

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургия и обогащения полезных ископаемых

Молдажан А. А.

Обжиг гранулированной шихты в аппаратах шахтного типа

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

специальность 5В070900 – Металлургия

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургия и обогащения полезных ископаемых

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой МиОПИ

канд. техн. наук

_____ М. Б. Барменшинова

«___» _____ 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАИСКА

к дипломному работу

На тему: «Обжиг гранулированной шихты в аппаратах шахтного типа»

по специальности 5В070900 – Металлургия

Выполнил:

А. А. Молдажан

Научный руководитель

канд. техн. наук

_____ Б. С. Баимбетов

«___» _____ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургия и обогащения полезных ископаемых

5B070900 – «Металлургия»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой МиОПИ
канд. техн. наук

_____ М. Б. Барменшинова

« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся *Молдажан Азат Айдарұлы*

Тема: *Обжиг гранулированной шихты в аппаратах шахтного типа*

Утверждена приказом ректора университета № 762-а от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченного проекта: «11» мая 2020 г.

Исходные данные к дипломному проекту: *Обжиг гранулированной шихты, расчет сушки*

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) Введение;

б) Технологический часть;

в) Заключение.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Схема материалов _____ указанных на слайде

Рекомендуемая основная литература: *37 наименований _____*

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов дипломного проекта	Сроки представления научному руководителю или консультанту	Примечание
Введение	11.02.2020 г.	
Литературный обзор	25.03.2020 г.	
Технологический часть	08.04.2020 г.	
Металлургические расчеты	15.04.2020 г.	
Заключение	30.04.2020 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный работ
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Б. С. Баимбетов кандидат технических наук		
Нормоконтроль	А.Н. Таймасова, магистр технических наук		

Научный руководитель _____ Б. С. Баимбетов

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Молдажан А. А.

Дата «_____» _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа содержит введение, разделы, заключение и список литературы. Компьютерный вариант включает в себя 37 страниц. Список литературы состоит из 37 наименований.

В настоящем дипломном работе рассматривается расчет сушки, обжига гранул в аппарате шахтного типа и конструкции печи.

На основании данных практики и литературных источников выбраны режимные параметры и определены условия расчета сушки и обжига гранул.

В работе осуществлен выбор технологической схемы, выполнены расчеты материального и теплового балансов.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста кіріспе, бөлім, қорытынды және әдебиеттер тізімі бар. Компьютерлік 37 беттен тұрады. Әдебиеттер тізімі 37 атаудан тұрады.

Осы дипломдық жұмыста шахталық типті аппаратта түйіршіктерді кептіру, күйдіру және пеш конструкциясы қарастырылады.

Осы практика мен әдеби дереккөздердің негізіне режимдік параметрлер таңдап алынды және түйіршіктерді кептіру және күйдіру есебінің шарттары анықталды.

Жұмыста технологиялық схеманы таңдау жүзеге асырылды, материалдық және жылу баланстары орындалды.

ANNOTATION

The thesis contains an introduction, section, conclusion and list of references. Computer includes 37 pages. The list of references consists of 37 titles.

In this thesis, the calculation of drying, firing of pellets in the apparatus of the mine type and the design of the furnace is considered.

Based on the data of practice and literature sources, the operating parameters were selected and the conditions for calculating the drying and firing of pellets were determined.

In this work, the technological scheme was selected, and the material and heat balances were calculated.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	стр. 9
1	Грануляция шихты	10
1.1	Сушка материала	13
1.2	Расчеты сушки	15
1.3	Расход сушильного агента	16
1.4	Обжиговые аппараты для гранулирования материалов	19
1.5	Обжиговая шахтная печь для сушки и гранулирования материалов	21
1.6	Устройство обжиговой шахтной печи для непрерывной сушки, обжига и охлаждения гранулированных материалов	23
1.7	Тепловой расчет шахтной печи	24
2	Материальный баланс	26
2.1	Материальный и тепловой баланс печи	26
2.2	Расчет высоты зон обжига и горения	30
2.3	Расчет теплового напряжения	31
	Заключение	36
	Список использованной литературы	37

ВВЕДЕНИЕ

Цветная металлургия является одной из наиболее материалоемких, а также топливо – и энергоемких отраслей промышленности.

По этой причине качественная подготовка исходного сырья к металлургической переработке оказывает решающее влияние на конечные технико-экономические показатели металлургического передела.

