ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра "Промышленная теплоэнергетика"

Курсовая работа

по дисциплине: Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки

Теплоэнергетический расчет известково-обжигательной печи

Преподаватель

к.т.н. Курбатская Н.А.

Студент группы 05-ПТЭ

Тимошенко О.С.

Брянск 2008

Произведен теплоэнергетический расчет известково-обжигательной печи, выполнены материальные расчеты топочного и технологического процесса обжига известняка, расчет параметров тепловой схемы технологического процесса, определена продолжительность тепловой обработки и найдены основные размеры рабочего пространства шахтной печи, обеспечивающие заданную производительность установки.

содержание

Введение

Исходные данные

1. Материальные расчеты теплотехнологического процесса

## 1.1 Расчет топочного процесса

## 1.2 Материальный расчет технологического процесса

2. Выбор рациональной структуры тепловой схемы

3. Материальный баланс теплотехнологического процесса и тепловой баланс рабочей камеры

## 3.1 Материальный баланс теплотехнологического процесса обжига известняка

## 3.2 Тепловой баланс рабочей камеры

4. Определение размеров рабочей камеры шахтной известково-обжигательной печи

Заключение

Список литературы

# Введение

Промышленный теплотехнологический комплекс включает в себя высокотемпературные теплотехнологические системы, основным технологическим звеном которых являются различные промышленные печи, конвертеры, газогенераторы, а также газовые высокотемпературные теплотехнологические установки.

Печь-это тепловое устройство, в котором происходит преобразование того или другого вида энергии в теплоту и передача её материалу, подвергаемому тепловой обработке в тех или иных технологических целях.

Высокотемпературные теплотехнологические установки – это технологическое устройства, предназначенные для осуществления заданных химических и физико-химических превращений исходных веществ и материалов, при оптимальных температурах.

Высокотемпературные теплотехнологические процессы и высокотемпературные теплотехнологические установки лежат в основе многих процессов, таких, как: плавка металлов, изготовление деталей машин, строительных материалов, производство продуктов химии и нефтехимии, пищевая промышленность.

К важнейшим особенностям теплотехнологического процесса относятся: агрегатное состояние и состав исходных технологических материалов, число ступеней технологического процесса и их содержание, агрегатное состояние и состав продуктов технологического процесса, термодинамические параметры процесса (температура, давление), участие в технологическом процессе продуктов горения топлива.

Исходными материалами высокотемпературных теплотехноло-гических процессов чаще всего являются твердое минеральное сырье и полученные из него полупродукты, а также штучные полупродукты из металлов и металлических сплавов.

В данной работе технологическим продуктом процесса, является известь. Известь - вяжущий материал, получаемый обжигом и последовательной переработкой известняка, мела и других известково-магнезиальных горных пород.

Технологическим сырьем для получения извести служат природные карбонатные породы: известняк, мел, мраморная крошка, ракушечник и др. В производстве извести используются преимущественно карбонатные породы следующего состава:

СаСО3 ≥ 90%; MgCO3 ≤ 1…3%; SiO2 ≤ 4%; Аl2О3 + Fe2O3 ≤2% и H2O ≤18%.

Основными стадиями технологического процесса обжига известняка являются нагрев технологического сырья до температуры начала термической диссоциации СаСО3, диссоциирующей обжиг и охлаждение технологического продукта.

В пределах первой стадии, в процессе нагрева технологического сырья от tm.с. до tн.п., происходит удаление из сырья влаги и практически полностью завершается термическое разложение карбоната магния по реакции

MgCO3↔MgO + СО2.

В пределах второй стадии сырье нагревается до максимальной температуры  и идет термическое разложение СаСО3

СаСО3 ↔СаО + СО2.

Третья стадия рассматриваемого технологического процесса не всегда обязательна. Если есть возможность использования у потребителя горячей извести, то ее охлаждение в обжиговой печи может оказаться нецелесообразным. В рамках курсовой работы рассматривается наиболее распространенный случай, когда продукт направляется на склад; в этом случае третья стадия процесса обжига известняка обязательна.

Все ступени теплотехнологического процесса осуществляются в реакторах, имеющих от одной до нескольких зон.

Шахтная печь - высокотемпературная теплотехнологическая установка, которая представляет из себя установленную вертикально на фундаменте шахту, снабженную в верхней части устройством для загрузки исходных материалов (в данной курсовой работе это крупно кусковой известняк), а в нижней – механизм для выгрузки продукции.

