МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Заочный факультет
Кафедра промышленной теплоэнергетики
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,
главный специалист ЛПТ ОАО «ЧЭМК»
_____ И.И. Ларина
«_____» _____2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
«_____» _____2017 г.

М.П.

ПЕРЕВОД ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА №5 ОАО «ЧЭМК» НА СЖИГАНИЕ СМЕСИ ГАЗОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ–13.03.01.2017.051.06 ПЗ ВКР

Консультант
по разделу «Экономика и управление»,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«_____» _____2017 г.

Руководитель,
к.т.н., доцент
_____ С.В.Пашнин
«_____» _____2017 г.

Нормоконтролер,
старший преподаватель
_____ Р.А. Алабугина
«_____» _____2017 г.

Автор работы,
студент группы ПЗ–580с
_____ А.В. Пестриков
«_____» _____2017 г.

.

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Пестриков А.В. Перевод вращающейся печи обжига известняка №5 ОАО «ЧЭМК» на сжигание смеси газов с целью повышения энергоэффективности производства. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ - 580с; 2017, 80 с., 6 ил., библиогр. список – 45 наименований, 6 листов чертежей ф. А1

В выпускной квалификационной работы (ВКР) бакалавра предложен вариант перевода вращающейся печи для обжига известняка на сжигание смеси ферросплавного и природного газов. Целью ВКР является разработка технического решения, позволяющего использовать ВЭР.

Пояснительная записка содержит разделы, в которых выполнены расчеты горения топлива, рассчитаны материальный и тепловой балансы вращающейся печи.

Рассмотрены схемы автоматизации и управления вращающейся печью. При выполнении работы проведены анализы основных направлений энергосбережения, вопросов безопасности жизнедеятельности, экономической эффективности проекта и его влияния на окружающую среду в плане экологии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……. 6

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕВОДА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА №5 ОАО «ЧЭМК» НА СЖИГАНИЕ СМЕСИ ГАЗОВ ……..... 8
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ …… 10
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ……..… 12
4 РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО И ФЕРРОСПЛАВНОГО ГАЗОВ.... 16
4.1 Теплотворная способность газов ……... 16
4.2 Расчет горения природного газа …..……..... 16
4.3 Расчет горения ферросплавного газа ……..... 18
5 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ №5 ПРИ РАБОТЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ ……... 22
5.1 Исходные данные …….…… 22
5.2 Приходные статьи ……...…… 22
5.3 Расход воздуха на горение газа ……... 23
5.4 Расход известняка …… 24
5.5 Пылеунос …….. 25
5.6 Расходные статьи …….. 26
5.7 Выход отходящих газов из топлива ……... 26
6 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ …….. 29
6.1 Приход тепла …… 29
6.2 Расход тепла …….. 30
7 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ №5 ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСИ ГАЗОВ ……... 33
7.1 Приходные статьи …… 33
7.2 Расходные статьи …… 37
7.3 Выход отходящих газов из топлива ……... 37
8 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСИ ГАЗОВ …..... 41
8.1 Приход тепла …… 41
8.2 Расход тепла …….. 42
9 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ …….…… 44
9.1 Мероприятия по снижению тепловых потерь печи №5 ……... 45
9.2 Расчет эффективности использования теплоизоляционного слоя …… 46
10 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ …….. 48
11 АВТОМАТИЗАЦИЯ …… 55
11.1 Основные принципы регулятора теплового режима ……... 57
11.2 Логика работы регулятора ……. 59

11.3 Структура схемы …… 60
12 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ……..... 62
12.1 Планирование сметы капитальных и текущих затрат на перевод вращающейся печи №5 ОАО «ЧЭМК» ……..... 62
12.1.1 Расчет капитальных затрат на перевод ……..... 62
12.1.2 Калькуляция текущих затрат на обслуживание печи №5 ОАО «ЧЭМК» …….. 64
12.2 Экономическая выгода проекта ……... 67
12.3 SWOT-анализ для реализации проекта перевод ……..... 68
12.4 Планирование целей предприятия и проекта ……... 69
12.5 Оценка движущихся и сдерживающихся сил и ресурсов ……..... 70
13 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ……... 72
13.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов …… 72

ЗАКЛЮЧЕНИЕ …… 76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ……. 77

ВВЕДЕНИЕ

ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» введен в эксплуатацию в 1929 году, является крупнейшим производителем ферросплавов в России (80% рынка ферросплавов). Завод состоит из 6 основных (плавильных) и большого количества вспомогательных цехов.

Ассортимент выпускаемой продукции включает в себя более 120 наименований ферросплавов и лигатур, более 40 изделий электродного производства. Продукция цехов и участков по переработке отходов основного производства находит широкое применение в лакокрасочной и резинотехнической промышленности, в дорожном, промышленном и жилищном строительстве, в сельском хозяйстве.

На заводе постоянно уделялось большое внимание совершенствования технологических процессов, сокращению образующихся промышленных отходов и выбросов, максимальной их утилизации, созданию и внедрению новых технологий, которые позволяют использовать вторичное сырье и энергоресурсы в условиях завода и в смежных отраслях промышленности, а также обеспечивают эффективную защиту водного и воздушного бассейнов.

В процессе углетермического восстановления кремния в закрытых электропечах образуется отходящий газ, в основном состоящий из окиси углерода, образующийся газ отправляется на мокрую газоочистку, состоящую из наклонного газохода, шламоотделителя, трубы Вентури, каплеуловителя. Газ, проходя газоочистные аппараты, очищается от пыли.

Ферросплавный газ относится к группе газов с высокой температурой горения, составляющей 2230 - 2240 С.

Ранее проектной технологией предусматривалось сжигание газа на свечах. ОАО "ЧЭМК" одним из первых среди родственных предприятий начал использование ферросплавного газа во вращающихся печах для обжига известняка взамен природного.

Обжиговые печи служат для высокотемпературной обработки сыпучих материалов и отдельных предметов. В таких устройствах обжигают известняк, магнезит, доломит, руду, керамику, огнеупорный кирпич, окрашенные изделия и т. д. По конструкции обжиговые печи подразделяются на вращающиеся, шахтные, тоннельные, камерные и др. Ниже разберем вращающуюся печь для производства извести [24].

Технологический процесс производства извести делится на 3 этап:

1. Нагрев известняка до температуры декарбонизации;

2. Выдержка при температуре декарбонизации с целью протекания реакции декарбонизации в каждом куске известняка полностью;

3. Охлаждение извести до температуры транспортировки.

Продукты горения идут навстречу движению известняка (противоток) и отдают ему свое тепло. При этом дымовые газы горячее известняка на 200 – 300°С. Проходя через всю длину барабана, известняк становится известью, которая выгружается через разгрузочную течку, находящуюся в блоке горячей головки.

Готовая известь уносит с собой до 15% теплоты из печи. Путем теплообменного процесса часть тепловой энергии можно вернуть в печь. Для этого известь охлаждают воздухом, который, в свою очередь, нагревается [45].

В зависимости от длины печи и качества топлива удельный расход тепла при обжиге известняка составляет 1800–2200 ккал на 1 кг извести и 2900–3300 ккал на 1 кг при обжиге известкового шлама.

К преимуществам вращающихся печей относятся:

– полная механизация работ;

– равномерность обжига и однородность зернового состава извести;

– возможность применения разнообразных видов топлива и обжига рыхлых и высоковлажных пород известняка.

К недостаткам вращающихся печей относятся:

– большой удельный расход топлива;

– значительный унос из печи и из холодильника пыли, для улавливания которой требуется большой объем пылеотстойных камер;

– загрязнение извести золой при применении пылевидного топлива.

Несмотря на указанные недостатки, в таких странах, как в США, в последнее время новые предприятия известковой промышленности строятся с вращающимися печами, работающими на газе [28, 40].

1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕВОДА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА №5 ОАО «ЧЭМК» НА СЖИГАНИЕ СМЕСИ ГАЗОВ

Вращающейся печь №5 представляет собой металлический барабан с внутренним диаметром 2,7 м, длиной 65,6 м, имеющий уклон по отношению к горизонту 4 градуса. Внутри барабан футерован огнеупорным кирпичом. Толщина шамотной футеровки 230 мм.

С помощью бандажей, одетых на корпус печи, барабан опирается на роликовые опоры, установленные на отдельных фундаментах.

На консоли нижнего конца корпуса печи, называемого «горячим» укреплен рекуперативный холодильник, состоящий из 12 рекуператоров, представляющие собой трубы длиной 4,7 м и диаметром 0,878 м.

Краткая техническая характеристика вращающейся печи №5 приведена в таблице 1.1 [27].

Таблица 1.1 – Характеристика вращающейся печи №5

Обозначение	Единицы измерений	Параметры
Производительность печи	т/час	8,85
Вид топлива	–	природный газ
Тип горелки	–	комбинированная
Расход газа	$м^3$/кг	0,26
Фракционный состав материала	мм	20÷50
Огнеупорный материал	–	Шамотный и хромомагнезитовый кирпич

Проект предлагает перевод печи №5 на сжигание смеси газов: природного и ферросплавного. В результате перевода уменьшится расход природного газа. Для этого необходимо заменить существующую горелку на ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа.

Ферросплавный газ будет подаваться через трубу, установленную концентрично вокруг горелки ГВП-1, через которую подается природный газ (снаружи газовой трубы подается воздух нагнетаемый вентилятором). Дутьевой вентилятор с производительностью до 10000 $нм^3$/час воздуха. Остальная часть воздуха инжектируется из окружающей среды.

Вторичный воздух, поступающий в печь для сжигания топлива, проходит через рекуператоры, нагревается, при этом охлаждая известь до 150 – 270 °С.

С целью форсирования тягового режима печи разрежение в ПК необходимо увеличить с 8 – 10 кгс/м^2 до10 – 12 кгс/м^2. Для улучшения аэродинамических характеристик факела стабилизируется давление природного и колошникового газов. Давление природного газа перед горелкой подняли до 1,2 атм. С переходом на отопление ферросплавным газом в смеси с природным появилась необходимость в увеличении подачи первичного воздуха в зону горения. При работе на одном природном газе расход первичного воздуха составлял 4000-5000 нм^3/час. В связи с тем, что инжектирующее действие струи ферросплавного газа меньше, чем у природного, при переводе на ферросплавный газ данного количества воздуха было недостаточно. Оптимальный расход первичного воздуха, при сжигании 4000-6000 нм^3/час ферросплавного газа установили в пределах 5500-6500 нм^3/час [26].

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях, нормативно-законодательные акты.

Основным источником для проектирования является Отчет ОАО «ЧЭМК» «Теплотехническое обследование обжиговых вращающихся печей цеха обжига известняка» (1979 г.). В данном документе содержится информация о конструктивных особенностях вращающихся печах для обжига известняка, технологический процесс, методика проведения балансового испытания, гранулометрический состав известняка, производительность и тепловые балансы печей.

Далее используемую литературу представим в нескольких разделах в соответствии с главами пояснительной записки:

1. Расчет горения топлива, расчет материального и теплового балансов при работе на природном газе и на смеси ферросплавного и природного газов:

1.1 Отчет ОАО «ЧЭМК» «Освоение обжига известняка на ВОП-5» (1986 г.) – технические характеристики и принцип работы вращающейся печи №5;

1.2 Сборник трудов ОАО «ЧЭМК» Гусаров В.Н. (1971 г.) – исследование теплового баланса вращающихся печей;

1.3 «Производство извести» Монастырев А.В. – горение топлива во вращающихся печах для производства известняка.

2. Энергосбережение – указаны виды, методы, мероприятия энергосберегающих технологий вращающейся печи, а также их фактическое применение:

2.1 «Промышленные печи и газовое хозяйство заводов» Щукин А.А. – тепловые процессы в печах, а также методы снижения тепловых потерь;

2.2 «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях» Бельский А.П., Лакомкин В.Ю. – расчеты эффективного теплоизоляционного слоя тепловых энергоустановок.

3. Вопросы экологии – расчет концентрации загрязняющих веществ, расчет выбросов окислов азота, расчет дымовой трубы, теоретическая база уменьшения вредных экологических факторов, их подавления и измерения в соответствии с ПДК, методы оценки и др.:

3.1 «Методические основы природоохранной деятельности ТЭС» Шульман В.Л. – методы снижения негативного экологического воздействия;

3.2 «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива производительностью менее 30 Гкал/ч» – расчет

и выбор дымовой трубы;

3.3 «Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология» Лисиенко В.Г., Щелоков А.М – характеристики дымовых газов вращающихся печей.

4. КИПиА – отражены принципы составления и функционирования схем автоматики, правила составления, преимущества и недостатки автоматизированных систем управления:

4.1 «Проектирование, монтаж и эксплуатация автоматизрованных систем управления теплоэнергетическими процессами» Плетнев Г.П., Зайченко Ю.П. – принципы и структура функционирования АСУ ТП;

4.2 ГОСТ 21.404-85 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» – правила и нормы для регулирования и управления технологическими процессами.

5. Экономика на теплоэнергетических предприятиях – приведены методы оценки эффективности и экономической целесообразности проекта:

5.1 «Производственный менеджмент в энергетике предприятия» Алабугин А.А., Алабугина Р.А. – расчет экономической эффективности, а также планирование реализации проекта реконструкции.

6. Безопасность жизнедеятельности – раскрыты факторы рабочей среды на предприятиях энергетической отрасли, стандарты измерения и допустимые величины факторов; действия персонала при возникновении аварийных ситуаций и их предупреждении:

6.1 «Безопасность жизнедеятельности» Бориков С.И., Киселева Л.М. – факторы рабочей среды на производстве;

6.3 ГОСТ 12.13130-2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружный установок по взрывопожарной и пожарной опасности» – идентификация помещений по категориям опасности.

Рассмотренного списка литературных источников должно хватить для написания данного дипломного проекта. Но допускается его расширить при отсутствии необходимых материалов. Итоговый библиографический список будет указан в конце проекта.

3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

Обязательной частью выпускного квалификационного проекта является сравнение оборудования с зарубежными аналогами. Сравним горелку газовую вихревую печную ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа (черт. № 04-857.00.00 С) производства Уралэнергочермет с горелкой Cib Unigas серии URB 30 аналогичной мощности.

Горелка ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа разработана и предназначена специально для совместного сжигания природного и ферросплавного газов в обжиговых вращающихся печах. Горелка представлена на рисунке 3.1 и состоит из корпуса 1, заканчивающегося смесителем 2, трубы ферросплавного газа 3 с диффузором 4, заканчивающимся соплами ферросплавного газа 7 и трубы природного газа 6 с соплами природного газа 7, завихрителем 8 и дросселем-сердечником конической формы 9. Завихритель 8 и дроссель-сердечник 9 соединены с тягами.