В цветной металлургии методы грануляции внедрены в качестве подготовительной операции перед обжигом сульфидных концентратов и применяются на отдельных стадиях производства свинца, цинка, никеля и других металлов.

Технология получения гранул требуемых размеров и прочности разработана удовлетворительно, но теоретическая сущность и механизм этого процесса изучены недостаточно.

В металлургическую переработку, как правило, поступает не один конкретный металлсодержащий материал, а смесь разных сортов рудного сырья с флюсами и оборотами. Смесь поступивших в переработку материалов называется шихтой.

Наилучшими обжиговыми аппаратами для гранулированных материалов являются шахтные печи, в которых формируется плотный слой, через который подаваемый газ (воздух) фильтруется и обеспечивает наибольшую скорость химических реакций и наиболее полный теплообмен материала с газом. Слой опускается в шахте только под действием силы тяжести за счет работы узла разгрузки под шахтой в виде тарельчатого или лоткового питателя.

При освоении шахтных обжиговых печей выявилось их главное преимущество – наиболее полная утилизация тепла – и главный недостаток – неравномерность распределения температуры в зоне обжига.

Множество предложенных и практически использованных конструктивных решений, в которых предусматривается обеспечение наилучшей утилизации тепла и равномерности обжига, позволяет заметить определенную преемственность конструкций и взаимосвязь их с процессами, осуществляемыми в шахтной печи.

Способы обжига гранулированного материала осуществляют в печи с параллельными шахтами, которая имеет, по меньшей мере, две шахты, соединенные между собой перепускным каналом, которые действуют попеременно, как шахта для обжига и как шахта для регенерационного отработанного газа с помощью обмена местами потоков газа.

В результате гранулированный материал для обжига может подаваться несколько раз во время одного цикла отжига, так что температура отработанного газа возрастает не так быстро и возможно более длительное время обжига.

1 Грануляция шихты

Тонкие флотационные концентраты – основные сырье свинцовых заводов – поступает с обогатительных фабрик обычно без подсушивания. Влажные концентраты и другие мелкие материалы при транспортировке и хранении комкуются, а в зимних условиях смерзаются. При металлургической переработке такие материалы налипают на транспортеры и питатели, плохо смешиваются, налипают в бункерах, а смерзшиеся плохо измельчаются.

Сухие концентраты и другие очень мелкие материалы также нередко слеживаются и застревают в бункерах, при транспортировке пылят. Теплопроводность и газопроницаемость слоя сухого мелкого материала, находящегося в печи, малы, а вынос пыли с газами при переработке таких материалов достигает наибольшей величины.

Многие из этих недостатков можно устранить укрупнением пылеватых тонких зерен увлажненных материалов окатыванием их в барабанах или чашах до крупности получаемых гранул 1 – 6 мм в диаметре, а иногда и более (20 – 30 мм). Это явление частичной грануляции уже давно было замечено при обработке влажной шихты в смесительных барабанах и в трубчатых транспортерах.

В 1935 г. И. П. Семик предложил гранулировать железные руды и сульфидные концентраты для плавки в шахтных печах и разработал технологию этого процесса.

В цветной металлургии методы грануляции внедрены в качестве подготовительной операции перед обжигом сульфидных концентратов и применяются на отдельных стадиях производства свинца, цинка, никеля и других металлов.

Технология получения гранул требуемых размеров и прочности разработана удовлетворительно, но теоретическая сущность и механизм этого процесса изучены недостаточно.

Установлено, что оптимальным увлажнением для грануляции является такое, при котором получается минимальная насыпная масса материала, что, как известно, отвечает максимальной газопроницаемости при обжиге. Оптимальное количество влаги для грануляции и последующего обжига гранул – одна и та же величина. Отсюда оптимальное увлажнение материалов для грануляции может быть определено опытным путем по насыпной массе.

При недостаточной влажности гранулы образуются медленно и они получаются мелкими, непрочными при испытании на раздавливание, хрупкими. При избытке влаги грануляция происходит быстро, но гранулы получаются мягкими и непрочными. При большом избытке влаги, превышающем влагоемкость материала, влага накапливается в порах и на поверхности комков, которые совсем не поддаются грануляции.