Конструктивная схема шахтной печи, имеет кроме зоны высоких температур (зона обжига и горения (ЗО)) еще две теплотехнические зоны рабочего пространства: экономайзерную зону (ЭЗ) и зону регенеративного охлаждения теплотехнического продукта (ЗРО). Через ЗРО шахтных печей, природным газом, целесообразно пропускать только часть расходуемого на сжигание топлива воздуха, а остальной подавать через двухпроводные горелки и воздушные сопла в ЗО. Такая схема распределения воздуха обеспечивает удовлетворительную полноту сжигания природного газа при относительно небольших коэффициентах расхода воздуха. Попытки использовать весь воздух для охлаждения технологического продукта в ЗРО с подачей всего природного газа через однопроводные горелки приводили к значительному росту химического недожега, до 30%.При определенных условиях нагрев воздуха, вводимого в ЗО помимо ЗРО, может дать заметное снижение видимого удельного расхода топлива на процесс. Подводимый к двухпроводным горелкам и воздушным соплам ЗО воздух можно нагреть путем использования теплоты отходящих газов в воздухоподогревателе ВП.

# Исходные данные

Производительность печи .

Характеристика технологического сырья (известняка):

а) состав сухого известняка в %

,



б) влагосодержание ;

в) плотность ;

г) средний диаметр кусков .

Характеристика процесса обжига и технологического продукта:

а) температурный уровень процесса ;

б) температура начала термической диссоциации  ;

в) степень диссоциации  ,  ;

г) унос технологического сырья в %, от массы технологического сырья ;

д) плотность извести .

Характеристика компонентов горения и топочного процесса

а) топливо – природный газ из газопровода №4:



влагосодержание топлива ;

б) окислитель – атмосферный воздух, коэффициент расхода воздуха ;

влагосодержание воздуха 

в) химический недожог топлива .

Параметры тепловой схемы:

а) температура топлива ;

б) температура холодного воздуха ;

в) температура технологического сырья ;

г) доля воздуха, проходящего через зону регенеративного обогрева ;

д) температура горячего воздуха на выходе из воздухоподогревателя .

# 1. Материальные расчеты теплотехнологического процесса

# В теплоэнергетическом расчете процесса обжига известняка материальные расчеты топочного и технологического процесса целесообразно производить совместно, так как процесс горения газообразного топлива совмещен с диссоциацией известняка. Большая часть тепла, которая образуется при разложении углеводородов, идет на диссоциацию карбонатов.

## 

## 1.1 Расчет топочного процесса

При проведении материального расчета топочного процесса, как и всех других видов теплоэнергетического расчета, кроме расчета химического недожога, исходят из предположения о том, что в ходе его осуществления происходит полное сгорание топлива.

В материальном расчете топочного процесса определяем удельный расход воздуха и удельные выходы продуктов горения природного газа.

Запишем уравнение материального баланса для топочного процесса:



Определяем удельный расход воздуха, необходимого для горения, как произведение коэффициента расхода воздуха  и теоретического количества расходуемого воздуха :



где содержание в природном газе углеводородов (),% объёма.

Удельный выход углекислого газа определяем по формуле:

,

где содержание в природном газе углекислого газа, % объёма.





Удельный выход водяных паров определяем по формуле:

,

где влагосодержание топлива,

влагосодержание воздуха





Удельный выход азота, переходящего в продукты сгорания из воздуха и топлива, определяем по формуле:



где содержание в природном газе азота, % об.

Удельный выход кислорода, который не участвовал в процессе горения:



Удельный выход продуктов горения (учитывая удельный выход водяных паров):

,

где  удельный выход углекислого газа;

 удельный выход азота;



Удельный выход сухих продуктов горения:



## 1.2 Материальный расчет технологического процесса

В материальном расчете технологического процесса определяем удельный расход технологического сырья  и удельные выходы продуктов обжига известняка, которые отнесены к килограмму технологического продукта, т.е. к килограмму извести, 

Запишем уравнение материального баланса для технологического процесса:



Определяем удельный расход технологического сырья:

,

гдеунос технологического сырья в % от массы технологического сырья,

[]=94%содержание  в известняке;

 - степень диссоциации ,

- молярная масса карбоната кальция;

- молярная масса углекислого газа.



Удельный расход влажного технологического сырья:

,

влагосодержание технологического сырья;



Удельный выход уноса:



Удельный выход неразложившихся карбонатов кальция и магния, окиси магния, углекислого газа, водяных паров и извести:







Удельный выход СО2 складывается из удельного выхода СО2 из  удельного выхода 









Удельный выход водяных паров:





Технологическим продуктом является известь, которая представляет собой многокомпонентный продукт.