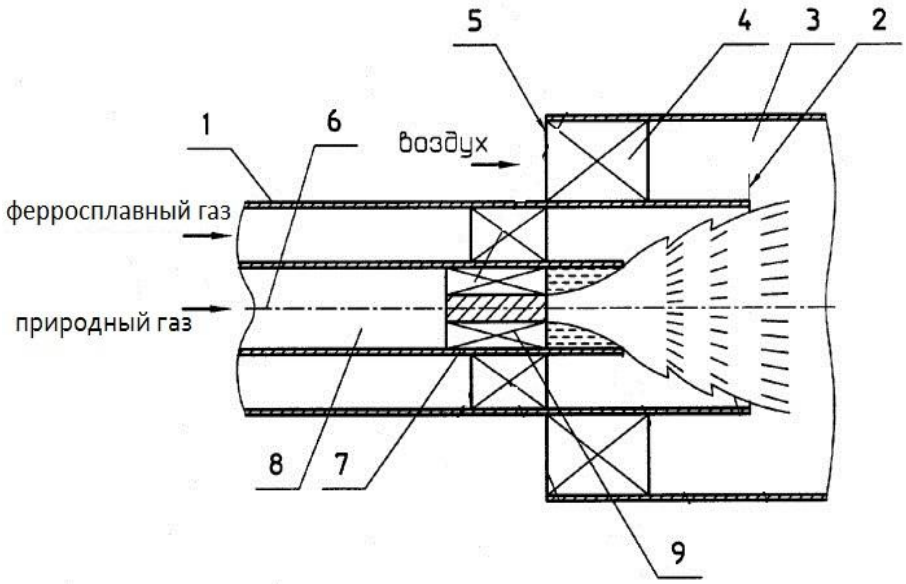

Рисунок 3.1 – Общий вид горелки ГВП-1

Природный газ подается по трубе 6 и через сопло 7 истекает в смеситель 2, где смешивается с воздухом горения. Далее газовоздушная смесь истекает в рабочее пространство печи, где смешивается с ферросплавным газом, поступающим туда же через сопла ферросплавного газа 5. Конструкция горелки позволяет плавно менять режимы в диапозоне от длинного до короткого факела, что обеспечивается изменением положения завихрителя 8 и дросселя-сердечника 9 [35].

Представим технические характеристики горелки ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики горелки ГВП-1

Наименование	Единицы измерения	Значения показателей		
		Нормир.	Режим длинного факела	Режим короткого факела
Номинальная мощность	МВт	23,2	23,2	23,2
Номинальный расход природного газа	$м^3/ч$	400–1300	1000	1000
Номинальный расход ферросплавного газа	$м^3/ч$	3500–6500	4500	4500
Номинальный расход воздуха	$м^3/ч$	не более 6500	5000	5000
Номинальное давление природного газа	кПа	не более 130	72	72
Номинальное давление ферросплавного газа	кПа	не более 3,0	1,36	1,36
Номинальное давление воздуха	кПа	не более 6,0	3,8	3,8
Масса горелки	кг	1205		

Данная горелка ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа специально разработана для вращающихся печей для сжигания смеси газа.

Рассмотрим зарубежный аналог: горелку Cib Unigas серии URB 30 Итальянского производства. Данные горелки разработаны для тех случаев, когда моноблочные горелки плохо подходят или совсем не подходят для определенных систем. Например, в тех случаях, когда топочная мощность требует применения вентиляторов очень большого размера или при наличии подогревателей воздуха горения, или же, когда есть необходимость вынести основной источник шума в звукоизолированную зону. Промышленные горелки были разработаны для получения максимальной гибкости, с целью достижения конечных целей, к которым

стремится клиент, с выполнением, при этом, наиболее разнообразных специфических технических требований. Например, возможно поставлять горелки с отдельно стоящим вентилятором с подачей воздуха сверху или снизу топки, с осевым или касательным направлением воздушного потока, с регистром для регулирования турболентности и т.д. Благодаря вышеперечисленным возможностям, можно изготовить горелку под индивидуальные требования, с соблюдением определенных размеров и эксплуатационных качеств, которые в промышленном применении очень часто сильно отличаются друг от друга.

Естественно, все горелки с отдельным вентилятором, имеются в исполнении для работы на газообразном топливе или в комбинированном газообразном исполнении.

Кроме того, комплектация дополнительным оборудованием при каждой поставке отличается, в зависимости от нижеследующих требований:

– электрощит встроенный или отдельно стоящий (настенный или в виде пюпитра);
– регулирование механическое или электронное;
– контроль содержания кислорода;
– рециркуляция уходящих газов;
– воздух горения, подогретый до 200°С;
– топливно-насосная группа для подачи жидкого топлива;
– группа подогрева жидкого топлива;

На рисунке 3.2 представлен общий вид горелки Cib Unigas серии URB 30.

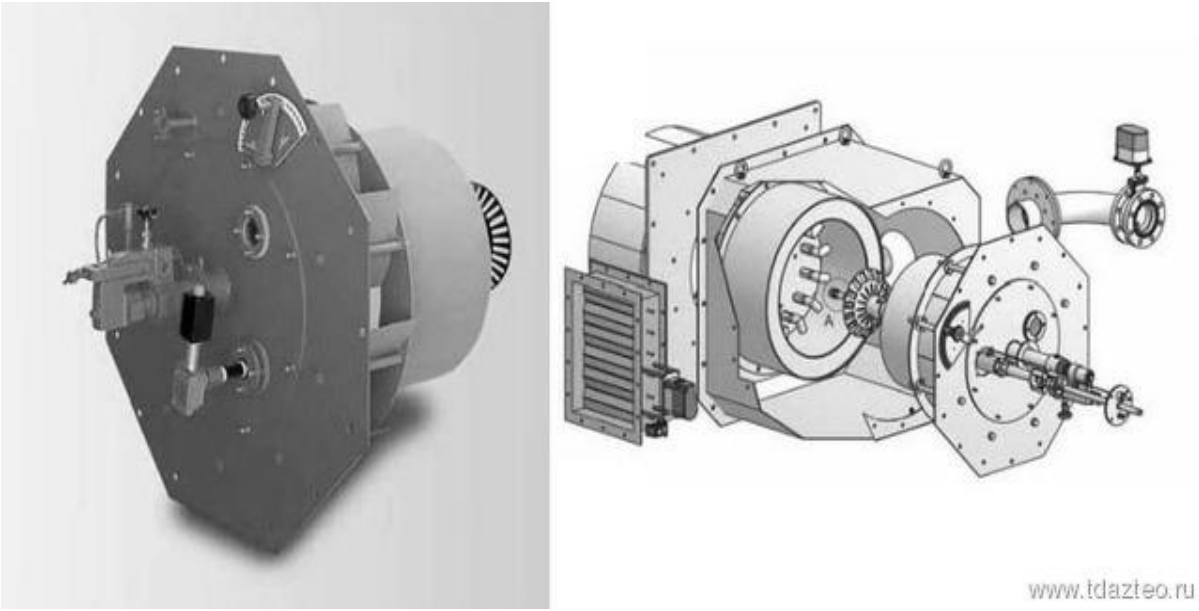

Рисунок 3.2 – Горелка Cib Unigas URB 30

В таблице 3.2 приведены основные характеристики горелки Cib Unigas серии URB 30 [43].

Таблица 3.2 – Технические характеристики горелки Cib Unigas URB 30

Наименование	Единицы измерения	Показатель
Номинальная мощность	МВт	20,0
Номинальный расход природного газа	$м^3/ч$	1500
Номинальный расход ферросплавного газа	$м^3/ч$	2000
Номинальный расход воздуха	$м^3/ч$	не более 7000
Масса горелки	кг	560

Сравнивая выбранную горелку ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа с зарубежным аналогом Cib Unigas URB 30, можно сделать вывод, что несмотря на большой ряд преимуществ зарубежных горелок по сравнению с горелками российского производства, существует очень важное преимущество российской горелки: данная горелка, более мощная (превышает в 1,16 раза), специально разработана для конкретной ВОП-5 ОАО «ЧЭМК», а итальянские горелки не имеют регулирования режима факела, что существенно снижает ее эффективность для применения к данной печи; стоимость горелки Cib Unigas URB 30 составляет 784500 рублей, это существенно дороже стоимости ГВП-1, произведенные на Уралэнергочермет (321000 рублей). Одним из важных аспектом для выбора оборудования. Так как горелки ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа значительно дешевле иностранных аналогов, то и капитальные затраты на реконструкцию печи ниже, а, следовательно, применение выбранной горелки уменьшит срок окупаемости данного проекта.

На ОАО «ЧЭМК» существует программа поддержки и выбора оборудования отечественного производства, что является причиной выбора горелки ГВП-1 со струйным подводом ферросплавного газа.

4 РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО И ФЕРРОСПЛАВНОГО ГАЗОВ

Топливом для производства извести во вращающихся печах является природный и ферросплавный газы, имеющие характеристики, указанные в таблице 4.1 [19, 30, 31].

Таблица 4.1 – Состав газов, % по объему:

Природного:						
CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	N_2	CO_2	∑
94,16	2,49	0,38	0,24	2,6	0,13	100
Ферросплавного:						
CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	∑
3,4	0,4	83,8	6,2	0,2	6,0	100

4.1 Теплотворная способность газов:

а) природного $Q_н^р = 8200$ ккал/нм^3

б) ферросплавного $Q_н^р = 2700$ ккал/нм^3

4.2 Расчет горения природного газа.

Теоретически необходимый расход O_2 (4.1):

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot CH_4 + 3,5 \cdot C_2H_6 + 5 \cdot C_3H_8 + 6,5 \cdot C_4H_{10}\right) \quad (4.1)$$

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot 94,16 + 3,5 \cdot 2,49 + 5 \cdot 0,38 + 6,5 \cdot 0,24\right) = 2,005 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Теоретически необходимый расход воздуха (4.2):

$$L_в = \left(1 + \kappa\right) \cdot V_{O_2} \quad (4.2)$$

где κ – отношение объемных содержаний азота и кислорода в дутье

$$L_в = \left(1 + 3,76\right) \cdot 2,005 = 9,544 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем CO_2 в продуктах сгорания (4.3):

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot \left(CO_2 + CH_4 + 2 \cdot C_2H_6 + 3 \cdot C_3H_8 + 4 \cdot C_4H_{10} \right) \quad (4.3)$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot \left(0,13 + 94,16 + 2 \cdot 2,49 + 3 \cdot 0,38 + 4 \cdot 0,24 \right) = 1,014 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем N_2 в продуктах сгорания (4.4):

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_в + 0,01 \cdot N_2 \quad (4.4)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 9,544 + 0,01 \cdot 2,6 = 7,566 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем сухих продуктов полного сгорания (4.5):

$$V_{с.г} = V_{CO_2} + V_{N_2} \quad (4.5)$$

$$V_{с.г} = 1,01 + 7,566 = 8,576 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем водяных паров в продуктах полного сгорания (4.6):

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot CH_4 + 3 \cdot C_2H_6 + 4 \cdot C_3H_8 + 5 \cdot C_4H_{10} \right) + 0,016 \cdot L_в \quad (4.6)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot 94,16 + 3 \cdot 2,49 + 4 \cdot 0,38 + 5 \cdot 0,24 \right) + 0,016 \cdot 9,544 = 2,138 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Общее количество продуктов сгорания (4.7):

$$V_{\Sigma} = V_{с.г} + V_{H_2O} \quad (4.7)$$

$$V_{\Sigma} = 8,576 + 2,138 = 10,714 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Состав продуктов сгорания с теоретически необходимым количеством воздуха при α=1,0 (4.8):

$$CO_2 = \frac{V_i}{V_{\Sigma}} \cdot 100 \quad (4.8)$$

$$CO_2 = \frac{1,01}{10,714} \cdot 100 = 9,427\ \%$$

$$H_2O = \frac{2,138}{10,714} \cdot 100 = 19,955\ \%$$

$$N_2 = \frac{7,566}{10,714} \cdot 100 = 70,618$$

при α=1,05 (4.9):

$$V_в = (\alpha - 1) \cdot L_в + L_в \tag{4.9}$$

$$V_в = (1,05 - 1) \cdot 9,544 + 9,544 = 10,02\ м^3/м^3$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 10,02 + 0,01 \cdot 2,6 = 7,942\ м^3/м^3$$

$$V_{H_2O} = 2,138 + (1,05 - 1) \cdot 0,016 \cdot 10,02 = 2,145\ м^3/м^3$$

$$V_{\Sigma} = 8,958 + 2,145 = 11,097\ м^3/м^3$$

4.3 Расчет горения ферросплавного газа [33]

Ферросплавный газ является вторичным энергетическим ресурсом, вырабатываемым закрытыми руднотермическими печами и существенно отличается по своему составу и теплотехническим свойствам от природного газа.

Теоретически необходимый расход O_2 (4.10):

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot (0,5 \cdot H_2 + 0,5 \cdot CO + 2 \cdot CH_4 - H_2) \tag{4.10}$$

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot (0,5 \cdot 6,2 + 0,5 \cdot 83,8 + 2 \cdot 0,2 - 0,4) = 0,450\ м^3/м^3$$

Теоретически необходимый расход воздуха:

$$L_в = (1 + 3,76) \cdot 0,450 = 2,142\ м^3/м^3$$

Объем CO_2 в продуктах сгорания (4.11):

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (CO + CO_2 + CH_4) \tag{4.11}$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (83,8 + 3,4 + 0,2) = 0,874 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем N_2 в продуктах сгорания:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 2,142 + 0,01 \cdot 6,0 = 1,752 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем сухих продуктов полного сгорания:

$$V_{с.г} = 0,874 + 1,752 = 2,626 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Объем водяных паров в продуктах полного сгорания (4.12):

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (H_2 + 2 \cdot CH_4) + 0,016 \cdot L_в \qquad (4.12)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (6,2 + 2 \cdot 0,2) + 0,016 \cdot 2,142 = 0,100 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$V_{\Sigma} = 2,626 + 0,100 = 2,726 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Состав продуктов сгорания с теоретически необходимым количеством воздуха при α=1,0:

$$CO_2 = \frac{0,874}{2,726} \cdot 100 = 32,06 \ \%$$

$$H_2O = \frac{0,100}{2,726} \cdot 100 = 3,67 \ \%$$

$$N_2 = \frac{1,752}{2,726} \cdot 100 = 64,27 \ \%$$

при α=1,05

$$V_в = (1,05 - 1) \cdot 2,142 + 2,142 = 2,249 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 2,249 + 0,01 \cdot 6,0 = 1,837 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

$$V_{с.г} = 0,874 + 1,837 = 2,711 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

$$V_{H_2O} = 0{,}100 + (1{,}05 - 1) \cdot 0{,}016 \cdot 2{,}142 = 0{,}102 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

$$V_{\Sigma} = 2{,}711 + 0{,}102 = 2{,}813 \text{ м}^3/\text{ м}^3$$

Составим сводную таблицу результатов расчетов горения природного и ферросплавного газов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Сравнительные теплотехнические характеристики природного и ферросплавного газов

Наименование характеристики	Природный газ	Ферросплавный газ
1	2	3
Теоретический необходимый расход воздуха, м^3/ м^3	9,544	2,142
Объем сухих продуктов полного сгорания, м^3/ м^3 при α=1,0 при α=1,05	8,576 8,956	2,626 2,711
Объем водяных паров,м^3/ м^3 при α=1,0 при α=1,05	2,138 2,145	0,100 0,102
Полный объем продуктов сгорания, м^3/ м^3 при α=1,0 при α=1,05	10,714 11,097	2,726 2,813
Теплотворная способность, ккал/ м^3	8200	2700
Теоретически необходимое количество воздуха на 1000 ккал/ м^3	1,164	0,793
Температура горения, °С	2040	2180
Количества дымовых газов при α=1,0 на 1000 ккал/ м^3	1,307	1,010
Объем CO_2 в продуктах сгорания	1,01	0,100

Как видно из таблицы 4.1, ферросплавный газ имеет меньшее необходимое количество воздуха и получаемых дымовых газов в расчете на 1000 ккал теплотворной способности газа.

5 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ №5 ПРИ РАБОТЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

Материальный баланс – весовой расчет химических и физических превращений и веществ процесса обжига известняка.

Расчет ведется на 1 базовый кг извести – 90%.

5.1 Исходные данные

При производительности 8,85 баз. т. извести расход природного газа 2300 м^3/ч.

Приведем температурные характеристики вращающейся печи №5 обжига известняка (таблица 5.1) [34].