А. Е. Гуриев, И. И. Дзлиев, В. П. Рязанов утверждают в своих исследованиях, что при грануляции требуется строго выдерживать шихту при определенной влажности [1]. В их опытах оптимальная влажность свинцовой

шихты составляла 6,2 % H_2O , и при этом получались гранулы крупностью 3 – 8 мм. Превышение влажности всего лишь на 0,3 – 0,5 % резко ухудшало результаты, в то время как понижение влажности на ту же величину сравнительно мало сказывалось. Они считают, что лучше шихту немного недоувлажнять, а недостающее количество влаги давать непосредственно в гранулятор. К такому же выводу приходят и многие другие исследователи.

Для улучшения процесса грануляции и повышения прочности гранул в шихту обычно вводят те или иные связующие добавки. Некоторые из них повышают прочность сырых гранул, а другие – только после сушки и нагревания.

В качестве связующих добавок применяют сульфит целлюлозный щелок, цинковый купорос, разбавленную серную кислоту, сульфат натрия, глину, известь, гипс, сульфатные свинцовые кеки и некоторые другие. Наиболее эффективны те добавки, которые повышают влагоемкость и гидрофильность гранулируемого материала. В некоторых шихтах такие материалы содержатся в достаточном количестве, тогда никаких специальных связующих добавлять не требуется.

Для упрочнения гранул часто применяют сушку, а иногда и обжиг. В некоторых случаях ограничиваются воздушной сушкой, в других применяют сушилки. Быстрое нагревание гранул с высоким содержанием влаги приводит к их разрушению, но при умеренной влажности (6 % H_2O) искусственную сушку гранул можно проводить быстро и без нарушения их структуры.

При сушке гранул бывает достаточно удалить из них всего 1 – 1,5 % H_2O , после чего они становятся прочными, не слипаются и пригодны для загрузки на паллеты агломерационных машин.

Для грануляции шихты на свинцовых заводах применяют грануляторы двух конструкций:

а) Барабанный гранулятор, представляющий собой слегка наклоненную трубу (под углом 2 – 3,5), имеет диаметр 2,5 – 3 м и длину 4,5 – 5,0 м; гранулируемую шихту загружают через верхний конец барабана, а выгружают полученные гранулы через нижний.

б) Чашевый гранулятор – сильно наклоненная чаша (45 – 50°) с диаметром до 5 м и бортами по окружности. Окружная скорость диска гранулятора изменяется в пределах 0,5 – 1,5 м/сек в зависимости от скорости вращения чаши, которая может быть изменена во время работы в пределах 10 – 20 об/мин.

Гранулируемый материал загружают через верхний борт чаши, увлажняют из брызгал, окатывают, а полученные гранулы непрерывно выгружают через нижний борт чаши.

И в том, и в другом грануляторе укрупнение происходит в результате слипания влажных частиц при соударениях и окатывания образовавшихся комочков. Чашевый гранулятор выполняет также и функции классификатора: через борт чаши ссыпаются более крупные, сформировавшиеся гранулы, в то время как более мелкие остаются еще на некоторое время в чаше и продолжают

укрупняться. Благодаря этому в чашевом грануляторе получаются гранулы, более однородные по крупности.

На рисунке показан характер движения материалов в барабанном и чашевом грануляторах.

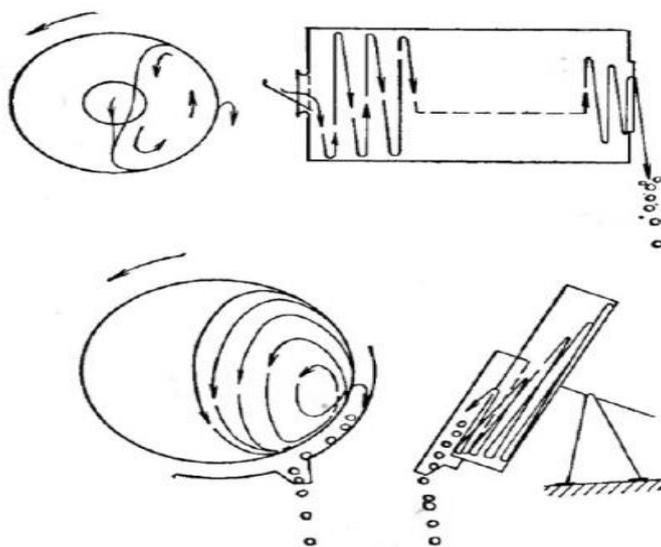


Рисунок 1 – Характер движения материалов в барабанном и чашевом грануляторах

Основной недостаток барабанного гранулятора – выдача неоднородных по размеру гранул, что связано с характером движения материала в барабане. Гранулы по мере движения вдоль барабана увеличиваются в диаметре. Поскольку сила трения пропорциональна весу, наиболее крупные и тяжелые гранулы имеют больше возможностей увеличиться в размере, чем мелкие, что способствует неоднородности величины гранул.

