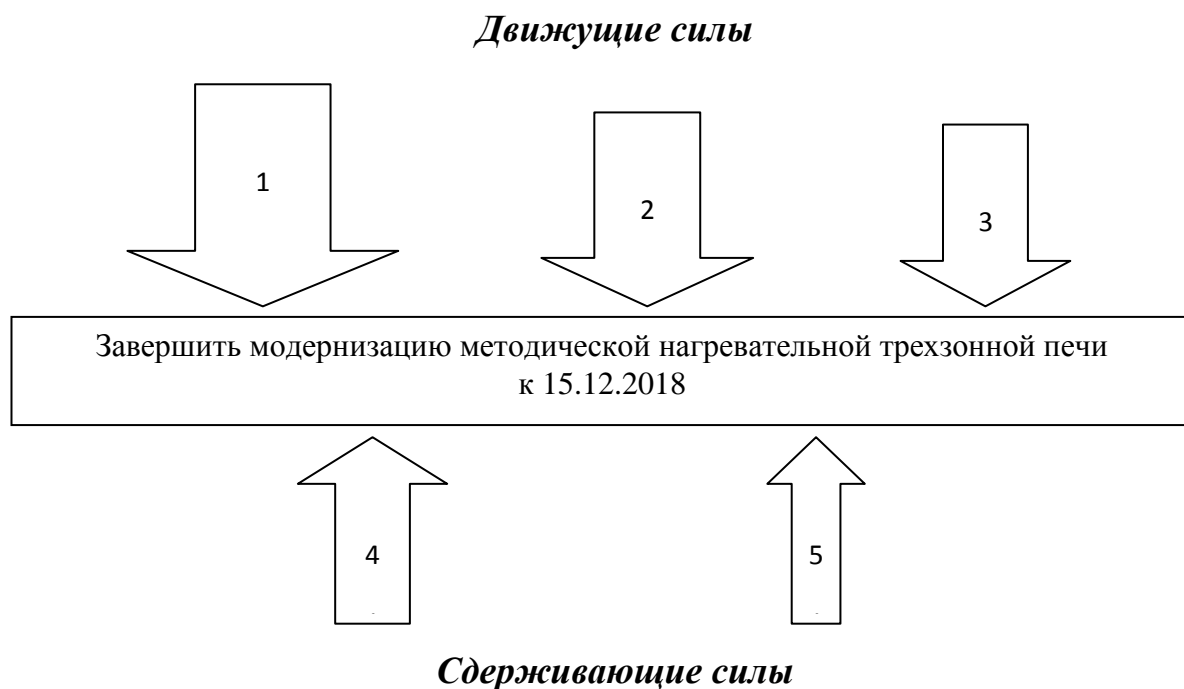


Рисунок 10.3– Поле сил Курта Левина

Вывод: Анализ поля сил показал, что на данном предприятии движущие силы преобладают над сдерживающими. Следовательно, выполнение данного проекта возможно в планируемый срок.

10.3.4 План-график Ганта по реализации целей проекта

Диаграмма Ганта – это популярный тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Является одним из методов планирования проектов. Используется в

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|--------------------------|------------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | 13.04.01.2018.985.09 113 | Лист 84 |
|------|------|----------|---------|-----|--------------------------|------------|

приложениях по управлению проектами. В настоящее время диаграмма Ганта является стандартом де-факто в теории и практике управления проектами, по крайней мере, для отображения структуры перечня работ по проекту.

План-график Ганта по реализации проекта указан в таблице 10.6.

Таблица 10.6 – План-график Ганта по реализации целей проекта

| Наименование этапа | Исполнитель | 2018 год | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Разработка проекта модернизации методической печи | Главный инженер | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Проведение анализа вариантов проектных решений, SWOT-анализ | Начальник планового отдела | | ■ | | | | | | | | | | |
| Утверждение проекта модернизации методической печи | Проектная организация | | ■ | | | | | | | | | | |
| Расчет основного оборудования | Инженер проектировщик | | | ■ | | | | | | | | | |
| Подготовка и утверждение сметного расчета проекта | Отдел главного механика | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| Расчет расхода газа в методической печи цеха № 1 | Отдел главного энергетика | | | | | ■ | | | | | | | |
| Проектные технические расчеты | Проектный отдел | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| Финансирование проекта | Финансовый отдел | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| Определение экономического эффекта | ПТО | | | | | ■ | ■ | | | | | | |

Продолжение таблицы 10.6

| Наименование этапа | Исполнитель | 2018 год | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Выбор и закуп оборудования | УГЭ | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| Монтаж методической печи | Организация монтажа и демонтажа оборудования | | | | | | | | | | ■ | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| рекуператора | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пусконаладочные работы | Инженер по эксплуатации | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Запуск печи с установленным рекуператором в эксплуатацию | Цех №1 | | | | | | | | | | | | | | | | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нагревательные и термические печи металлургической и машиностроительной промышленности являются одними из основных потребителей топлива в стране, причем в них, как правило, расходуют наиболее ценные сорта топлива: мазут и газ.

Во всем мире энергосбережение является сегодня стратегической задачей государственного масштаба. На многих предприятиях имеют место значительные энергетические потери за счет недостаточного использования теплоты в технологических процессах. В том числе, теплота газа, нагретого в процессе того или иного производства, либо используется не эффективно, либо не используется вообще, и нагретый газ выбрасывается в атмосферу. Это приводит к большим энергетическим потерям в объемах предприятия, страны, мира, а также определяет различные проблемы экологического характера. Особенно это характерно для высокотемпературных производств (до 1000 °С и более), т. е. именно там, где энергетические потери наиболее велики. Решением данной проблемы является рекуперация теплоты уходящих газов[3].