В состав извести входят: СаО, , неразложившиеся карбонат кальция СаСО3, карбонат магния , и не прореагировавшие примеси.

С учётом приятых единиц измерения материального баланса технологического процесса, то удельный выход извести составит .



Исходя из этого находим удельный выход технологического продукта:





Удельные выходы углекислого газа и водяных паров:





Проводим проверку материального баланса:



Небаланс 

Наибольшей составляющей расходной части является масса технологического продукта и влага продукта. Значение небаланса равно 0,009 кг/кгCaO - это 0,005% от приходной части.

# 2. Выбор рациональной структуры тепловой схемы

Для крупнокускового технологического сырья вопрос о выборе более выгодных технологических условий в рабочем пространстве высокотемпературной технологической установки однозначно решается в пользу фильтруемого плотного слоя с противоположным движением кусковых материалов сверху вниз и газов снизу вверх. Такие условия реализуются в конструктивной схеме шахтной печи, имеющей кроме зоны высоких температур (зоны обжига и горения) еще две технологические зоны рабочего пространства: экономайзерную зону (ЭЗ) и зону регенеративного охлаждения (ЗРО) технологического продукта.

Так как в зоне обжига происходит диссоциация известняка, то целесообразно технологическое сырье в эту зону подавать с температурой равной температуре начала диссоциации, которая находится в интервале от 850 до 950:



Температуру технологического продукта на выходе принимаем равной температуре на выходе равной 1300:



Через зону регенеративного охлаждения шахтных печей, отапливаемых природным газом, экономически выгодно пропускать только часть расходуемого на сжигания топлива воздуха, что по условию задана и равна 30%, и температура воздуха на выходе принимаем на 5% ниже температуры технологического продукта на выходе из ЗО:

,

а остальная часть воздуха подаётся через двухпроводные горелки и воздушные сопла в зону обжига (ЗО) (70%). Такая схема распределения воздуха обеспечивает удовлетворительную плотность сжигания природного газа при относительно небольших коэффициентах избытка воздуха.

При определенных условиях нагрева воздуха, вводимого в зону обжига, помимо зоны регенеративного обогрева, можно добиться заметного снижения видимого удельного расхода топлива в процессе. Учитывая, что подводимый к двухпроводным горелкам и к воздушным соплам зоны обжига воздух нагревается теплотой отходящих газов в воздухоподогревателе (ВП), то принимаем температуру технологического сырья на 5% меньше температуры отходящих газов:



Следовательно, для уменьшения потерь тепла и расхода топлива, целесообразно принять температуры равными:



Тепловая схема известково-обжигательной шахтной печи представлена на рис.1

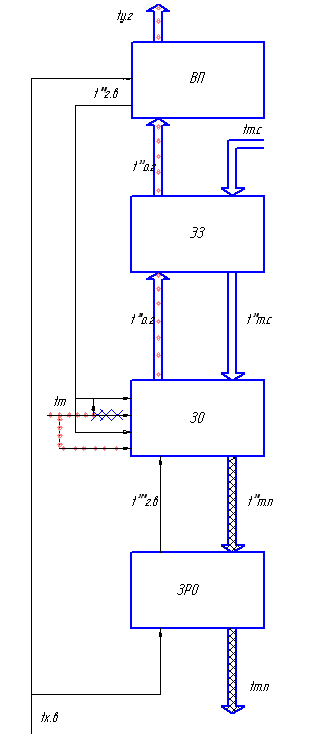


Рис. 1 Тепловая схема

Математическая формулировка задачи о выводе параметров тепловой схемы сводится к записи системы уравнений тепловых балансов зоны обжига (ЗО), экономайзерной зоны (ЭЗ), воздухоподогревателя (ВП) и зоны регенеративного охлаждения (ЗРО) технологического продукта.

Запишем уравнение теплового баланса для зоны обжига:

,

где - химическая теплота топлива, ;

 -энтальпия поступающего топлива,  ;

- энтальпия воздуха при входе в ЗО из ВП,  ;

-энтальпия горячего воздуха при входе в ЗО из ЗРО, ;

- энтальпия технологического сырья при входе в ЗО,  ;

- энтальпия технологического продукта на выходе из ЗО, ;

-тепловой эффект эндотермической реакции и фазовых превращений

в ЗО,  ;

 - энтальпия отходящих газов из ЗО,  ;

- теплота химического недожога в ЗО,  ;

 - потери теплоты через ограждения ЗО,  .