Таблица 5.1 – Температурный режим вращающейся печи №5

Параметр	Температура, °С
Известь на выходе из рекуператора	265
Факел	1360
Футеровка (внутренней поверхности)	980
Известь на выходе из печи в рекуператор	1115
Отходящие газы в конце печи	1100
В пылевой камере	795
Известняк на тарельчатом питателе	275

На основании материальных и тепловых замеров были составлены материальный и тепловой баланс для печи №5 при производительности 8,85 баз. т. извести/ч.

5.2 Приходные статьи

Расход природного газа

Удельный вес газов (5.1) [25]:

$$\gamma_{п.г} = 0,0196 \cdot CO_2 + 0,00714 \cdot CH_4 + 0,0134 \cdot C_2H_6 + 0,0196 \cdot C_3H_8 + 0,0259 \cdot C_4H_{10} + 0,0125 \cdot N_2 \quad (5.1)$$

$$\gamma_{п.г} = 0,0196 \cdot 0,13 + 0,00714 \cdot 94,16 + 0,0134 \cdot 2,49 + 0,0196 \cdot 0,38 + 0,0259 \cdot 0,24 + 0,0125 \cdot 2,6 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

Удельный расход топлива (5.2):

$$V_{п.г.} = \frac{Q_{п.г}}{P} \tag{5.2}$$

$$V_{п.г.} = \frac{2300}{8850} = 0,26 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Весовой расход газов (5.3):

$$G_{п.г.} = Q_{п.г} \cdot \gamma_{п.г} \tag{5.3}$$

$$G_{п.г.} = 2300 \cdot 0,75 = 1725 \text{ кг/ч}$$

Весовой удельный расход газов (5.4):

$$g_{п.г.} = \frac{G_{п.г.}}{P} \tag{5.4}$$

$$g_{п.г.} = \frac{1725}{8850} = 0,195 \text{ кг/кг}$$

5.3 Расход воздуха на горение газа

Расход воздуха на горение природного газа:

при α=1,05 $V_{O_2} = 1,05 \cdot 2,005 = 2,105 \text{ м}^3/\text{м}^3$

$V_{N_2} = 2,105 \cdot 3,762 = 7,919 \text{ м}^3/\text{м}^3$

При влажности воздуха 1,8% и температурой 16 °С (5.5):

$$V_{H_2O} = \frac{\left(V_{O_2} \cdot V_{N_2}\right) \cdot 100}{100 - W^p} - \left(V_{O_2} + V_{N_2}\right) \tag{5.5}$$

$$V_{H_2O} = \frac{\left(2,105 \cdot 7,919\right) \cdot 100}{100 - 1,8} - \left(2,105 + 7,919\right) = 0,184 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Весовой расход при α=1,05 (5.6):

$$G_{O_2} = V_i \cdot \gamma \tag{5.6}$$

$$G_{O_2} = 2{,}105 \cdot 1{,}429 = 3{,}008 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{N_2} = 7{,}919 \cdot 1{,}251 = 9{,}907 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{H_2O} = 0{,}184 \cdot 0{,}804 = 0{,}148 \text{ кг/м}^3$$

где γ = 1,429; 1,251; 0,804 – удельные веса O_2, N_2 и H_2O, кг/м^3

Весовой удельный расход при α=1,05 (5.7):

$$g_{O_2} = G \cdot V_{п.г} \tag{5.7}$$

$$g_{O_2} = 3{,}008 \cdot 0{,}26 = 0{,}782 \text{ кг/кг}$$

$$g_{N_2} = 9{,}907 \cdot 0{,}26 = 2{,}576 \text{ кг/кг}$$

$$g_{H_2O} = 0{,}148 \cdot 0{,}26 = 0{,}038 \text{ кг/кг}$$

Общий удельный весовой расход воздуха при α=1,05 (5.8):

$$g_{вл.в.} = g_{O_2} + g_{N_2} + g_{H_2O} \tag{5.8}$$

$$g_{вл.в.} = 0{,}782 + 2{,}576 + 0{,}038 = 3{,}396 \text{ кг/кг}$$

5.4 Расход известняка

Содержание CaO известняка – 55%.
Содержание CaO в выпущенной извести – 96%.
Расход известняка на выпущенную известь:

$$G_{CaO} = \frac{100 \cdot 90}{55 \cdot 100} = 1{,}636 \text{ кг/кг}$$

В пересчете на 1 баз.кг.извести:

$$G_{CaO} = \frac{1{,}636 \cdot 90}{96} = 1{,}534 \text{ кг/кг}$$

5.5 Пылеунос

Пыль, улавливается в пылевой камере – 0,2 т/ч

Циклоны – 0,420 т/ч

Пыль в электрофильтрах – 0,515 т/ч

В дымовую трубу – 0,065 т/ч

Суммарная величина пыли, осевшей в пылевой камере, циклонах, электрофильтрах, в котле-утилизаторе и дымовых трактах, и пыли, уносимой в трубу – 1,2 т/ч.

Согласно химическим анализам в пыли из ПК содержится 59,23% известняка и 41,77% извести; в пыли из электрофильтров – 27,89% известняка и 72,11% извести.

Принимаем, что 50% пыли уносится в виде известняка и 50% в виде извести.

Из печи выносится 0,60 т/час извести с содержанием CaO – 96% или:

$$G_{ун} = \frac{0,60 \cdot 96}{90} = 0,640 \text{ т/ч}$$

Удельный выход прокаленного уноса:

$$g_{изв.}^{ун} = \frac{0,640}{8,85} = 0,072 \text{ кг/кг}$$

Удельный расход известняка на прокаленный унос (5.9):

$$g_{изв-ка.}^{ун} = g_{изв}^{ун} \cdot G_{CaO} \tag{5.9}$$

$$g_{изв-ка.}^{ун} = 0,072 \cdot 1,534 = 0,110 \text{ кг/кг}$$

Суммарный расход известняка (без учета пыли, выносимой из течки-подогревателя):

$$\sum g_{изв-ка.}^{ун} = 1,534 + 0,110 = 1,644 \text{ кг/кг}$$

Пыль, выносимая из течки-подогревателя, не учитывается в балансе печи, однако её количество должно быть учтено при определении норм расхода сырья. Расход известняка на эту пыль составит 0,600 т/ч.

Удельный расход:

$$g_{п.} = \frac{0,600}{8,85} = 0,068 \text{ кг/кг}$$

Суммарный расход сырья:

$$\sum G_{сырья} = 1,644 + 0,068 = 1,712 \text{ кг/кг}$$

5.6 Расходные статьи

Выход прокаленного уноса (5.10):

$$g_{ун} = \frac{G_{ун.}}{P} \tag{5.10}$$

$$g_{ун} = \frac{0,640}{8,85} = 0,072 \text{ кг/кг}$$

Выход отходящих газов из сырья (5.11):

$$g_{CO_2}^{сырье} = \sum g_{изв-ка.}^{ун} - 1 - g_{ун} \tag{5.11}$$

Выход извести – 1кг:

$$g_{CO_2}^{сырье} = 1,644 - 1 - 0,072 = 0,572 \text{ кг/кг}$$

5.7 Выход отходящих газов из топлива

Выход CO_2 (5.12):

$$V_{CO_2}^{г} = 1,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot V_{п.г} \tag{5.12}$$

$$V_{CO_2} = 1,01 \cdot 0,26 = 0,264 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{CO_2} = 0,26 \cdot 1,96 = 0,51 \text{ кг/кг}$$

где γ =1,96 – удельный вес CO_2, кг/м^3

Выход N_2 (5.13):

$$V_{N_2}^{г} = V_{N_2} + 0,01 \cdot V_{п.г} \quad (5.13)$$

$$V_{N_2}^{г} = 7,919 + 0,01 \cdot 2,6 = 7,945 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{N_2} = 7,945 \cdot 0,26 = 2,066 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{N_2} = 2,066 \cdot 1,25 = 2,583 \text{ кг/кг}$$

где γ =1,25 – удельный вес азота, кг/м^3.

Выход O_2 при горении газов:

$$V_{O_2} = 2,105 - 2,005 = 0,100 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{O_2} = 0,100 \cdot 0,26 = 0,026 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{O_2} = 0,026 \cdot 1,43 = 0,037 \text{ кг/кг}$$

где γ =1,43 – удельный вес O_2, кг/м^3.

Выход водяных паров с продуктами горения топлива:

а) из природного (5.14):

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(2CH_4 + 3C_2H_6 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10}\right) \quad (5.14)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot 94,16 + 3 \cdot 2,49 + 4 \cdot 0,38 + 5 \cdot 0,24\right) = 1,985 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{H_2O} = 1,985 \cdot 0,26 = 0,516 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,516 \cdot 0,804 = 0,415 \text{ кг/кг.}$$

где γ =0,804 - удельный вес водяных паров, кг/м^3.

б) из воздуха:

$$V_{H_2O} = 0,184 \cdot 0,26 = 0,048 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,048 \cdot 0,804 = 0,039 \text{ кг/кг}$$

в) общий выход водяных паров:

$$V_{H_2O} = 0,516 + 0,048 = 0,564 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,415 + 0,039 = 0,454 \text{ кг/кг}$$

Суммарный выход отходящих газов из сырья (5.15):

$$\sum V_{отх.г} = V_{CO_2}^{сырье} + V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} \quad (5.15)$$

$$\sum V_{отх.г.} = 0,292 + 0,264 + 2,066 + 0,026 + 0,564 = 3,212 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\sum g_{отх.г.} = 0,572 + 0,51 + 2,583 + 0,037 + 0,454 = 4,156 \text{ кг/кг}$$

Составим сводную таблицу результатов расчетов по материальному балансу печи при работе на природном газе (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Материальный баланс печи при работе на природном газе

Задано			Получено		
Наименование статей	Кг/ баз.кг.изв.	%	Наименование статей	Кг/ баз.кг.изв.	%
Известняк	1,644	31,4	Известь	1,0	19,1
Воздух	3,396	64,9	Пыль	0,072	1,38
Природный газ	0,195	3,7	Отходящие газы	4,156	79,4
			Невязка	0,007	0,12
Итого	5,235	100,0	Итого	5,235	100,0

6 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПЕЧИ ПРИ РАБОТЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

6.1 Приход тепла

Тепловой баланс рассчитан на полное пространство печи [30, 38].

Химическое тепло топлива (6.1):

$$Q_1 = Q_н^P \cdot V_{газа} \tag{6.1}$$

$Q_н^P$ = 8200 – низшая теплота сгорания, ккал/м^3;

$V_{газа}$ =0,26 – удельный расход газа на 1 баз.кг. извести, м^3/кг;

$$Q_{1п.г.} = 8200 \cdot 0,26 = 2132 \text{ ккал/кг.}$$

Тепло вносимое воздухом, поступающего в печь на горение газов (6.2 - 6.3):

$$Q_2 = g_в \cdot c_в \cdot t_в \tag{6.2}$$

При температуре воздуха $t_в$ = 16 °С и влажности 1,8% теплоемкость воздуха $c_в$=0,31 ккал/м^3·°С.

$$g_в = \frac{g_{вл.в}}{\gamma} \tag{6.3}$$

$$g_в = \frac{3,396}{1,293} = 2,626 \text{ м}^3\text{/кг}$$

где $g_{вл.в}$ – общий удельный весовой расход воздуха;

γ =1,293 – удельный вес воздуха, кг/м^3.

$$Q_2 = 2,626 \cdot 0,31 \cdot 16 = 13,025 \text{ ккал/кг}$$

Тепло вносимое с подогретым известняком $CaCO_3$ (6.4):

$$Q_3 = g_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot t_{CaCO_3} \tag{6.4}$$

где g_{CaCO3} – расход известняка, кг/кг;

c_{CaCO3} – теплоемкость известняка, ккал/кг °С;

t_{CaCO3} – температура известняка, °С.

$$Q_3 = 1,644 \cdot 0,26 \cdot 275 = 118 \text{ ккал/кг}$$

6.2 Расход тепла

В печах тепло расходуется на технологические процессы (полезные затраты тепла), но большая часть тепла теряется в окружающую среду и уносится из рабочего пространства с уходящими газами.

Расход тепла на декарбонизацию известняка (вместе с прокаленным уносом).

Из материального баланса полную декарбонизацию проходит:

$$1,644 \cdot 90 = 1,480 \text{ кг/кг}$$

Диссоциация известняка проходит по реакции:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \text{ - 426 ккал/кг } CaCO_3$$

$$Q_4 = 426 \cdot 1,480 = 630 \text{ ккал/кг}$$

Потери тепла с известью, выходящей из рекуператора (6.5):

$$Q_5 = c_{изв} \cdot t_{изв} \cdot m_{изв} \quad (6.5)$$

где $c_{изв}$ = 0,21 – теплоемкость извести, ккал/кг · °С;

$t_{изв}$ – температура извести, °С;

m – количество извести – 1 кг.

$$Q_5 = 0,21 \cdot 265 \cdot 1 = 56 \text{ ккал/кг}$$

Потери тепла с отходящими газами (6.6):

$$Q_6 = c_{отх.г} \cdot t_{отх.г} \cdot \sum V_{отх.г} \quad (6.6)$$

$$Q_6 = 0,401 \cdot 1100 \cdot 2,810 = 12,39 \text{ ккал/ кг}$$

Тепло, теряемое с отходящими газами (таблица 6.1).

Температура отходящих газов 1100 °С.

Таблица 6.1 – Состав отходящих газов (по материальному балансу)

Размерность	Состав газов				
	V_{CO2}	V_{N2}	V_{O2}	V_{H2O}	$\sum V_{отх.г}$
м^3/кг	0,805	1,701	0,22	0,282	2,810
%%	28,65	60,53	0,78	10,04	100,0

Теплоёмкость газов при $t_{отх.г}$=1100 °С:

$C_{CO_2} = 0,5338$ ккал/м^3 °С

$C_{N_2} = 0,3352$ ккал/м^3 °С

$C_{O_2} = 0,3557$ ккал/м^3 °С

$C_{H_2O} = 0,4180$ ккал/м^3 °С

Средняя теплоемкость отходящих газов (6.7):

$$c_{отх.г} = \frac{C_{CO_2} \cdot V_{CO_2} + C_{N_2} \cdot V_{N_2} + C_{O_2} \cdot V_{O_2} + C_{H_2O} \cdot V_{H_2O}}{100} \quad (6.7)$$

$$c_{отх.г} = \frac{0,5338 \cdot 28,65 + 0,3352 \cdot 60,53 + 0,3557 \cdot 0,78 + 0,4180 \cdot 10,04}{100} = 0,401 \text{ ккал/м}^3 \text{ °С}$$

Потери тепла с пылью (6.8):

$$Q_7 = c_{CaO} \cdot t_{отх.г} \cdot G_{пыли}^{унос} \quad (6.8)$$

где C_{CaO} = 0,24 – теплоемкость, ккал/кг °С при $t_{отх.г}$ =1100 °С;

$G_{пыли}^{унос}$ =0,072 кг/ кг.

$$Q_7 = 0,24 \cdot 1100 \cdot 0,072 = 19 \text{ ккал/ кг}$$

Потери тепла в окружающую среду через корпус печи и рекуператоры.

Свыше 60% поверхности печи находится вне помещения и поэтому эта часть подвержена большему воздействию окружающей среды.

Общие теплопотери печи составляют 2873800 ккал/ч.