Преимуществом рекуперации является экономия энергии и сырья, и как следствие, экономия средств на эксплуатацию технологического оборудования и проведения технологического процесса.

Сравнение кольцевой нагревательной печи ОАО «БМЗ» и методической нагревательной печи ПАО «ЧТПЗ» показало, что методическая печь имеет производительность выше, но расход газа в 2 раза больше чем у кольцевой.

В процессе работы оборудования выделяются следующие загрязняющие вещества: пыль неорганическая до 20 %SiO₂, углерода оксид, железа оксид, азота диоксид, марганец и его соединения, алюминия оксид, магния оксид, фториды плохо растворимые, кислота серная, пыль абразивная и др.

В работе предусмотрена установка металлического рекуператора в методической нагревательной печи. В результате установки рекуператора уменьшаются потери тепла, повышается коэффициент полезного действия печи, снижается расход топлива в результате чего получаем экономию текущих затрат.

Проведенные расчеты показали, что в результате применения разработанных мероприятий и внедрения установки рекуператора наблюдается следующий экономический эффект: срок окупаемости капитальных вложений составляет 6 месяцев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | Лист |
|------|------|----------|---------|-------------------------|------|
| | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | 87 |

2 Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: учеб. пособие - М.: МЭИ, 2006. - 159 с.

3 Бельский В.И., Сергеев Б.В. Промышленные печи и трубы. Изд. 2-е, испр. И доп. М., Стройиздат, 1974. 301 с.

4 Герман, М. Л. Определение температурных напряжений при нагреве стальных заготовок с использованием метода конечных элементов / М. Л. Герман, С. В. Корнеев, И. В. Файн // *Металлургия*. – Вып. 29. – 2005. – С. 59–67.

5 Герман, М. Л. Численный метод расчета переноса излучения в двухфазных

6 средах сложной геометрии / М. Л. Герман, В. П. Некрасов, Е. Ф. Ноготов // *Докл. АН Беларуси*. – 1996. – Т. 40, № 3. – С. 122–126.

7 Григорьев В.А., В.М.Зорин. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник / А.М. Бакластов, В.М. Бродянский, Б.П.Голубев, В.А. Григорьев, В.М. Зорин: - М.: Энергоатомиздат, 1983.-552 с.

8 Губинский В.И. *Металлургические печи: Учеб. Пособие.* – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. - 85с.

9 Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е. Методики расчета нагревательных и термических печей: Учебно-справочное издание. – М.: Теплотехник, 2004. – 400с.

10 Гуцин С.Н, Казяев М.Д., Крючков Ю.В., Кутин В.Б., Лобанов В.И., Ярошенко Ю.Г. Теория и практика теплогенерации: учебник. Изд 2-е. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 379 с.

11 Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Печи и сушила литейного производства. — М.: Машиностроение, 1990. — 303 с.

12 Кириллин В.А. Техническая термодинамика: учебник / В.А. Кириллин, В.В.Сычев, А.Е. Шейндлин.-М.: Энергоатомиздат, 1983.-416с.

13 Кривандин В.А, Белоусов В.В, Сборщиков Г.С. и др. Теплотехника металлургического производства. Т.2. Конструкция и работа печей: Учебное пособие для вузов. – М.: МИСИС, 2001. – 736 с.

14 Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. — М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003.— 528с.

15 Кузнецова Н.В., Митора В.В., “Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод” издание третье переработанное, Москва 1998. – 256 с.

16 Невский А.С. Лучистый теплообмен в печах и топках.– М.: *Металлургия*, 1971.– 440с.

17 Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. - М.: Энергия, 1980. - 424 с.

18 Сазанов Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учеб. пособие для вузов/ Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. М.: Издательский дом МЭИ. 2004. – 275 с.

19 Тимошпольский, В. И. Кольцевые печи: теория и расчеты / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, М. Я. Пекарский. – Минск: Вышэйш. шк., 1993. – 246 с.

20 Тимошпольский, В. И. Теоретические основы тепловой обработки стали в трубопрокатном производстве / В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович. –

Минск: Белорусская наука, 2005. – 303 с.

13.04.01.2018.965.09 ПЗ

Лист

Изм. Лист № докум. Подпись Дат

88

21 Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. – М.: Металлургия, 1975. – 296 с.

22 Черномуров Ф.М., В.П. Ануфриев, Л.М. Теслюк. Энерго-и ресурсосбережение в нефтегазохимическом комплексе. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург. 2014.

23 Общая металлургия. Учебник для вузов. М., Издательство «Металлургия», 2001.

24 Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополненное и переработанное, Казанцев Е.И. М., «Металлургия». 1975. 368 с.

25 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению : методические указания/сост. С.А. Богатенков, П.П. Перезвеньев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

26 Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн./ под общ.ред. член-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

27 Энергосберегающие технологии в промышленности: Учебное пособие / А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев и др. - 2 изд. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 272 с.

28 <http://lotosh.1gb.ru/fopp/txt/secondenerg.pdf>

29 <http://kondor-eco.com/download/OGE.pdf>

30 http://rsatom.ru/energo_res/elektrores21.htm

31 <http://gardenweb.ru/kotly-utilizatory>

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|-----|-------------------------|------|
| | | | | | 13.04.01.2018.965.09 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дат | | 89 |