Уравнение теплового баланса в экономайзерной зоне имеет вид:



где -энтальпия технологического сырья в ЭЗ , ;

 -энтальпия отходящих газов из ЭЗ ,  ;

- теплота химического недожога в ЭЗ ,  ;

-тепловой эффект эндотермической реакции и фазовых превращений в ЭЗ,

 -потери теплоты через ограждения в ЭЗ ,  .

Уравнение теплового баланса в воздухоподогревателе примет вид:

,

где - энтальпия холодного воздуха, поступающего в ВП, ;

- энтальпия уходящих газов, ;

- энтальпия горячего воздуха, уходящего из ВП,  ;

- потери теплоты через ограждения ВП, .

Уравнения теплового баланса в зоне регенеративного подогрева:



где - энтальпия холодного воздуха, поступающего в ЗРО, 

-энтальпия технологического продукта, поступающего в ЗРО, ;

- потери теплоты через ограждения ЗРО,  .

Определение параметров тепловой схемы целесообразно выполнять в следующем порядке:

Находим слагаемые уравнения теплового баланса:

Удельный расход технологического сырья, проходящего через входное сечение ЗО, , , рассчитываемся по формуле:

,

следовательно



Энтальпия технологического сырья при входе в ЗО , , рассчитываемся по формуле:

,

где - теплоемкость технологического сырья при температуре ., [1, стр.19].



Энтальпия технологического продукта на выходе из ЗО,  , определяется по формуле:

 ,

где -теплоемкость технологического продукта при температуре .[1, стр.19].



Тепловой эффект эндотермической реакции и фазовых превращений в ЗО определяют по формуле:

,

следовательно

.

Определяем видимый удельный расход топлива в , по формуле:

,

доля воздуха, проходящего через ЗРО

энтальпия горячего воздуха

коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду из цели экономия топлива в шахтной печи выбирают из интервала =0,15…0,20

Теплота сгорания топлива , , определяют по формуле:



где 



удельные теплоты сгорания соответствующих компонентов ,  ,  ,  ,  ,  ,  ,  , [5,стр.17].

Удельная теплоемкость топлива  , , при температуре , определяют по формуле:



где ,  ,  ,  ,  ,  ,  , 

-удельные теплоемкости соответствующих компонентов , , , , , , , ,. [1, стр.19].

Энтальпия горячего воздуха на выходе из ВП вычисляется:

,

где 

- удельная теплоемкость горячего воздуха на выходе из ВП, [1, стр.19].



Энтальпия горячего воздуха на выходе из ЗРО вычисляется по формуле:

,

где 

- удельная теплоемкость горячего воздуха на выходе из ЗРО



Энтальпия отходящего газа из ЗО:





Тогда видимый удельный расход топлива равен:



Расход топлива  определяем по формуле:

,

где Р=1,5 

- производительность шахтной известково-обжигательной печи (исходные данные).



Определяем энтальпию технологического сырья при входе в ЭЗ:

,

где 

– теплоемкость технологического сырья при температуре 20  , [1, стр.19].



Определяем тепловой эффект эндотермических реакций и фазовых превращений в ЭЗ:

, имеем:



Определяем энтальпию отходящих из ЗО газов, :

,

где     

- теплоемкость углекислого газа, водяных паров, азота, кислорода при температуре 947,4 , [1, стр.19], следовательно



Определяем температуру отходящих газов:



Принимаем 

Удельная теплоемкость отходящих газов  (3,стр.79), определяется по формуле:

, получаем:



;

Второе приближение: ;

;

;

Третье приближение: ;

;

;

Окончательно принимаем: - температура отходящих газов не высокая, значит и потери с отходящими газами будут небольшими.

Находим слагаемые уравнения теплового баланса ВП:

Энтальпию холодного воздуха при входе в ВП определяем по формуле:

,

где 

- теплоемкость холодного воздуха , поступающего при температуре 20

;

Энтальпия горячего воздуха на выходе из ВП:

;

Определяем температуру уходящих газов:

;

Для определения температуры уходящих газов  , используется метод последовательных приближений и в первом приближении принимаем .

Определяем теплоемкость уходящего газа по формуле:

,



;

Второе приближение: ;

;

;

Окончательно принимаем: .

Находим слагаемые уравнения теплового баланса ЗРО:

Энтальпия холодного воздуха при входе в ЗРО:



Энтальпия горячего воздуха на выходе из ЗРО:

;

Определяем температуру технологического продукта:

,

где - теплоемкость технологического продукта при температуре технологического продукта, .