При производительности печи 8,85 базовых тон известив час теплопотери поверхностью печи в расчете на 1 базовый кг извести составляет:

$$Q_8 = \frac{2873800}{8850} = 325 \text{ ккал/ баз.кг.извести}$$

Составим сводную таблицу результатов расчетов теплового баланса печи на 1 базовый кг извести для производительности 8,85 базовых тон извести в час (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Тепловой баланс печи

Наименование статей	Ккал/кг	%
2	3	4
Химическое тепло топлива	2132	94,2
Тепло, вносимое воздухом, поступающее в печь на горение	13	0,57
Тепло, вносимое подогретым известняком	118	5,23
Итого	2263	100,00
Расход		
Расход тепла на декарбонизацию $CaCO_3$	630	27,8
Потери тепла с известью, выходящей из рекуператоров	56	2,5
Тепло, теряемое с отходящими газами	1239	54,8
Потери тепла в окружающую среду	325	14,4
Невязка и другие неучтенные потери	13	0,5
Итого	2263	100,0

КПД печи определяется расходом тепла на декарбонизацию известняка и составляет – 27,8%. Основная доля тепла уносится дымовыми газами – 54,8%. Потери тепла через корпус печи и рекуператоры в окружающую среду составляют – 14,4%.

7 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ №5 ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСИ ГАЗОВ

Производительность печи 8,85 базовых тон извести в час при расходе 950 м^3/ч природного и 4100 м^3/ч ферросплавного газов.

Расчет ведется на 1 базовый кг извести – 90% [38].

7.1 Приходные статьи

Расход природного и ферросплавного газов [31].

Удельный вес газов:

а) природного:

$$\gamma_{п.г} = 0,0196 \cdot 0,13 + 0,00714 \cdot 94,16 + 0,0134 \cdot 2,49 + 0,0196 \cdot 0,38 + 0,0259 \cdot 0,24 + 0,0125 \cdot 2,6 = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

б) ферросплавного (7.1):

$$\gamma_{к.г.} = 0,0125 \cdot CO + 0,0009 \cdot H_2 + 0,00714 \cdot CH_4 + 0,0125 \cdot N_2 + 0,0196 \cdot CO_2 + 0,0143 \cdot O_2 \quad (7.1)$$

$$\gamma_{к.г.} = 0,0125 \cdot 83,8 + 0,0009 \cdot 6,2 + 0,00714 \cdot 0,2 + 0,0125 \cdot 6 + 0,0196 \cdot 3,4 + 0,0143 \cdot 0,2 = 1,2 \text{ кг/м}^3$$

Удельный расход топлива:

а)природного:

$$V_{п.г.} = \frac{950}{8850} = 0,107 \text{ м}^3\text{/кг}$$

б) ферросплавного:

$$V_{к.г.} = \frac{4100}{8850} = 0,463 \text{ м}^3\text{/кг}$$

Весовой расход газов:

а) природного:

$$G_{п.г.} = 950 \cdot 0,75 = 713 \text{ кг/ч}$$

б) ферросплавного:

$$G_{к.г.} = 4100 \cdot 1,20 = 4920 \text{ кг/ч}$$

Весовой удельный расход газов:

а) природного:

$$g_{п.г.} = \frac{713}{8850} = 0,081 \text{ кг/кг}$$

б) ферросплавного:

$$g_{к.г.} = \frac{4920}{8850} = 0,556 \text{ кг/кг}$$

в) общий весовой удельный расход газов (7.2):

$$g_{общ.} = g_{п.г.} + g_{к.г.} \tag{7.2}$$

$$g_{общ.} = 0,081 + 0,556 = 0,637 \text{ кг/кг}$$

Расход воздуха на горение природного газа:

при α=1,05 $V_{O_2} = 1,05 \cdot 2,005 = 2,105 \text{ м}^3/\text{м}^3$

$$V_{N_2} = 2,105 \cdot 3,762 = 7,919 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

При влажности воздуха 1,8% и температурой 16 °С:

$$V_{H_2O} = \frac{(2,105 \cdot 7,919) \cdot 100}{100 - 1,8} - (2,105 + 7,919) = 0,184 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Весовой расход при α=1,05:

$$G_{O_2} = 2,105 \cdot 1,429 = 3,008 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{N_2} = 7,919 \cdot 1,251 = 9,907 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{H_2O} = 0,184 \cdot 0,804 = 0,148 \text{ кг/м}^3$$

Весовой удельный расход при α=1,05:

$$g_{O_2} = 3,008 \cdot 0,107 = 0,322 \text{ кг/кг}$$

$$g_{N_2} = 9,907 \cdot 0,107 = 1,060 \text{ кг/кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,148 \cdot 0,107 = 0,016 \text{ кг/кг}$$

Удельный весовой расход воздуха при α=1,05:

$$g_{вл.в.} = 0,322 + 1,060 + 0,016 = 1,398 \text{ кг/кг}$$

Расход воздуха на горение ферросплавного газа:

при α=1,05 $$V_{O_2} = 0,450 \cdot 1,05 = 0,473 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{N_2} = 0,473 \cdot 3,762 = 1,779 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

При влажности воздуха 1,8% и температурой 16 °С:

$$V_{H_2O} = \frac{(0,473 \cdot 1,779) \cdot 100}{100 - 1,8} - (0,473 + 1,779) = 0,041 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Весовой расход при α=1,05:

$$G_{O_2} = 0,473 \cdot 1,429 = 0,676 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{N_2} = 1,779 \cdot 1,251 = 2,226 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{H_2O} = 0,041 \cdot 0,804 = 0,033 \text{ кг/м}^3$$

Весовой удельный расход при α=1,05:

$$g_{O_2} = 0,676 \cdot 0,463 = 0,313 \text{ кг/кг}$$

$$g_{N_2} = 2,226 \cdot 0,463 = 1,031 \text{ кг/кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,033 \cdot 0,463 = 0,015 \text{ кг/кг}$$

Удельный весовой расход воздуха при α=1,05:

$$g_{вл.в.} = 0,313 + 1,031 + 0,015 = 1,359 \text{ кг/кг}$$

Общий удельный весовой расход воздуха:

$$g_{общ.вл.в.} = 1,398 + 1,359 = 2,757 \text{ кг/кг}$$

Расход известняка

Содержание CaO известняка – 55%.

Содержание CaO в выпущенной извести – 96%.

Расход известняка на выпущенную известь.

Пыль, улавливается в пылевой камере – 0,2 т/ч.

Пыль в электрофильтрах – 0,515 т/ч.

Суммарная величина пыли, осевшей в пылевой камере, циклонах, электрофильтрах, в котле-утилизаторе и дымовых трактах, и пыли, уносимой в трубу – 1,2 т/ч.

Согласно химическим анализам в пыли из ПК содержится 59,23% известняка и 41,77% извести; в пыли из электрофильтров – 27,89% известняка и 72,11% извести.

Принимаем, что 50% пыли уносится в виде известняка и 50% в виде извести.

Из печи выносится 0,60 т/ч извести с содержанием CaO – 96% или 0,640 т/ч.

Удельный выход прокаленного уноса составил 0,072 кг/кг.

Удельный расход известняка на прокаленный унос составил 0,110 кг/кг.

Суммарный расход известняка (без учета пыли, выносимой из течки-подогревателя) составил 1,644 кг/кг.

Суммарный расход сырья составил 1,712 кг/кг.

7.2 Расходные статьи

Выход прокаленного уноса:

$$g_{ун} = \frac{0,640}{8,85} = 0,072 \text{ кг/кг}$$

Выход отходящих газов из сырья:

$$g_{CO_2} = 1,644 - 1 - 0,072 = 0,572 \text{ кг/кг}$$

7.3 Выход отходящих газов из топлива

Выход CO_2:

а) из природного газа:

$$V_{CO_2} = 1,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{CO_2} = 1,014 \cdot 0,107 = 0,108 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{CO_2} = 0,107 \cdot 1,96 = 0,211 \text{ кг/кг}$$

б) из ферросплавного газа:

$$V_{CO_2} = 0,874 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{CO_2} = 0,874 \cdot 0,463 = 0,405 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{CO_2} = 0,405 \cdot 1,96 = 0,794 \text{ кг/кг}$$

в) общий выход CO_2:

$$V_{CO_2} = 0,108 + 0,405 = 0,513 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{CO_2} = 0,211 + 0,794 = 1,005 \text{ кг/кг}$$

Выход N_2:

а) из природного газа и воздуха, идущего на горение:

$$V_{N_2} = 7,919 + 0,01 \cdot 2,6 = 7,945 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{N_2} = 7,945 \cdot 0,107 = 0,850 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{N_2} = 0,850 \cdot 1,25 = 1,063 \text{ кг/кг}$$

б) из ферросплавного газа и воздуха идущего на горение:

$$V_{N_2} = 1,779 + 0,01 \cdot 6 = 1,839 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{N_2} = 1,839 \cdot 0,463 = 0,851 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{N_2} = 0,851 \cdot 1,25 = 1,064 \text{ кг/кг}$$

в) общий выход азота из газов и воздуха:

$$V_{N_2} = 0,850 + 0,851 = 1,701 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{N_2} = 1,063 + 1,064 = 2,127 \text{ кг/кг}$$

Выход O_2 при горении газов:

а) природного:

$$V_{O_2} = 2,105 - 2,005 = 0,100 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{O_2} = 0,100 \cdot 0,107 = 0,011 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{O_2} = 0,011 \cdot 1,43 = 0,016 \text{ кг/кг}$$

б) ферросплавного:

$$V_{O_2} = 0,473 - 0,450 = 0,023 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{O_2} = 0,023 \cdot 0,463 = 0,011 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{O_2} = 0,011 \cdot 1,43 = 0,016 \text{ кг/кг}$$

в) общий выход O_2:

$$V_{O_2} = 0,011 + 0,011 = 0,022 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{O_2} = 0,016 + 0,016 = 0,032 \text{ кг/кг}$$

Выход водяных паров с продуктами горения топлива:

а) из природного:

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(2 \cdot 94,16 + 3 \cdot 2,49 + 4 \cdot 0,38 + 5 \cdot 0,24\right) = 1,985 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{H_2O} = 1,985 \cdot 0,107 = 0,212 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,212 \cdot 0,804 = 0,170 \text{ кг/кг}$$

б) из ферросплавного (4.3):

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(H_2 + 2CH_4\right) \tag{4.3}$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(6,2 + 2 \cdot 0,2\right) = 0,066 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$V_{H_2O} = 0,066 \cdot 0,463 = 0,031 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,031 \cdot 0,804 = 0,025 \text{ кг/кг}$$

в) из воздуха:

$$V_{H_2O} = 0,184 \cdot 0,107 + 0,041 \cdot 0,463 = 0,039 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,039 \cdot 0,804 = 0,031 \text{ кг/кг}$$

г) общий выход водяных паров:

$$V_{H_2O} = 0,212 + 0,031 + 0,039 = 0,282 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$g_{H_2O} = 0,170 + 0,025 + 0,031 = 0,226 \text{ кг/кг}$$

Суммарный выход отходящих газов из сырья:

$$\sum V_{отх.г.} = 0,292 + 0,513 + 1,701 + 0,022 + 0,282 = 2,810 \text{ м}^3\text{/кг}$$

$$\sum g_{отх.г.} = 0,572 + 1,005 + 2,127 + 0,032 + 0,226 = 3,962 \text{ кг/кг}$$

Приведем сводную таблицу расчетов материального баланса печи при работе на смеси газов (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Материальный баланс печи при работе на смеси газов

Задано			Получено		
Наименование статей	Кг/ баз.кг.изв.	%	Наименова-ние статей	Кг/ баз.кг.изв.	%
Известняк	1,644	32,63	Известь	1,0	19,85
Воздух	2,757	54,72	Пыль	0,072	1,43
Природный газ	0,081	1,61	Отходящие газы	3,962	78,64
Ферросплавный газ	0,556	11,04	Невязка	0,004	0,080
Итого	5,038	100,0	Итого	5,038	100,0

8 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПЕЧИ ПРИ РОБОТЕ НА СМЕСИ ГАЗОВ

8.1 Приход тепла

Тепловой баланс рассчитан на полное пространство печи [39].
Химическое тепло топлива:

а) природного:

$$Q_{п.г.} = 8200 \cdot 0{,}107 = 877 \text{ ккал/кг}$$

б) ферросплавного:

$Q_н^P$ = 2700 – низшая теплота сгорания, ккал/м^3;
$V_{газа}$ =0,463 – удельный расход газа на 1 базовый кг извести, м^3/кг.

$$Q_{к.г.} = 2700 \cdot 0{,}463 = 1250 \text{ ккал/кг}$$

в) общее химическое тепло топлива:

$$Q_1 = 877 + 1250 = 2127 \text{ ккал/кг}$$

Тепло вносимое воздухом, поступающего в печь на горение газов.

При температуре воздуха 16 °С и влажности 1,8% теплоемкость воздуха $c_в$=0,31 ккал/м^3 °С.

$$g_в = \frac{2{,}757}{1{,}293} = 2{,}132 \text{ м}^3\text{/кг}$$

$$Q_2 = 2{,}132 \cdot 0{,}31 \cdot 16 = 11 \text{ ккал/кг}$$

Тепло вносимое с подогретым известняком $CaCO_3$:

$$Q_3 = 1{,}644 \cdot 0{,}26 \cdot 275 = 118 \text{ ккал/кг}$$

8.2 Расход тепла

В печах тепло расходуется на технологические процессы (полезные затраты тепла), но большая часть тепла теряется в окружающую среду и уносится из рабочего пространства с уходящими газами.

Расход тепла на декарбонизацию известняка (вместе с прокаленным уносам).

Из материального баланса полную декарбонизацию проходит:

$$1,644 \cdot 90 = 1,480 \text{ кг/кг}$$

Диссоциация известняка проходит по реакции:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \text{ - 426 ккал/кг } CaCO_3$$

$$Q_4 = 426 \cdot 1,480 = 630 \text{ ккал/кг}$$

Потери тепла с известью, выходящей из рекуператора:

$$Q_5 = 0,21 \cdot 265 \cdot 1 = 56 \text{ ккал/кг}$$

Тепло, теряемое с уходящими газами (таблица 8.1).

Температура отходящих газов 1100 °С.

Таблица 8.1 – Состав отходящих газов (по материальному балансу)

Размерность	Состав газов				
	V_{CO2}	V_{N2}	V_{O2}	V_{H2O}	$\sum V_{отх.г}$
м^3/кг	0,805	1,701	0,22	0,282	2,810
%%	28,65	60,53	0,78	10,04	100,0

Теплоёмкость газов при $t_{отх.г}$=1100 °С:

$C_{CO_2} = 0,5338$ ккал/м^3 °С

$C_{N_2} = 0,3352$ ккал/нм^3 °С

$C_{O_2} = 0,3557$ ккал/нм^3 °С

$C_{H_2O} = 0,4180$ ккал/нм^3 °С

Средняя теплоемкость отходящих газов:

$$c_{отх.г} = \frac{0,5338 \cdot 28,65 + 0,3352 \cdot 60,53 + 0,3557 \cdot 0,78 + 0,4180 \cdot 10,04}{100} = 0,401 \text{ ккал/м}^3$$

$$Q_6 = 0,401 \cdot 1100 \cdot 2,810 = 12,39 \text{ ккал/ кг}$$

Потери тепла с пылью:

$$Q_7 = 0,24 \cdot 1100 \cdot 0,072 = 19 \text{ ккал/ кг}$$

Потери тепла в окружающую среду через корпус печи и рекуператоры.

При производительности печи 8,85 баз.т.извести/час теплопотери поверхностью печи в расчете на 1 баз.кг извести составляют:

$$Q_8 = \frac{2873800}{8850} = 325 \text{ ккал/ кг}$$

В таблице 8.2 составлен тепловой баланс печи №5 при работе на смеси газов.

Таблица 8.2 – Тепловой баланс печи при работе на смеси газов

Наименование статей	Ккал/кг	%
Приход		
Химическое тепло топлива	2127	94,28
Тепло, вносимое воздухом, поступающее в печь на горение	11	0,49
Тепло, вносимое подогретым известняком	118	5,23
Итого	2256	100,00
Расход		
Расход тепла на декарбонизацию $CaCO_3$	630	27,93
Потери тепла с известью, выходящей из рекуператоров	56	2,48
Тепло, теряемое с отходящими газами	1239	54,92
Потери тепла в окружающую среду	325	14,4
Невязка и другие неучтенные потери	6	0,27
Итого	2256	100,0

9 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В энергетике существуют две важнейшие проблемы, решению которых уделяется большое внимание во всем мире: экономия топливно-энергетических ресурсов и охрана окружающей среды [1]. Доля природного газа в мировом топливно-энергетическом балансе неуклонно повышается и по расчетам специалистов к 2030 г. увеличится втрое. Наша страна обладает большими запасами топлива, но и они не бесконечны, поэтому необходимо стремиться к снижению топливных затрат за счет проведения на промышленных предприятиях, потребляющих 35% всего добываемого газа, эффективных энергосберегающих мероприятий [14].

Промышленность металлургических предприятий является одним из крупнейших потребителей природного газа. Предприятия этой отрасли имеют весьма разнообразную структуру потребления энергии ввиду разнообразия выпускаемых изделий и материалов.

Анализ себестоимости извести показывает, что основные затраты (≈70%) приходятся на сырье и топливо, 15–20% составляют амортизационные отчисления и затраты на ремонт оборудования, все остальные расходы не превышают 10–15% себестоимости. Отсюда видно, что для снижения себестоимости необходимо сокращать расходы сырья и топлива, уменьшать капитальные вложения при строительстве новых печей. Говоря об экономии сырья, прежде всего, необходимо иметь в виду наиболее полное использование добытого полезного ископаемого.

Чтобы достичь практических результатов, необходимо хорошо знать теорию процессов и накопленный практический опыт повышения эффективности использования топлива. В основе рационального теплового процесса должен лежать только рациональный технологический процесс [16].

При обжиге известняка требуется соблюдение ряда условий: высокое содержание CO_2 в отходящих газах; чистота, цвет и другие качества жженой извести, при одновременном соблюдении высоких технико-экономических показателей. При производстве извести практически на всех стадиях стремится к снижению расхода топлива.

Существуют несколько направлений по энергосбережению при производстве извести во вращающихся печах:

1. Экономия топлива за счет уменьшения всех видов тепловых потерь при эксплуатации вращающихся печей. Например, поддержание оптимального режима сжигания топлива с коэффициентом избытка воздуха, близким к единице. Правильная дозировка воздуха и топлива при обжиге извести имеет большое значе-

ние. С увеличением избытка воздуха резко уменьшается температура зоны обжига, а при большом избытке воздуха – может настолько снизиться, что процесс разложения $CaCO_3$ вообще прекратится, и возрастут потери тепла в отходящих газах. Поэтому ни в коем случае не следует подавать в печь больше воздуха, чем это необходимо для обеспечения нормального горения топлива. Недостаток воздуха приводит к неполноте сгорания, т.е. повышению содержания CO в отходящих газах, что в свою очередь обусловливает значительное увеличение расхода топлива.

2. Обжиг известняка во вращающихся печах с применением в качестве топлива смеси природного и утилизируемых являющихся побочными продуктами ферросплавного производства газов, в результате чего утилизируются отходы ферросплавного производства, экономится природный газ и повышается качество обожженной извести.

3. Экономия топлива за счет полноты использования всех «побочных продуктов» производства извести (углекислого газа, выделяющегося не только при горении топлива, но и при обжиге известняка; тепла дымовых газов и горячего воздуха, выходящего из холодильника извести). В настоящее время жидкую углекислоту, или «сухой» лед, получают из продуктов сгорания, отводимых, как правило, от котельных установок. При использовании продуктов сгорания, отводимых от известеобжигательных печей, где содержание углекислого газа составляет 20-25%, можно получить крупный экономический эффект.

4. Применение котлов-утилизаторов существенно повышает эффективность работы оборудования, результатом работы которого являются выхлопные газы или пар [22, 23].

9.1 Мероприятия по снижению тепловых потерь печи №5

В результате теплотехнических измерений установлено, что кожух барабана печи в зоне максимальных температур прогревается до 340 °С. Высокие температуры кожуха барабана печи вызывают его деформацию и перегрев механизма вращения, а также сопровождается повышенными тепловыми потерями. С целью снижения расхода условного топлива за счет уменьшения тепловых потерь поверхностью барабана при снижении температуры необходимо между кожухом и футеровкой проложить теплоизоляционный слой асбеста.

Опыт работы соседних печей показывает, что применение теплоизоляционного слоя толщиной 5 мм позволил снизить температуры на поверхности кожуха

на 40-60 °С [41].

9.2 Расчет эффективности использования теплоизоляционного слоя [9]

Удельный тепловой поток через стенку печи (9.1):

$$g = \frac{t_ф + t_в}{\frac{1}{\alpha_{окр}} + \sum \frac{S}{\lambda}} \qquad (9.1)$$

где $t_ф$ – температура футеровки, °С;

$t_в$ – температура окружающего воздуха, °С;

S –толщена слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С;

λ – коэффициент теплоотдачи от стенки окружающей среде, ккал/м^2·ч·°С.

а) без слоя асбеста:

$$g = \frac{980 + 20}{\frac{1}{15,9} + \frac{0,23}{1,7} + \frac{0,02}{37}} = 5025 \text{ ккал/м}^2\text{ч}$$

б) со слоем асбеста толщиной 5 мм:

$$g = \frac{980 + 20}{\frac{1}{13,42} + \frac{0,23}{1,7} + \frac{0,02}{37} + \frac{0,005}{0,1}} = 3846 \text{ ккал/м}^2\text{ч}$$

в) со слоем асбеста толщиной 10 мм:

$$g = \frac{980 + 20}{\frac{1}{12,4} + \frac{0,23}{1,7} + \frac{0,02}{37} + \frac{0,01}{0,1}} = 3164 \text{ ккал/м}^2\text{ч}$$

Температура поверхности кожуха печи со слоем асбеста (9.2):

$$t_к = t_ф - g \cdot \sum \frac{S}{\lambda} \qquad (9.2)$$

а) толщиной 5 мм:

$$t_к = 980 - 3846 \cdot \left(\frac{0,23}{1,7} + \frac{0,02}{37} + \frac{0,005}{0,1} \right) = 174 \text{ °C}$$

б) толщиной 10 мм:

$$t_к = 980 - 3164 \cdot \left(\frac{0,23}{1,7} + \frac{0,02}{37} + \frac{0,01}{0,1} \right) = 138 \text{ °C}$$

Расчетная средняя температура поверхности кожуха печи при толщине асбестового слоя 5 мм составляет 174 °С и при толщине 10 мм составляет 138 °С.

При этом тепловые потери поверхностью кожуха печи уменьшаются: при толщине асбеста 5 мм в 1,31 раза, при толщине асбеста 10 мм в 1,59 раза. Сокращение тепловых потерь поверхностью печи позволит повысить КПД и снизить удельный расход топлива.

10 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Основными показателями экологических характеристик работы печи является величины общих и вредных выбросов с продуктами сгорания топлива. В агрегатах и печах величины выбросов определяются, с одной стороны, спецификой работы этих печей, и с другой, - характеристиками развития факела в рабочем пространстве печи. Основными вредными выбросами с продуктами сгорания природного и колошникового газов являются оксиды азота. Условиями, способствующими образованию и сохранению оксидов азота, являются высокие температуры, высокие начальные концентрации азота и свободного кислорода в газовой смеси, увеличение времени пребывания смеси при высокой температуре, быстрое охлаждение смеси [21, 37].

Расчет концентрации загрязняющих веществ. Количество дымовых газов, проходящих через дымовую трубу за единицу времени (10.1):

$$V = B \cdot V_г \left(\frac{T_{ух}}{T} \right) \left(\frac{p}{p_{атм}} \right) \tag{10.1}$$

где B_1 = 2300 м^3/ч – расход топлива (при работе на природном газе);

B_2 = 5050 м^3/ч – расход топлива (при работе на смеси газов);

$V_г$ = 10,714 м^3/м^3 – реальный объем продуктов сгорания;

$V_г$ = 13,440 м^3/м^3 – реальный объем продуктов сгорания;

p =760 мм.рт.ст, T = 273,15К – нормальные физические условие;

$T_{ух}$ = 200 °С – температура уходящих газов.

$$V_{пр} = 0,639 \cdot 10,714 \left(\frac{200 + 273,15}{273,15} \right) \left(\frac{760}{720} \right) = 12,518 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_{см} = 1,403 \cdot 13,440 \left(\frac{200 + 273,15}{273,15} \right) \left(\frac{760}{720} \right) = 34,477 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчет выбросов окислов азота [32]

В топочной камере образуется в основном окись азота NO (более 95%). Образование двуокиси азота NO_2 за счет окисления NO происходит при низких температурах и требует значительного времени.

Выброс окислов азота, г/с, рассчитывается по NO_2 (10.2):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_н^р \cdot K_{NO_2} (1-\beta) \quad (10.2)$$

где K_{NO_2} = 0,12 кг/МДж – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на МДж теплоты.

β = 0 – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате применяемых технических решений:

$$M_{NO_2}^{пр} = 0,001 \cdot 0,637 \cdot 34,33 \cdot 0,12(1-0) = 2,640 \text{ г/с}$$

$$M_{NO_2}^{см} = 0,001 \cdot 1,403 \cdot 16,09 \cdot 0,12(1-0) = 2,710 \text{ г/с}$$

Концентрация азота на выходе из дымовой трубы (10.3):

$$C_{NO_2} = \frac{M_{NO_2}}{V} \quad (10.3)$$

$$C_{NO_2}^{пр} = \frac{2,640}{12,518} = 0,211 \text{ г/м}^3$$

$$C_{NO_2}^{см} = \frac{2,710}{34,477} = 0,079 \text{ г/м}^3$$

Расчет дымовой трубы

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

Оптимальная средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса: $\omega_{опт}$ = 20 м/с

Диаметр устья источника выброса (10.4):

$$D_{опт} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_i}{\omega_0 \cdot \pi}} \quad (10.4)$$

$$D_{опт}^{пр} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,518}{20 \cdot 3,14}} = 0,893 \text{ м}$$

$$D_{опт}^{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot 34,477}{20 \cdot 3,14}} = 1,482 \text{ м}$$

Внутренний диаметр существующей дымовой трубы 1500 мм. Толщина футеровки 120 мм. Диаметр устья труды составляет D_0 = 1260 мм.

Средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса (10.5):

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_0^2} \tag{10.5}$$

$$\omega_0^{пр} = \frac{4 \cdot 12,518}{3,14 \cdot 1,26^2} = 10,044 \text{ м/с}$$

$$\omega_0^{см} = \frac{4 \cdot 34,477}{3,14 \cdot 1,26^2} = 27,664 \text{ м/с}$$

Разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха наиболее холодного месяца (10.6):

$$\Delta T = t_{ух} - t_{янв} \tag{10.6}$$

$$\Delta T = 200 - (-15,5) = 215,5 \text{ °C}$$

Задаемся высотой дымовых труб:
H_1 = 10 м
H_2 = 15 м
H_3 = 20 м

Вспомогательные величины (10.7):

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} \tag{10.7}$$

$$f_{1(пр)} = \frac{10^3 \cdot 10,044^2 \cdot 1,26}{10^2 \cdot 215,5} = 5,898$$

$$f_{1(см)} = \frac{10^3 \cdot 27,664^2 \cdot 1,26}{10^2 \cdot 215,5} = 44,746$$

$$f_{2(пр)} = \frac{10^3 \cdot 10,044^2 \cdot 1,26}{15^2 \cdot 215,5} = 2,622$$

$$f_{2(см)} = \frac{10^3 \cdot 27,664^2 \cdot 1,26}{15^2 \cdot 215,5} = 19,887$$

$$f_{3(пр)} = \frac{10^3 \cdot 10,044^2 \cdot 1,26}{20^2 \cdot 215,5} = 1,475$$

$$f_{3(см)} = \frac{10^3 \cdot 27,664^2 \cdot 1,26}{20^2 \cdot 215,5} = 11,186$$

Коэффициент, учитывающий подъем факела над трубой (10.8):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \qquad (10.8)$$

$$m_1^{пр} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{5,898} + 0,34\sqrt[3]{5,898}} = 0,655$$

$$m_1^{см} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{44,746} + 0,34\sqrt[3]{44,746}} = 0,393$$

$$m_2^{пр} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{2,622} + 0,34\sqrt[3]{2,622}} = 0,769$$

$$m_2^{см} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{19,186} + 0,34\sqrt[3]{19,186}} = 0,496$$

$$m_3^{пр} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{1,475} + 0,34\sqrt[3]{1,475}} = 0,849$$

$$m_3^{см} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{11,186} + 0,34\sqrt[3]{11,186}} = 0,567$$

Минимально допустимая высота трубы H, м, при которой обеспечивается значение $C_м$, равное ПДК, при наличии Z труб одинаковой высоты и выброса при температуре выбрасываемых газов большей температуры атмосферного воздуха (10.9):

$$H = \sqrt{AFnm\eta \frac{M}{ПДК} \sqrt[3]{\frac{Z}{V\Delta T}}} \qquad (10.9)$$

где A = 160 – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях;

η = 1 – поправочный коэффициент на рельеф;

z = 1 – количество труб одинаковой высоты;

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

$ПДК$ = 0,085 мг/м^3.

$$H_{1(пр)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,655 \cdot 1 \cdot \frac{2,640}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{12,518 \cdot 215,5}}} = 15,308 \text{ м}$$

$$H_{1(см)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,393 \cdot 1 \cdot \frac{2,710}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{34,477 \cdot 215,5}}} = 10,077 \text{ м}$$

$$H_{2(пр)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,767 \cdot 1 \cdot \frac{2,640}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{12,518 \cdot 215,5}}} = 16,566 \text{ м}$$

$$H_{2(см)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,496 \cdot 1 \cdot \frac{2,710}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{34,477 \cdot 215,5}}} = 11,36 \text{ м}$$

$$H_{3(пр)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,849 \cdot 1 \cdot \frac{2,640}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{12,518 \cdot 215,5}}} = 17,428 \text{ м}$$

$$H_{3(см)} = \sqrt{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,567 \cdot 1 \cdot \frac{2,710}{0,085} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{34,477 \cdot 215,5}}} = 12,104 \text{ м}$$

На рисунке 10.1 построены графики минимальной высоты дымовой трубы.