;

Первое приближение: ;

.

Окончательно принимаем: 

# 3. Материальный баланс теплотехнологического процесса и тепловой баланс рабочей камеры

## 3.1 Материальный баланс теплотехнологического процесса обжига известняка

Материальный баланс рабочей камеры - состоит из приходной и расходной частей. В приходной части баланса - сухое технологическое сырье , влагосодержание сырья , воздуха и топлива  , количество топлива , количество воздуха , поступающего в рабочую камеру для сжигания. В расходной части материального баланса - известь (технологический продукт)  , отходящие газы , унос .



В табл. 1 через  обозначена плотность i-го газа при t=0 и P=101325 Па, через - удельный выход i-го газа в продуктах горения.

Таблица 1 Материальный баланс теплотехнологического процесса обжига известняка

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход | кг/кг CaO | % | Расход | кг/кг CaO | % |
| 1. Сухое технологическое сырьё | 1,998 | 42,0 | 1. Жженая известь | 1,133 | 23,84 |
| 2. Влага сырья, топлива и воздуха | 0,220 | 4,6 | 2. Унос | 0,04 | 0,84 |
| 3. Топливо | 0,129 | 2,7 | 3. Отходящие газы | 3,58 | 75,32 |
| 4. Воздух | 2,409 | 50,7 |  |  |  |
| Итого | 4,756 | 100 |  | 4,754 | 100 |

Невязка баласа: 0,04 %

















Указанное выше значение небаланса, равное 0,4% CaO свидетельствует о том, что расчет материального баланса тепло-технологического процесса обжига известняка между приходной и расходной его частью произведен верно.

## 3.2 Тепловой баланс рабочей камеры

В установке при сжигании топлива происходит преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания. Выделившаяся теплота, за вычетом потерь, передается рабочему веществу (известняку), в результате получается полезная продукция - технологический продукт.

Основным методом оценки уровня полезного теплоиспользования в теплотехнологической установке является составление теплового баланса. Анализ составляющих теплового баланса позволяет выяснить пути совершенствования энергетической оптимизации установки,определить основные технико-экономические характеристики в целом и отдельных ее элементов или зон. Тепловой баланс рабочей камеры сведен в таблицу 2.

Таблица 2 Тепловой баланс рабочей камеры

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход | кДж/кг CaO | % | Расход | кДж/кг CaO | % |
| 1. Химическая теплота топлива | 5863,7 | 95,95 | 1. Энтальпия технологического продукта | 362,6 | 5,94 |
| 2. Энтальпия топлива | 5,28 | 0,09 | 2. Тепловой эффект эндотермических реакций | 3771 | 61,74 |
| 3. Энтальпия воздуха | 184,05 | 3,01 | 3. Химический недожог | 175,91 | 2,88 |
| 4. Энтальпия технологического сырья | 58,16 | 0,95 | 4. Энтальпия отходящих газов и уноса | 1221,8 | 20 |
| 5. Потери теплоты через ограждения рабочего пространства | 576,81 | 9,44 |
| Итого | 6111,19 | 100 | Итого | 6108,12 | 100 |

Невязка баланса: 0,05 %

Расчет неизвестных слагаемых теплового баланса рабочей камеры

Химическая теплота топлива



Энтальпия топлива



Энтальпия воздуха

, 

Энтальпия технологического продукта



Тепловой эффект эндотермических реакций



Химический недожог



Потери теплоты через ограждения рабочего пространства





Рассчитанное выше числовое значение небаланса, равное 2,07кДж/кгCaO (0,05%) свидетельствует о том, что расчет теплового баланса теплотехнологического процесса обжига известняка между приходной и расходной его частью произведен верно.

# 4. Определение размеров рабочей камеры шахтной известково-обжигательной печи

Шахтная известково-обжигательная печь для обжига известняка имеет цилиндрическую шахту высотой 8-10 м. Нижняя часть шахты заканчивается вращающейся вокруг вертикальной оси дробильно-разгрузочной решеткой, или конусной дробилкой, либо многовалковым дробильным аппаратом.

Первичный воздух, необходимый для горения топлива, вводится в печь снизу, через решетку дробильно-разгрузочного устройства или фурмы, а технологическое сырье- подается сверху.

Шахтные обжиговые печи имеют реактор переменного поперечного сечения, что обеспечивает равномерное опускание шихтовых материалов без зависания и циркуляций, уменьшения скорости газовых потоков в верхнем и увеличение в нижнем сечении реактора с соответствующей интенсификацией теплообмена внизу и уменьшением выноса пыли вверху. [6.стр.29]

Рабочее пространство печи для обжига известняка можно разделить на зоны: воздушный подогреватель (ВП), экономайзерная зона (ЭЗ), зона обжига (ЗО), зона регенеративного охлаждения (ЗРО). Конструктивная схема шахтной известково-обжигательной печи приведена на рисунке 2.

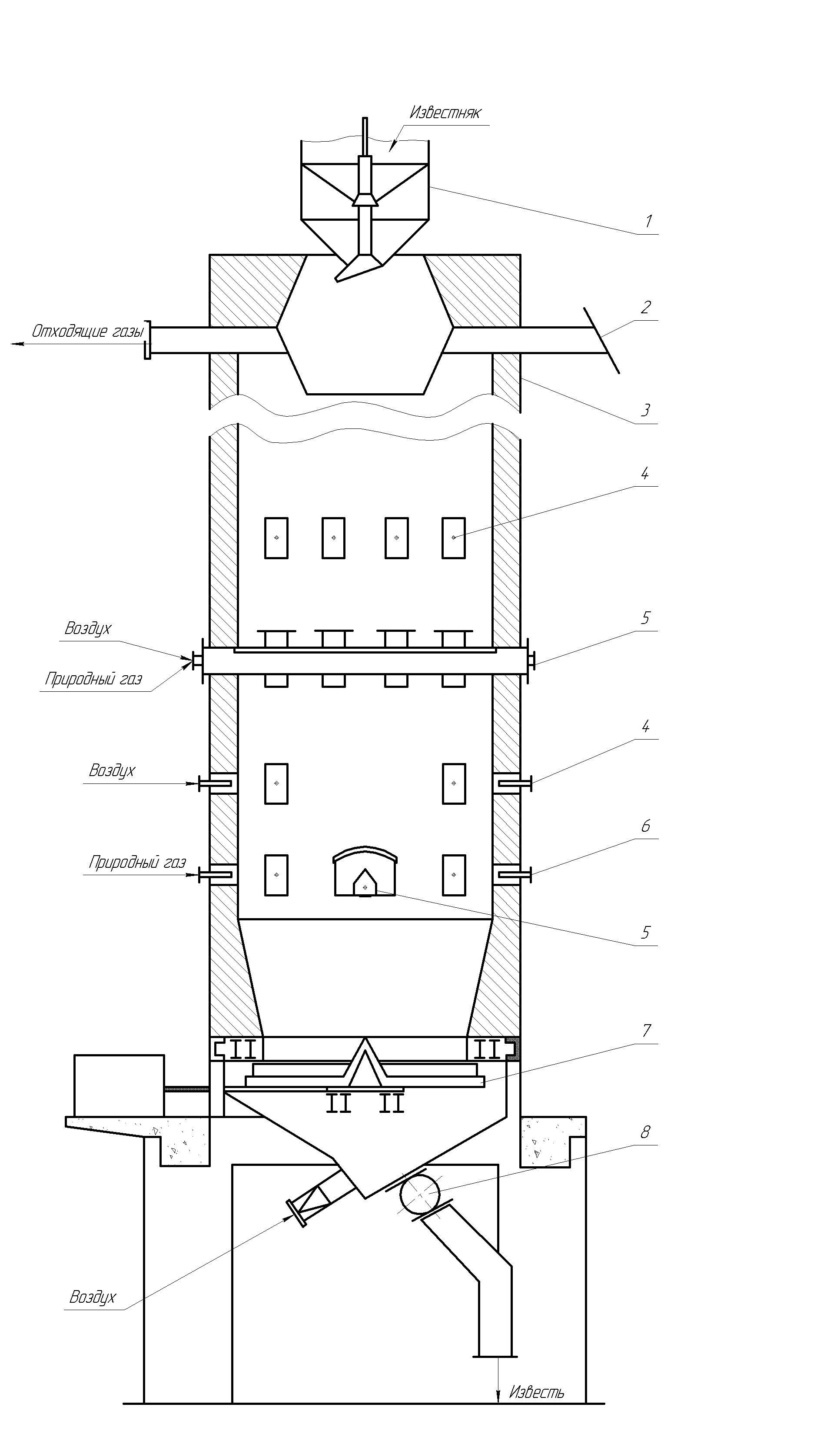


Рис. 2. Конструктивная схема шахтной известково-обжигательной печи: 1-загрузочное устройство, 2-взрывной клапан, 3-стены, 4-воздушные сопла, 5-двухпроводные горелки, 6-однопроводные горелки, 7-разгрузочная решетка, 8-барабанный затвор

Рабочее пространство ЗО и ЭЗ имеет форму цилиндра. Площадь его поперечного сечения рассчитывается по напряжению PS , которое обычно имеет значение 0,12…0,16 кгCaO/(м2∙с). Принимаем PS=0,16 кгCaO/(м2∙с), тогда

S=P/ PS=1,5/0,16=8,75 м2.