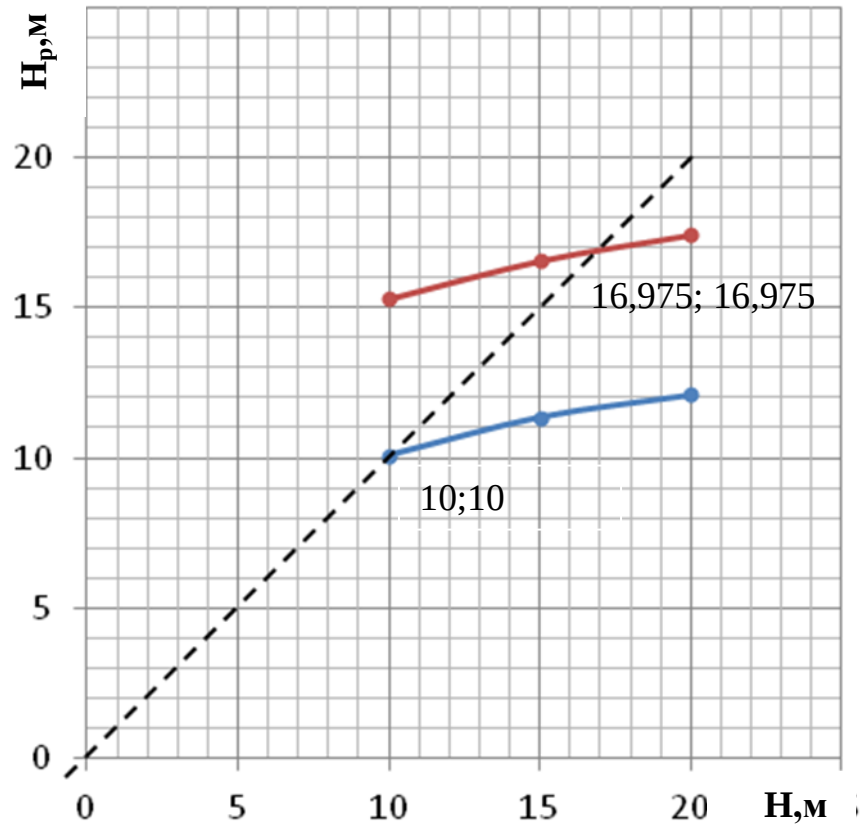

Рисунок 10.1 - Минимальная высота дымовой трубы

Согласно построенным графикам минимально допустимая высота трубы:

$H_{мин}$ =16,975 м (при работе на природном газе)

$H_{мин}$ =10 м (при работе на смеси газов).

Высота существующей дымовой трубы H = 45 м.

При этой высоте (на природном газе): m = 1,054 ; n = 1.

При этой высоте (на смеси газов): m = 0,792 ; n = 1.

Максимальная приземная концентрация вредных веществ при выбросе из одиночного источника определяется по формуле (10.10):

$$C_м = \frac{AMFmn\eta}{H^2\sqrt[3]{V\Delta T}} \qquad (10.10)$$

$$C^{пр}_{м(NO_2)} = \frac{160 \cdot 2,640 \cdot 1 \cdot 1,054 \cdot 1 \cdot 1}{45^2\sqrt[3]{12,518 \cdot 215,5}} = 0,016 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{м(NO_2)}^{см} = \frac{160 \cdot 2,710 \cdot 1 \cdot 0,792 \cdot 1 \cdot 1}{45^2 \sqrt[3]{34,477 \cdot 215,5}} = 0,009 \text{ мг/м}^3$$

Высота существующей трубы соответствует СН-369-74, согласно которым минимальная высота трубы определяется из условия, что максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое $С_м$ не превосходит максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе.

$C_{м(NO_2)}^{пр} = 0,016$ мг/м^3< ПДК(NO_2) = 0,085 мг/м^3 – условие выполнено.

$C_{м(NO_2)}^{см} = 0,009$ мг/м^3< ПДК(NO_2) = 0,085 мг/м^3 – условие выполнено.

Проведя расчёты, можно сделать вывод, что существующая дымовая труба удовлетворяет условию $С_м \leq$ ПДК, поэтому замене не подлежит.

11 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Автоматизация технологических процессов является одним из главных направлений технического прогресса, повышения производительности труда и создания материально-технической базы построения развитого общества [6, 17, 20].

Применим систему управления режимом обжига начался в мае МАИС. Система контроля и управления вращающейся печью проходит в своем развитии четыре этапа:

1. Установка IBM PC совместимого контроллера на вращающейся печи №5.
2. Установка системы контроля и управления печью №5 ЦМП–3 и первой версии регулятора теплового режима.
3. Установка контроллеров системы контроля и управления печью №5 MicroPC.

Эффективность внедрения будет зависеть от того, удастся ли решить важнейшие задачи оптимизации хода технологического процесса обжига на уровне, недостижимом для человека оператора, и минимизации влияния человеческого фактора на результаты производственного процесса в целом.

Управление процессом обжига.

Процесс обжига во вращающейся печи, работающей на смеси, может управляться по нескольким каналам:

- регулирование загрузки сырого известняка;
- регулирование расхода топлива (природного газа / колошникового газа);
- регулирование факела (короткий / длинный);
- регулирование разрежения в пылевой камере;
- регулирование скорости вращения печи.

Процесс обжига в нормальном режиме происходит следующим образом:

1. Загрузка сырого известняка так, чтобы пыль по длине печи перемещалась более равномерно и не скапливалась в пересыпном колодце;
2. Разрежение в пылевой камере регулируется в небольших пределах для стабилизации положения зоны обжига;
3. Подача газа изменяется с целью облегчения управления изменением температуры и положением зоны обжига: если температура начинает быстро изменяться, изменения температуры парируются регулированием подачи газа;
4. Изменение подачи газа является дополнительным каналом управления положением факела, а значит, и зоны обжига;

5. Скорость вращения печи регулируется в зависимости от хода технологического процесса, при падении температуры скорость вращения печи уменьшается, соответственно уменьшается загрузка сырого известняка.

Данный способ управления время от времени приводит к перегрузке печи, в результате чего температура в зоне обжига падает, зона обжига смещается в сторону выхода из печи (горячей головки печи), качество материала падает, резко растет температура на выходе из холодильника, существует вероятность выхода брака и загорания транспортерных лент. Для возвращения процесса в нормальный режим печь ставится «на скорость»: загрузка снижается на 30–50%, скорость вращения печи уменьшается, а иногда, когда этих мер недостаточно, увеличиваются подача газа и разрежение в пылевой камере с целью смещения зоны обжига в сторону загрузочного конца печи при помощи «вытягивания» факела.

Постановка печи «на скорость» приводит к ряду негативных последствий:

1. увеличивается тепловая нагрузка на футеровку: уменьшение загрузки и уменьшение скорости вращения печи, сопровождаемое при необходимости увеличением подачи газа, ведет к быстрому разогреву футеровки, то есть к тепловому удару;
2. возрастает вероятность возникновения аварийных ситуаций: тепловые удары приводят к появлению местных температурных перенапряжений;
3. уменьшается средняя загрузка печи: как правило, оптимально организованный непрерывный технологический процесс выгоднее периодического, каковым является обжиг с постановкой печи на подогрев;
4. увеличивается удельный расход топлива: уменьшение средней загрузки и разогрев футеровки приводят к увеличению удельного расхода топлива на единицу продукции;
5. качество готовой продукции становится непостоянным: изменяется температурный режим печи, перемещается зона обжига, изменяется толщина слоя материала, процесс обжига протекает неравномерно;
6. изменяется газодинамический режим печи: нарушается оптимальное соотношение топливо/воздух, изменяется скорость перемещения газов в пространстве печи, изменяются величины разрежений по длине печи вследствие изменения толщины слоя материала;
7. увеличивается пылевынос: увеличение толщины слоя материала вызывает увеличение скорости движения газов в пространстве печи.

Автоматизированное управление ходом технологического процесса основной своей целью имеет стабилизацию с высокой точностью температурного режима

вращающейся печи с внесением минимальных возмущений в ход процесса, а также управление плавным изменением параметров режима при необходимости оптимальной настройки хода технологического процесса.

Таким образом, автоматизированное управление ходом технологического процесса реализуется как адаптивное управление загрузкой сырого известняка, расходом природного газа и разрежением в зависимости от изменения температур в пылевой камере, в газоходе, в пересыпном колодце и от статистических данных о загрузке и температуре в газоходе.

Адаптивность управления реализуется через изменение коэффициентов передачи регулятора и через использование в качестве настроечных коэффициентов не постоянных величин, а определенным образом обработанных значений самих контролируемых величин. Таким образом, регулятор теплового режима вращающейся печи представляет собой многоконтурную многосвязную адаптивную систему с элементами прогнозирования.

В результате выполнения проекта по разработке регулятора теплового режима (РТР) был сделан вывод о том, что в значительной мере неудачи предшественников объясняются стремлением автоматизировать труд обжигальщика, а не управление технологическим процессом обжига. В результате автоматика не могла выполнить работу обжигальщика лучше, чем сам обжигальщик.

Алгоритм регулирования заключается в выработке параметров загрузки печи, расхода природного газа и разрежения, требуемых для оптимизации хода технологического процесса обжига, с учетом значений следующих наблюдаемых и вычисляемых параметров технологического процесса: средней величины загрузки за последний час; средней величины загрузки за последние пять минут; скорости изменения температуры в пылевой камере; средней скорости изменения температуры в пылевой камере за последние пять минут; ускорения изменения температуры в пылевой камере; скорости изменения температуры в газоходе; ускорения изменения температуры в газоходе; разности средней температуры в пылевой камере и заданной температуры; разности прогнозируемой и текущей температур в пылевой камере; разности прогнозируемой и заданной температур в пылевой камере [29].

11.1 Основные принципы построения регулятора теплового режима

Главным в работе регулятора теплового режима (рисунок 11.1) является принцип внесения минимальных возмущений в ход технологического процесса [36].

Рисунок 11.1 – Схема преобразования регулятора теплового режима

Регулятор постоянно рассчитывает значение загрузки в текущий момент, необходимое для оптимального управления технологическим процессом. Под оптимальным управлением понимается изменение загрузки сырого известняка настолько, насколько это необходимо для удержания хода технологического процесса в заданных границах, без перегрузки или недогрузки печи. Необходимое воздействие на печь достигается путем управления загрузкой таким образом, что среднее значение загрузки, в конечном итоге определяющее ход технологического процесса, остается величиной практически постоянной в промежутке времени, сравнимом с общим временем движения материала в печи.

Все параметры регулятора теплового режима (РТР) расчётные и измеряемые, делятся на три основные группы:

– параметры, определяющие динамику печи, изменение и регулирование режима;
– параметры, определяющие статику печи, стабилизацию режима;
– параметры, определяющие характеристики системы печь – регулятор.

11.2 Логика работы регулятора

Вообще логика работы регулятора может быть достаточно проста, если рассматривать печь как трубу, в которую засыпается сырой магнезит, высыпается порошок, увеличение загрузки приводит к уменьшению температуры и наоборот.

Практически же печь является сложной физико-химической, термо- и газодинамической системой; логика работы регулятора примерно соответствует сложности системы, поэтому «совсем просто» регулятор описать не возможно. Для понимания логики работы регулятора требуется знание того, как происходит управление вращающейся печью. Основным требованием к регулятору, как уже было отмечено, является требование управлять процессом с внесением минимальных возмущений в его ход, поэтому при отстроенном регуляторе, удовлетворяющем этому требованию, печь «идет ровно», берет такую загрузку, какую вообще способна взять, производительность печи остается постоянно высокой, как и качество материала на выходе. По наблюдениям регулятору требуется примерно 2_3 суток, чтобы довести печь до состояния, когда она дает максимально возможную производительность при заданном качестве материала на выходе и практически неизменном расходе газа. Из этого состояния любой «толчок» (резкое отклонение параметров) выводит печь примерно на 3_6 часов; таким образом, если печь «дергать» (пускать/останавливать, греть/загружать), оптимальных параметров хода технологического процесса она вообще никогда не достигнет.

Понятно, что требование полного отсутствия «толчков» по причинам разного характера является практически невыполнимым; поэтому регулятор теплового режима сделан многорежимным и самонастраивающимся. Самонастройка регулятора основана на статистической обработке параметров технологического процесса и определении таких значений, при которых печь будет гарантированно работать, хотя и не в оптимальном режиме. Дальнейшее уточнение значений параметров (точная настройка технологического процесса) происходит в процессе регулирования, при этом определяется градиент изменений и вычисляется оптимальное направление изменения параметров технологического процесса. Внешние возмущения, влияющие на ход технологического процесса, имеют большую или меньшую значимость в зависимости от близости параметров технологического процесса к экстремальным значениям, то есть к таким, когда технологический процесс протекает наиболее эффективно. При разработке регулятора принято, что изменение параметров извне (вручную) невозможно, чтобы исключить случаи непреднамеренного вывода технологического процесса обжига печи за

пределы допустимых значений.

11.3 Структура системы

Система контроля и управления вращающейся печью №5 состоит из четырех функционально самостоятельных частей (рисунок 11.2), соединенных с диспетчерской цеха и между собой через технологическую информационную сеть (ТИС) с протоколом IPX/SPX:

– резервированный контроллер, расположенный в щите КИП;

– вычислительная платформа с функционирующим на ней регулятором теплового режима;

– автоматизированные рабочие места (АРМ) обжигальщика;

– серверы МАИС, Novell NetWare, Windows NT, расположенные в здании цеха КИПиА.

Рисунок 11.2 – Структурна схема АСУ ТП печи №5

Резервированный контроллер выполняет функции, связанные со сбором и первичной обработкой технологической информации, а также управляющие функции.

На АРМ обжигальщика выполняются функции по отображению и архивированию технологической информации:

– отображение параметров технологического процесса посредством графических мнемосхем;

– просмотр графиков изменения параметров по данным из памяти контроллера (ретроспектива до 8 часов);

– просмотр графиков изменения параметров по данным из архива на жестком диске АРМ обжигальщика (ретроспектива до 999 суток).

Таким образом, управление ходом технологического процесса осуществляется независимо от работоспособности устройств верхнего уровня.

Для расширения возможностей и повышения надежности работы АСУ ТП используются серверы Novell NetWare, МАИС, Windows NT.

Серверы Novell NetWare используются в качестве файл серверов для хранения данных, архивов и т.п., а также для автоматизации контроля, управления, эксплуатации и сопровождения программного обеспечения. Серверы МАИС выполняют функции по обработке данных, получаемых через ТИС в соответствии с определенными алгоритмами (статистика, контроль нарушений технологии, учет расходов энергоресурсов и сырья, ведение протоколов наблюдений метрологических характеристик системы и т.п.). Сервер Windows NT используется как сервер приложений под Windows.

12 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

12.1 Планирование сметы капитальных и текущих затрат на перевод вращающейся печи №5 ОАО «ЧЭМК» на сжигание смеси газов

12.1.1 Расчет капитальных затрат на перевод

Капитальные затраты, связанные с переводом печи, включают в себя:

1.Затраты на разработку проекта:

Проектными работами занимается проектно- конструкторский отдел. Затраты на проект перевода печи №5 обжигового цеха ОАО «ЧЭМК» составляют 350000,00 рублей (по данным ПКБ ОАО «ЧЭМК»).

2.Затраты на покупку и монтаж нового оборудования:

Стоимость оборудования и монтажных работ определяется по прейскуранту завода-изготовителя и сведена в таблицу 12.1.

Таблица 12.1 – Стоимость оборудования и монтажных работ [42, 43, 44]

Наименование оборудования	Количество	Стоимость единицы, тыс. руб.		Общая стоимость, тыс. руб.	
		Оборудования	Монтажных работ	Оборудования	Монтажных работ
1. Горелка ГВП-1	1	321,00	64,00	321,00	64,00
2. Плита основания горелки	1	57,00	11,56	57,00	11,56
3. Газовый клапан электромагнитный КЗЭГ-150	2	38,00	7,78	77,80	15,56
4. Кран шаровый газовый КШЦФ-150	2	5,40	1,08	10,80	21,60
5. Комплект автоматики управления печью№5	1	180,00	54,00	180,00	54,00
ИТОГО:	7			646,6	166,72

3.Затраты на транспортировку:

Транспортные расходы на транспортировку и складирование оборудования принимаем 5% от стоимости оборудования.

Транспортные затраты составят:

$$U_{транс} = 0,05 \cdot 646,6 = 32,33 \text{ тыс. руб.},$$

4.Затраты на демонтаж старой горелки:

Необходимо демонтировать 1 горелку. Затраты на демонтаж одной горелки печи составляет 70,00 тыс. руб. (по данным ЦРМО ОАО «ЧЭМК»).

Результаты сведем в таблицу 12.2.

Таблица 12.2 – Смета капитальных затрат на перевод печи

Наименование затрат	Стоимость, тыс. руб.
1.Затраты на проект	350,00
2.Стоимость нового оборудования	646,60
3. Стоимость строительно-монтажных работ	166,72
4.Транспотрные затраты	32,33
5.Затраты на демонтаж старых котлов	70,00
6.Пуско-наладочные работы	80,00
ИТОГО	1345,65

Стоимость реализации демонтированной горелки массой 0,67 кг по цене лома составляет, при условии, что стоимость 1 тонны равна 6500 руб. (по данным ООО «Лом74»):

$$0,67 \cdot 6500 = 4355 \text{ руб.}$$

В итоге капитальные затраты составят:

$$К_{рек} = 1345,65 – 4,36 = 1341,3 \text{ тыс. руб.}$$

12.1.2 Калькуляция текущих затрат на обслуживание печи №5 ОАО «ЧЭМК»

Для определения некоторых статей текущих расходов необходимо знать стоимость оборудования комплекса вращающейся печи №5. Стоимость оборудования определяется по прейскуранту цен завода-изготовителя (таблица 12.3).

Таблица 12.3 – Стоимость оборудования комплекса всей печи №5 (с учетом нового и существующего оборудования) [44]

Оборудование	Количество, ед.	Стоимость, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
1. Обжиговая вращающаяся печь №5	1	5643,00	5643,00
2. Горелка ГВП-1	1	321,00	321,00
3. Вентилятор ВР-80-75-0,2/16	3	34,00	102,00
4. Газовый клапан электромагнитный КЗЭГ-150	2	38,90	77,80
5. Кран шаровый газовый КШЦФ-150	2	5,40	10,80
6. Комплект автоматики управления печью№5	1	180,00	180,00
7. Дымосос ДМ-3,5-1500	2	36,85	73,70
8. Комплект газовой арматуры	1	120,00	120,00
ИТОГО:			6528,30

Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание печи №5 обжигового цеха ОАО «ЧЭМК» с учётом перевода представлена в таблице 12.4.

Таблица 12.4 – Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание для печи №5 с учётом перевода

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Расчетная формула	Величина
1	2	3	4
1. Годовой расход газа	млн.м³/год	$B_{год}$	6,66
2. Тариф на природный газ ($Ц_г$) (по прейскуранту поставщика)	руб./м³	$Ц_т$	3,1
3. Годовые затраты на природный газ	тыс.руб./год	$И_т = Ц_т \cdot В_{год}$	$6{,}66 \cdot 10^6 \cdot 3{,}1/1000=20646$

Продолжение таблицы 12.4

1	2	3	4
4. Основная и дополнительная зарплата эксплуатационных рабочих	тыс.руб./год	годовой фонд	36357,4
5. Отчисления на социальные нужды (26% от п.4)	тыс.руб./год	$Н_с$· Годовой фонд	9452,9
6. Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт (1% от стоимости оборудования), амортизацию оборудования (норма 10%), основную и дополнительную зарплату ремонтного персонала, а также отчисления на соц. нужды (26% от зарплаты ремонтников).	тыс.руб./год		0,01·6528,3+ +0,1·6528,3+ +812,1+ +0,26·812,1= =1741,4
7. Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления цеха, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений (0,25% от стоимости элементов схемы, а также отчисления на соц. нужды (26% от зарплаты).	тыс.руб./год		540+ +0,0025·6528,3 + +0,26·540= =696,7
8. Прочие производственные расходы (10% от суммы зарплаты всех категорий персонала)	тыс.руб./год	$И_{пр}=0,1\cdot\sum И_з$	0,1·37709,5= 3770,9
9. Итого затрат	тыс.руб./год	$И_{\sum} = \sum И_i$	73204,8
10. Годовое производство известняка	т/год	Q`	62020,8
11. Себестоимость обжига 1 т известняка	руб./т	$C = И_{\sum} / Q`$	$73204,8\cdot10^3$/ 62020,8 =1180,3

Калькуляция текущих затрат на энергетическое обслуживание печи №5 до перевода представлена в таблице 12.5.

Таблица 12.5 – Калькуляция текущих затрат на обслуживание печи №5 до проведения перевода

Показатели и статьи затрат	Единица измерения	Расчетная формула	Величина
1	2	3	4
1. Годовой расход газа	млн.м³/год	$B_{год}$	16,1
3. Тариф на природный газ ($Ц_г$) (по прейскуранту поставщика)	руб./м³	$Ц_т$	3,1
3. Годовые затраты на природный газ	тыс.руб./год	$И_т = Ц_т \cdot В_{год}$	$16{,}1 \cdot 10^6 \cdot 3{,}1/1000=49910$
4. Основная и дополнительная зарплата эксплуатационных рабочих	тыс.руб./год	годовой фонд	36357,4
5. Отчисления на социальные нужды (26% от п.4)	тыс.руб./год	Нс· Годовой фонд	9452,9
6. Содержание и эксплуатация энергооборудования, включая содержание оборудования и его текущий ремонт (1% от стоимости оборудования), амортизацию оборудования (норма 10%), основную и дополнительную зарплату ремонтного персонала, а также отчисления на соц. нужды (26% от зарплаты ремонтников).	тыс.руб./год		0,01·6528,3+ +0,1·6528,3+ +812,1+ +0,26·812,1= =1741,4
7. Цеховые расходы, включая зарплату персонала управления цеха, содержание и текущий ремонт цеховых зданий и сооружений (0,25% от стоимости элементов схемы, а также отчисления на соц. нужды (26% от зарплаты).	тыс.руб./год		540+ +0,0025·6528,3 + +0,26·540= =696,7

Продолжение таблицы 12.5

1	2	3	4
8. Прочие производственные расходы (10% от суммы зарплаты всех категорий персонала)	тыс.руб./год	$И_{пр}=0,1\cdot\sum И_з$	0,1·37709,5= 3770,9
9. Итого затрат	тыс.руб./год	$И_{\sum}=\sum И_i$	101929,3
10. Годовое производство известняка	т/год	Q`	62020,8
11. Себестоимость обжига 1 т известняка	руб./т	$C=И_{\sum}/Q`$	$101929,3\cdot10^3$/ 62020,8 =1643,5

12.2 Экономическая выгода проекта

Экономия текущих затрат составит (12.1):

$$\Delta C=C_2-C_1, \qquad (12.1)$$

где C_1 – общая сумма затрат на обслуживание печи после проведения перевода;

C_2 – общая сумма затрат на обслуживание печи до проведения перевода.

$$\Delta C=101929,3-73204,8=28724,5 \text{ тыс. руб./год}$$

Экономическая эффективность принятых технических решений может быть определена таким показателем, как срок окупаемости. Для определения срока окупаемости – времени, в течение которого возмещаются дополнительные капитальные вложения за счет экономии на издержках производства, используют формулу:

$$T=\frac{K}{\Delta C} \qquad (12.2)$$

где К = 1341,3 тыс. руб. – капитальные затраты; ΔС = 28724,5 тыс. руб./год – экономия текущих затрат.

$$T = \frac{1341,3}{28724,5} = 1 \text{ месяц}$$

Вывод: по результатам расчета получили срок окупаемости капитальных затрат 1 месяц за счет экономии текущих затрат менее 5 лет. Основная экономия текущих затрат достигается за счет снижения затрат на топливо (природный газ).

12.3 SWOT-анализ для реализации проекта реконструкции

SWOT-анализ – это определение сильных и слабых сторон предприятия, а также возможностей и угроз, исходящих из его ближайшего окружения (внешней среды).

1. Сильные стороны (Strengths) – преимущества предприятия;
2. Слабые стороны (Weaknesses) – недостатки предприятия;
3. Возможности (Opportunities) – факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества предприятия на рынке;
4. Угрозы (Threats) – факторы, которые могут потенциально ухудшить положение предприятия на рынке.

Так как дипломный проект посвящен переводу печи, то производится SWOT-анализ для двух вариантов. «Печь №5 без проведения перевода» представлена в таблице 12.6.

Таблица 12.6 – Печь №5 без проведения перевода

Strengths:	Weaknesses:
1) Опыт работы с существующим оборудованием; 2) Отсутствие затрат на разработку проекта и переобучение персонала; 3) Отсутствие затрат на покупку нового оборудования;	1) Затраты на текущий ремонт оборудования; 2) Менее надежная автоматизация оборудования; 4) Возможность отказа старого оборудования;
Opportunities:	Threats:
1) Устойчивый спрос на готовую продукцию;	1) Увеличение цен на природный газ;

А для варианта «Печь №5 с проведением перевода» – в таблице 12.7.

Таблица 12.7 – Печь №5 с проведением перевода

Strengths:	Weaknesses:
1) Эффективное использование ВЭР (феросплавного газа); 3) Повышение уровня автоматизации производства; 4) Увеличение межремонтного периода; 5) Бесперебойная работа оборудования;	1) Поиск новых поставщиков оборудования; 2) Затраты на переоборудование печи и цеха КИПиА; 3) Затраты на переподготовку персонала; 4)Затраты на разработку проекта; 5) Значительные сроки внедрения проекта – простой оборудования;
Opportunities:	Threats:
1) Устойчивый спрос на готовую продукцию; 2) Существование новых технологий в сфере АСУ ТП; 3) Увеличение потребителей готовой продукции;	1) Задержки с поставкой нового оборудования и материалов;

Перевод вращающейся печи №5 является лучшим вариантом и позволит более эффективно использовать имеющиеся ресурсы.

12.4 Планирование целей предприятия и проекта

Дерево целей представляет структурную модель, показывающую подчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. При построении дерева целей используются такие их свойства, как соподчиненность, развертываемость и соотносительная важность.

Признаком завершения построения дерева целей является формулировка таких целей, которые дальше не разделяются и дают конечные результаты, определенные главной целью.

На рисунке 12.1 изображено планирование целей проекта реконструкции печи №5 ОАО «ЧЭМК».

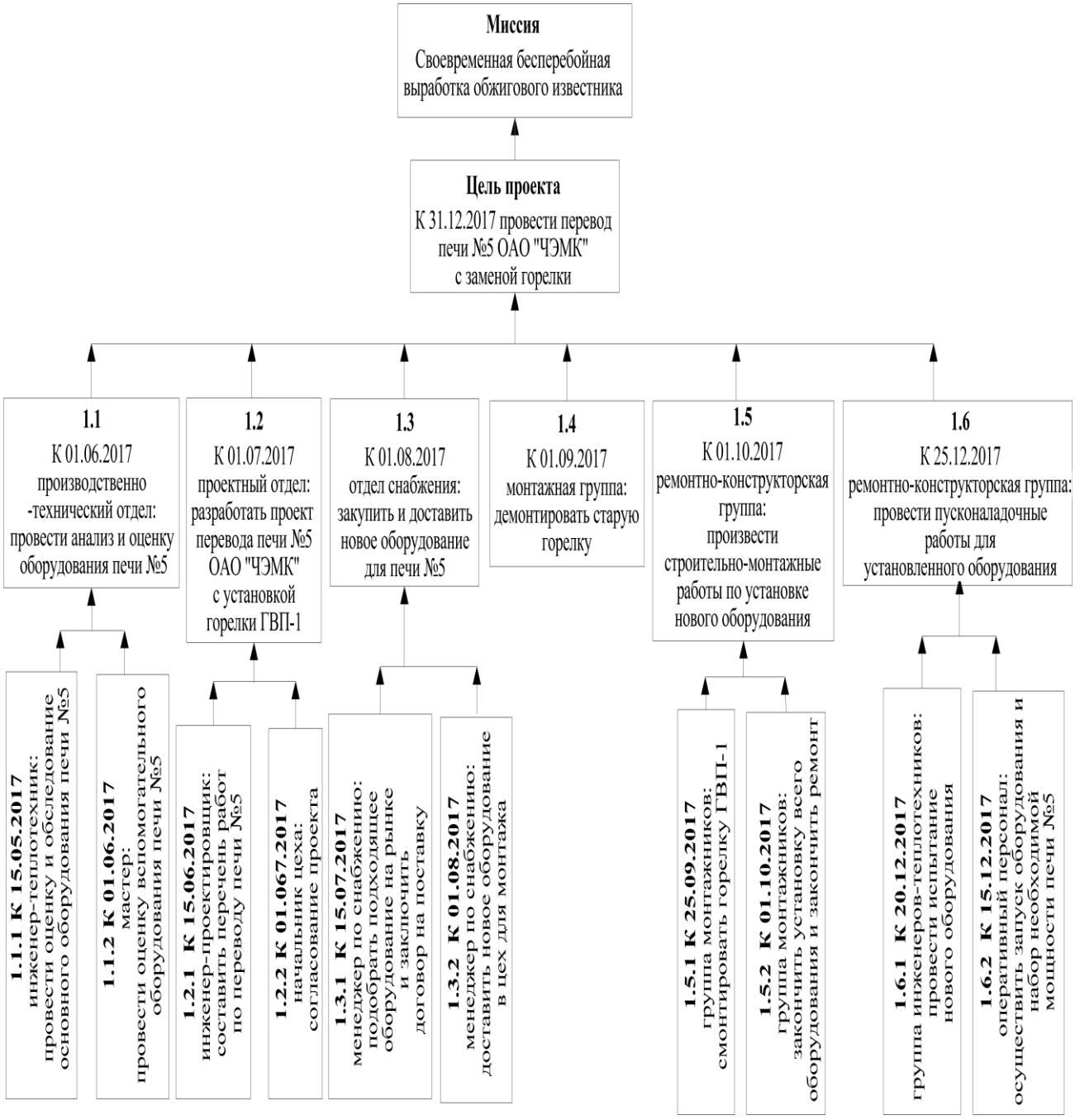

Рисунок 12.1 – Планирование целей проекта реконструкции печи №5 ОАО «ЧЭМК» в дереве целей

12.5 Оценка движущих и сдерживающих сил и ресурсов.

На схеме поля сил изменений системы представлено соотношений влияний движущих сил реализации целей и сдерживающих сил, этому препятствующих. Данное поле характеризует организационную надежность состояния предприятия,

устойчивость и направленность его развития. Соотношение влияния движущих сил и сдерживающих сил можно показать на рисунке 12.2.