Внутренний диаметр шахтной печи в пределах зоны обжига и экономайзерной зоны определяется как

D=(4S/π)0,5=(4∙8,75/3,14)0,5=3,34 м.

Нижнее сечение ЗРО представляет собой квадрат со стороной В, площадь этого сечения  принимается равной (0,35…0,40)S. Принимаем

=0,38∙8,75=3,325 м2.

Площадь среднего сечения ЗРО равна

 м.

Сжигание топлива в среднем ярусе (при газовом отоплении с помощью шести-восьми горелок) ведется в основном потоке воздуха, поднимающегося снизу и нагретого до 600-800 в результате охлаждения обожженной масс, опускающихся вниз. Поэтому высоту ЗО шахтной печи, отапливаемой природным газом, целесообразно принимать по практическим данным равной LЗО=3,5 м.

Высота ЭЗ и ЗРО рассчитывается по продолжительности нагрева технологического сырья в ЭЗ – τЭЗ и охлаждения технологического продукта в ЗРО – τЗРО.

Расчет τЭЗ и τЗРО выполняется в следующей последовательности.

Находим средние по высоте зоны температуры газов, известняка, воздуха и технологического продукта.

 °С.

 °С.

 °С.

 °С.

Далее рассчитываем средние по высоте зон приведенные скорости газов и воздуха и соответствующие им числа Рейнольдса.

,

где  – средний по высоте экономайзерной зоны удельный выход отходящих газов, рассчитываемый по формуле



 м3/кгCaO.

Тогда

 м/с;

,

где – коэффициент кинематической вязкости газов при , м2/с.

 м/с;

,

где – коэффициент кинематической вязкости воздуха при , м2/с.

Ведомым теплообменом в ЗРО и ЭЗ является теплоотдача, значит можно определить коэффициенты теплоотдачи. Коэффициенты теплоотдачи от газов к поверхности кусков  и от поверхности кусков к воздуху  при Re>200 определяем по зависимости:



Коэффициенты теплоотдачи от газов к поверхности кусков  и от поверхности кусков к воздуху  при Re>200:

 Вт/(м2∙К),

где – коэффициент теплопроводности газа при .

 Вт/(м2∙К),

где – коэффициент теплопроводности воздуха при .

Далее рассчитываем средние по высоте зон числа Био

,

где – коэффициент теплопроводности технологического сырья при , кВт/(м∙К).

,

где – коэффициент теплопроводности жженой извести при , кВт/(м∙К).

Находим условную удельную теплоемкость известняка в ЭЗ с учетом эндотермических эффектов реакции термического разложения MgCO3 и испарения влаги технологического сырья, кДж/(кг·град):

;

mтс – средний по высоте ЭЗ удельный расход технологического сырья, кг/кг CaO.



Находим среднюю по высоте ЗРО удельную теплоемкость извести, кДЖ/(кг\*град):

mn= ;



Продолжительность нагрева известняка в ЭЗ и охлаждения извести в ЗРО находим по формулам:





Высоты экономайзерной зоны, зоны регенеративного охлаждения и полная высота рабочего пространства шахтной известково-обжигательной печи, м:





Полная высота рабочего пространства шахтной известково-обжигательной печи, м:



где 1,25 – коэффициент, учитывающий высоту газового коллектора;

ε – порозность плотного слоя кусковых материалов, ε ≈ 0,5.

Наибольшую продолжительность имеет ЗО равную 3,5 м (55% от общей высоты рабочего пространства), где и происходит основной процесс- обжиг известняка, ЭЗ рабочую протяженность равную 1,18м ( это 18%), ЗРО- 1,3м (20%). Рассчитанная высота рабочего пространства L=6.28 обеспечивать продолжительность нагрева, температуры веществ по зонам установки и требуемые параметры продукта на выходе.

# Заключение

Спроектированная шахтная печь, для обжига извести обеспечивает заданную производительность Р=1,5 кг СаО/с.

При расчете топочного процесса было определено, что количество воздуха необходимого для горения газообразного топлива составляет 868 и удельный выход продуктов сгорания равен 12.62, в состав которого входят: углекислый газ, водяные пары, азот, кислород.

При осуществлении материального расчета технологического процесса, выяснили, что удельный расход технологического сырья (извести) равен, удельный выход уноса составляет, удельный выход технологического продукта- 

Составленный материальный баланс показал, что наибольшей составляющей приходной части материального баланса является масса сухого технологического сырья и воздуха, в расходной части – отходящие газы. Значение небаланса, между приходной и расходной частями, равное 0,002кг/кг CaO, что составляет 0,04% от приходной части, следовательно расчет материального баланса тепло-технологического процесса обжига известняка произведен верно.

При определении расчетно-структурной схемы выяснили , что температура начала диссоциации равна , а конца- . Потери через внешнее ограждения рабочего пространства составляют - это 9,4 % от все теплоты, поступающей в печь. Наибольшую часть этих потерь составляют потери в ЗО-88%, что объясняется интенсивностью теплообмена. Потери с отходящими газами и уносом составляют  -20% от общего количества теплоты. При данных потерях в окружающую среду и с отходящими газами удельный расход топлива составляет .

Составленный тепловой баланс показал, что наибольшая составляющая приходной части теплового баланса – химически связанная теплота топлива, расходной части – теплота экзо- и эндотермических реакций. Числовое значение небаланса между приходной и расходной частями, равное 3,07кДж/кгCaO - 0,05 % от приходной части, говорит о том, что расчет теплового баланса теплотехнологического процесса обжига известняка произведен верно, так как данная величина меньше меньшей составляющей теплового баланса.

Для рациональной организации процесса обжига известняка в шахтной печи выполнен теплоэнергетический расчёт, предусматривающий определение расхода топлива и снижение его до оптимальных значений. Для этой цели в шахтной печи предусмотрены зона регенеративного охлаждения (ЗРО), экономайзерная зона (ЭЗ), а на выходе устанавливается воздухоподогреватель (ВП), их наличие позволяет значительно уменьшить потерю тепла в окружающую среду. Если из рабочего пространства шахтной печи убрать эти зоны, и оставить только ЗО, то расход топлива , необходимый для обеспечения производительности печи Р=1,5 кгCaO/с, будет равен В=1995 . В следствии того, что спроектированная нами шахтная печь для обжига известняка имеет зоны ЗЭ, ЗРО и ВП, экономия топлива составляет 56%. С учетом зон температура уходящих газов снижается с 947 до 268, что приводит к уменьшению потерь с уходящими газами.

Окислитель, целесообразно разбить на два потока, что так же приведет к экономию топлива. Холодный воздух поступает в ЗРО в количестве 2,604- это 30% от общего количества, а остальной окислитель направляется в воздушный подогреватель, где нагревается до 120 .

Лимитирующий теплообмен в ЗО - излучение, в ЗРО и ЭЗ, ВП- теплоотдача. Рассчитан внешний теплообмен в рабочем пространстве. Коэффициенты теплоотдачи от газов к поверхности кусков определяется скоростью движения отходящих газов в ЭЗ, которая равна м/с, а коэффициент Вт/(м2∙К), от поверхности кусков к воздуху в ЗРО, при скорости воздуха  м/с , равен Вт/(м2∙К).

Продолжительность нагрева известняка в экономайзерной зоне составляет, в течение которого технологическое сырье нагревается до температуры ; время охлаждения извести в ЗРО, с истечением которого воздух нагревается в зоне до температуры.

Найдены основные размеры рабочего пространства шахтной известково-обжигательной печи. Наибольшую высоту имеет ЗО равную 1,5 м (55 % от общей высоты рабочего пространства), где и происходит основной процесс- обжиг известняка, рабочее пространство ЭЗ составляет 1,18м (19%), ЗРО- 1,3 м (20%). Рассчитанная высота рабочего пространства L=6.28 обеспечивает продолжительность нагрева, температуры веществ по зонам установки и требуемые параметры продукта на выходе.

# Список используемой литературы

1. Ключников А.Д. и др. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-176 с.

2. Кондаков С.А. Теплоэнергетический расчет известково-обжигательной печи. Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности 100700 – "Промышленная теплоэнергетика". Изд. 2-ое, исправ. – Брянск: БГТУ, 2002. - 20 с.

3. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справ./ Под общ. Ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина.-М.: Энергоатомиздат, 1983.-552с.

4. Табунщиков Н.П. Производство извести.-М.: Химия, 1974.-240с.