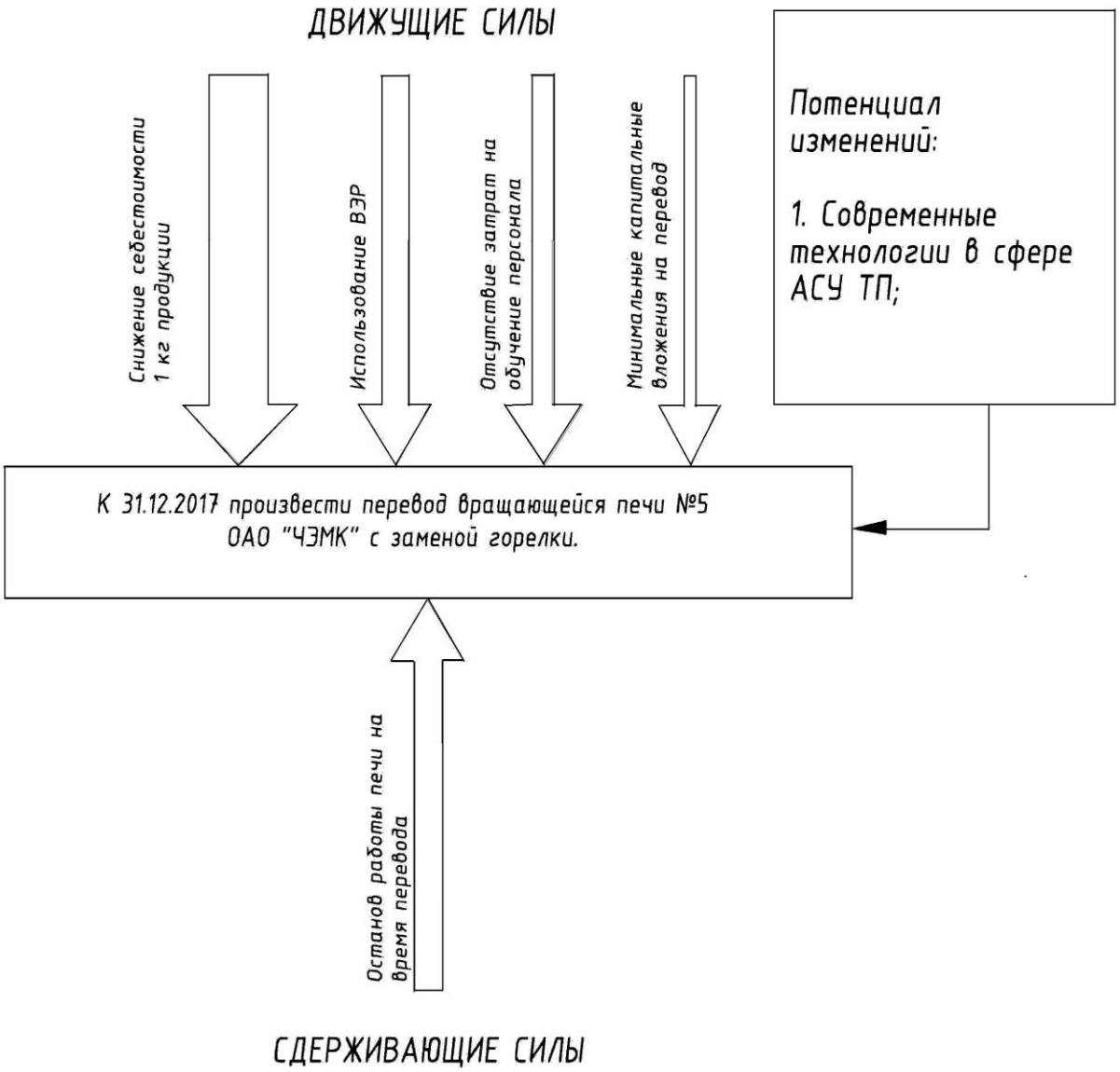

Рисунок 12.2 – Поле сил изменений системы «Печь №5 ОАО «ЧЭМК»

Для реализации проекта необходимо оценить влияние различных факторов на достижение цели проекта.

Согласно предложенной схеме поля сил движущие силы в совокупности с потенциалом изменений преобладают над сдерживающими. Это значит, что проект может быть реализован, а после проведения реконструкции снизится себестоимость готовой продукции (известняка) за счет уменьшения текущих затрат на топливо.

13 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

13.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов

Вращающейся печь №5 представляет собой металлический барабан с внутренним диаметром 2,7 м, длиной 65,6 м, имеющий уклон по отношению к горизонту 4 градуса. Внутри барабан футерован огнеупорным кирпичом. Толщина шамотной футеровки 230 мм. С помощью бандажей, одетых на корпус печи, барабан опирается на роликовые опоры, установленные на отдельных фундаментах. Предлагается: существующую горелку заменить на горелку ГВП-1 для возможности сжигания смеси газов: природного и ферросплавного.

Кроме того, в качестве вспомогательного оборудования вращающейся печи №5 эксплуатируется следующий ряд технологического оборудования: вентиляторы, дымососы, газовое запорно-регулирующее оборудование, к которому эксплуатационный и ремонтный персонал имеет непосредственное отношение.

Опасные и вредные производственные факторы рабочей среды и трудового процесса (ОиВФ и ТП) делятся на физические, химические, биологические и психофизические. В ГОСТ 12.0.003-80 «Опасные и вредные производственные факторы» приводится классификация ОиВФ и ТП [15, 18].

В зоне обслуживания печи машинистами существуют [2]:

1. Физические факторы:

– параметры микроклимата: температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение от горячих поверхностей;

– повышенный уровень постоянного шума;

– повышенный уровень вибрации в обжиговом цехе;

– освещение;

2. Химические факторы:

– топливо печи – природный и колошниковый газы и их продукты сгорания: углекислый газ, оксиды азота, оксиды углерода, бензапирен, летучие органические соединения.

3. Факторы трудового процесса:

– тяжесть труда – характеристика трудового процесса, отражающая преимущественно нагрузки на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма;

– напряженность труда – нагрузка преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника;

– травмоопасные факторы:

– движущиеся и вращающиеся части механизмов могут вызвать механическое повреждение тела человека при попадании частей тела в поле действия этих частей механизмов;

– возможность поражения электрическим током от незащищенных и неизолированных электроприводов оборудования, в частности, насосов;

– возможность получения ожогов.

– аварийно возможные ситуации:

– утечка топлива;

– взрыв печи;

– пожар;

При установке новой горелки для вращающейся печи предусмотрены ряд мероприятий, сигнализирующих или предотвращающих негативные факторы рабочей среды. Рассмотрим мероприятия, способствующие подавлению либо уменьшению влияния вредных факторов.

В таблице 13.1 представлен данный анализ.

Таблица 13.1 – Мероприятия минимизации вредных факторов.

Параметр	Печь №5
1	2
Тепловая изоляция	Асбестосодержащие материалы толщиной 10 мм. Внутри барабан футерован огнеупорным кирпичом толщиной 230 мм [9]
Опасные летучие газы	Предусмотрены дачики улавливания метана, углекислого газа и др., сигнализирующих и отключающих подачу газа
Вибрация	Предусмотрена антивибрационная вставка перед горелкой [3]
Предохранительный клапан	Для предотвращения разрыва печи либо его частей, ожогов и повреждения другого технологического оборудования [5]
Управление печью [6, 11]	Автоматически, выдает сигнали на управление существующими котлами при нехватке мощности

Продолжение таблицы 13.1

1	2
Отслеживание даления газов перед горелкой	Установлены манометры, датчики давления и автоматика котла отслеживает данные факторы, сигнализирует и приводит в действие запорную арматуру при превышении допустимых значений [10]
Розжиг печи и контроль технологических процессов	Автоматически ↓ Предотвращает поражение электрическим током, возникновения пожара, ожогов и др.
Управление печью	Система автоматики горелок обеспечивает остановку горелок: – при погасании факела; – при пропадании напряжения; – перегреве печи и продукции; – понижении давления газа перед горелкой; – повышении давления газа перед горелкой; – уменьшения разряжения в печи; – увеличения разряжения в печи; – понижении давления воздуха перед вентилятором горелки.
Смотровые окна (отслеживание процесса обжига)	Установлены жаропрочные ламинированные стекла в метллаческой оправе
Управление запорно-регулирующей арматуры	Приминение электроприводов снижает нагрузку на функциональные системы организма оператора и эксплуатирующего персонала цеха

Освещение цеха и рабочей зоны печи предусмотрено существующее. Оно соответсвует нормам СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» зрительные работы машиниста цеха относятся к разряду III. В операторской норма 300 лк, коэффициент пульсации $\hat{E}_{\bar{I}} = 15\%$ [8].

Из представленной выше таблицы 13.1 можем сделать вывод, что печь оснащена необходимыми средствами, предотвращающими [4]:

– возможность поражения электрическим током от незащищенных и неизолированных электроприводов оборудования, в частности, вентиляторов;

– возможность получения ожогов.

– утечку топлива;

– взрыв печи;

– пожар;

Работа печи №5 ведется с присутствием машиниста.

Соответственно мы не можем исключить факторы рабочего процесса как тяжесть труда. Но для уменьшения данных факторов предусмотрены ряд мероприятий:

– рабочее место оператора находится непосредственно в обжиговом цехе при достаточной толщине перегородочных стен, соответственно уменьшение виброакустических и шумовых факторов;

– снабжение оператора бирушами либо наушниками;

– нагрузки на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма практически исключается [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном выпускном квалификационном проекте рассчитан проект реконструкции вращающейся печи №5 обжигового цеха ОАО «ЧЭМК». Проектом предусматривается замена существующей горелки на горелку ГВП-1 для реализации сжигания смеси газов: колошникового и природного. Проект рассматривает несколько разделов, по которым сделан вывод о целесообразности и необходимости проведения данной реконструкции:

1. Расчет произведен для выпуска готовой продукции в количестве 8,85 т/ч извести. При этом расход природного газа составляет 950 $м^3$/ч, а колошникового 4100 $м^3$/ч. Выполнены расчеты материального и теплового баланса печи №5 при работе на смеси газов.

2. В проекте предусмотрены мероприятия по технике безопасности, охране труда, электро- и противопожарной безопасности. Выявлены основные производственные вредные факторы и описаны правила безопасной эксплуатации водогрейных котлов.

3. Для обеспечения экологической безопасности проекта выполнен поверочный расчет дымовой трубы, в результате которого определено что существующая дымовая труба диаметром 1500 мм, диаметром устья 1260 мм и толщиной футеровки 120 мм удовлетворяет всем требованиям по защите окружающей среды, так как приземная концентрация выбросов двуокиси азота NO_2 не превышает установленный ПДК.

4. Приводится описание схемы автоматического контроля и регулирования основных параметров вращающейся печи №5.

5. По технико-экономическим показателям данный проект окупиться через 0,05 года, при этом обслуживание котельной намного выгоднее. Основной экономической выгодой считается экономия текущих затрат на использовании природного газа.

Все необходимые аспекты перевода вращающейся печи №5 учтены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации;

2 ГОСТ 12.0.003-80. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. Издательство стандартов, 2002. – 4 с.;

3 ГОСТ 12.1.01. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.;

4 ГОСТ 12.13130-2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: Издательство МЧС РФ. – 35 с.;

5 ГОСТ 21204-97. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. М.: Издательство стандартов. – 55 с.;

6 ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. М.: Издательство стандартов, 1987. – 18 с.;

7 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к помещениям производственных помещений. М.: Издательство стандартов, 1997. – 12 с.;

8 СП 52.13330.2011. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М.: Издательство стандартов, 2011. – 75 с.;

9 СП 61.13330.2012. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: Издательство МинРазв РФ, 2012. – 43 с.;

10 СП 62.13330.2011. СНиП 41-02-2003. Газораспределительные системы. М.: Минрегион, 2011. – 66 с.;

11 СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. М.: ВНИИпроектэлектромонтаж, 1985. – 53 с.;

12 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. – 57 с.;

13 Алабугин, А.А. Производственный менеджмент в энергетике предприятия: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 1998. – 69 с.;

14 Артунян, А.А. Основы энергосбережения / А.А. Артунян. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2007. – 600 с.;

15 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности6 учебник / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Казьяков. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.;

16 Бельский, А.П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин. СПб.: Издательство СПбГТУРП, 2007. – 135 с.;

17 Бисерова, В.А. Метрология, стандартизация и сертификация / В.А. Бисерова, Н.В. Демидова, А.С.Якорева. – М.: Эксмо, 2007. – 34 с.;

18 Бориков, С.И. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие с элементами самостоятельной работы студентов / С. И. Бориков, Л. М. Киселева, И. С. Окраинская, И. П. Палатинская. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. – 200 с.;

19 Винтовкин, А.А. Современные горелочные устройства: справочник / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л.Гусовский. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.;

20 Волошенко, А.В. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебно-методическое пособие / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов. – Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 109 с.;

21 Грибанов, А. И. Защита окружающей среды при работе теплоэнергетических систем / А.И. Грибанов. Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – 71 с.;

22 Данилов, О.Л. Энерго- и ресурсосбережение в теплопередающих и теплоиспользующих установках: учебное пособие / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, Г.П. Шаповалова. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 32 с.;

23 Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.;

24 Лисиенко, В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: справочное издание / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.;

25 Лисиенко, В.Г. Топливо: рациональное сжигание, управление и технологическое использование / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2003. – 833 с.;

26 Лисиенко, В.Г. Улучшение топливоиспользования и управление теплообменом в металлургических печах / В.Г. Лисиенко, В.В. Волков, В.К. Маликов. М.: Металлургия, 1988. – 229 с.;

27 Мартынов, В.И. Освоение обжига известняка на ВОП-5: отчет / В.И. Мартынов. – Челябинск: Издательство ОАО «ЧЭМК», 1996. – 42 с.;

28 Монастырев, А.В. Производство извести / А.В. Монастырев. – М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.;

29 Плетнев, Г.П. Проектирование, монтаж и эксплуатация автоматизированных систем управления теплоэнергетическими процессами / Г.П. Плетнев, Ю.П. Зайченко, Е.А. Зверев. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 316 с.;

30 Полтарацкая, Е.К. Сборник трудов ОАО «ЧЭМК» / Е.К. Полтарацкая, Н.А. Сперанская. – Челябинск: Издательство ОАО «ЧЭМК», 1971. – 299 с.;

31 Прахин, Н.Ф. Топливо и теория горения / Н.Ф. Парахин, В.В. Шелудченко. – Севастополь: Издательство Вебер, 2003. – 170 с.;

32 Пугач, Л.И. Энергетика и экология: учебник / Л.И. Пугач. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2009. – 184 с.;

33 Сидельковский, Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Л.Н. Сидельковский, Ю.Б. Юренв. – Издательство Бастет, 2009. – 528 с.;

34 Сидоренко, А.В. Теплотехническое обследование обжига вращающихся печей цеха обжига известняка: отчет / А.В. Сидоренко. – Челябинск: Издательство ОАО «ЧЭМК», 1997. – 35 с.;

35 Технический паспорт горелки ГВП-1. Екатеринбург: Издательство Уралэнергочермет, 2008. – 15 с.;

36 Шатилов, О.К Автоматизированная система контроля и регулирования вращающихся печей / О.К. Шатилов, А.С. Челпанов. Челябинск: Легенда, 2015. – 8 с.;

37 Шульман, В.Л. Методические основы природоохранной деятельности ТЭС / В.Л. Шульман. Екатеринбург: Уральск, 2003. – 184 с.;

38 Щукин, А.А. Промышленные печи и газовое хозяйство / А.А. Щукин. – М.: Энергия, 1973. – 224 с.;

39 Исследование тепломассообменных процессов в барабанной печи для выплавки синтетических шлаков. – http://masters.donntu.org/2011/fmf/sys – oiev/diss/index.htm.

40 Каустический доломит: сырье, производство, твердение, свойства. – http://studopedia.info/2-56248.html;

41 Обжиг извести во вращающихся печах. –http://ilovedomain.ru/uchebnyj-material/2-kurs/shpory-tvikm;

42 Официальный сайт АО «Газовик-Энерго». – http://gazovik-sbyt.ru/about;

43 Официальный сайт ЗАО «Чибитал Унигаз». – http://www.cibita – lunigas.ru/about/index.html;

44 Официальный сайт Самарского завода «Строммашина». – http://www.strommash.ru/category/catalog;

45 Производство извести во вращающихся печах. – http://pechnoedelo.com/promyshlennye/pech-dlya-proizvodstva-izvesti.html;

46 Официальный сайт ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат». – http://www.chemk.ru/;

47 Отходы производства. – http://ferabest.narod.ru/index/0-5.