Для получения более однородных гранул за барабаном устанавливают грохот, работающий в замкнутом цикле с барабаном; циркуляционная нагрузка при этом достигает значительной величины. На прочность гранул после их подсушки влияют следующие факторы:

1) характер поверхности начальных зерен: острые грани и пластинки дают более прочные гранулы, чем зерна в виде шариков, так как действие межмолекулярных сил распространяется на площади;

2) гранулометрический состав шихты: при разной крупности шихты получаются лучшие результаты;

3) влажность гранулируемого материала;

4) количество и характер добавок, вводимых в шихту в качестве связующего;

5) скорость вращения гранулятора, угол его наклона, степень заполнения и время грануляции. Чем дольше шихта гранулируется, тем крупнее получаемые гранулы, но они менее прочны;

б) повышение температуры и вакуум ускоряют грануляцию: десорбция воздуха на поверхности зерен способствует проявлению межмолекулярных сил;

7) сушка гранул (прокалка), при которой изменяется температура и время процесса.

Как видим, грануляция шихты ничем не отличается от любого другого технологического процесса, основные технические показатели определяются качеством гранулируемой шихты и режимом грануляции.

Грануляция найдет применение в первую очередь там, где она наиболее эффективна (при необходимости получать очень богатый по свинцу агломерат, при переработке слишком мелкой шихты и т. п.) и где особенно благоприятны условия ее применения: при переработке больших количеств кеков, которые одновременно являются и хорошим связующим, при сульфатизации пылей, при получении бесфлюсового агломерата для электроплавки свинца после обжига гранул в кипящем слое и т. д. К сожалению, преимущества гранулированной шихты при последующих металлургических переделах еще мало изучены и слабо освещены в литературе.

1.1 Сушка материала

Сушка – процесс удаления влаги из материалов путем испарения и отвода паровой фазы. В химической промышленности этот процесс применяется для улучшения качества продуктов, уменьшения массы, предохранения продуктов от слеживаемости, повышения транспортабельности и т.д. [2].

По своей физической сущности сушка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из глубины высушиваемого материала в окружающую среду. Удаление влаги при сушке сводится к перемещению тепла и вещества (влаги) внутри материала и их переносу с поверхности материала в окружающую среду. Таким образом, процесс сушки является сочетанием связанных друг с другом процессов тепло – и массообмена (влагообмена) [3].

Сушка характеризуется статикой и кинетикой. Статика сушки устанавливает связь между начальными и конечными параметрами высушиваемого материала и сушильного агента на основе уравнений материального и теплового балансов. Из статистики сушки определяют состав материала, расход теплоты и сушильного агента.

Кинетика сушки устанавливает связь между изменением влажности материала во времени и параметрами процесса. Уравнения кинетики сушки характеризуют процесс удаления влаги из материала во времени и предназначены для определения продолжительности и режима сушки [2].

По способу подвода тепла к высушиваемому материалу различают следующие виды сушки:

а) конвективная сушка – путем непосредственного соприкосновения высушиваемого материала с сушильным агентом, в качестве которого обычно используют нагретый воздух или топочные газы;

б) контактная сушка – путем передачи тепла от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку;

в) радиационная сушка – путем передачи тепла инфракрасными лучами;

г) диэлектрическая сушка – путем нагревания в поле токов высокой частоты;

д) сублимационная сушка – сушка в замороженном состоянии при глубоком вакууме. По способу передачи тепла этот вид сушки аналогичен контактной [3].

При работе установки должны быть заданы:

а) характеристики материала, подвергаемого сушке (вид материала, его начальная и конечная влажность, начальная и максимально допустимая температура);

б) производительность сушильной установки по сырью;

в) сушильный агент (параметры сушильного агента на входе в сушилку и на выходе из нее, максимально допустимая температура сушильного агента);

г) продолжительность процесса сушки.

В процессе расчета необходимо определить:

1) тип сушильной установки (конструкция сушильной камеры, способ подвода теплоты, вариант сушильного процесса);

2) производительность сушильной установки по высушенному материалу, количество удаляемой влаги;

3) основные физические параметры сушильного агента воздуха, топочных газов;

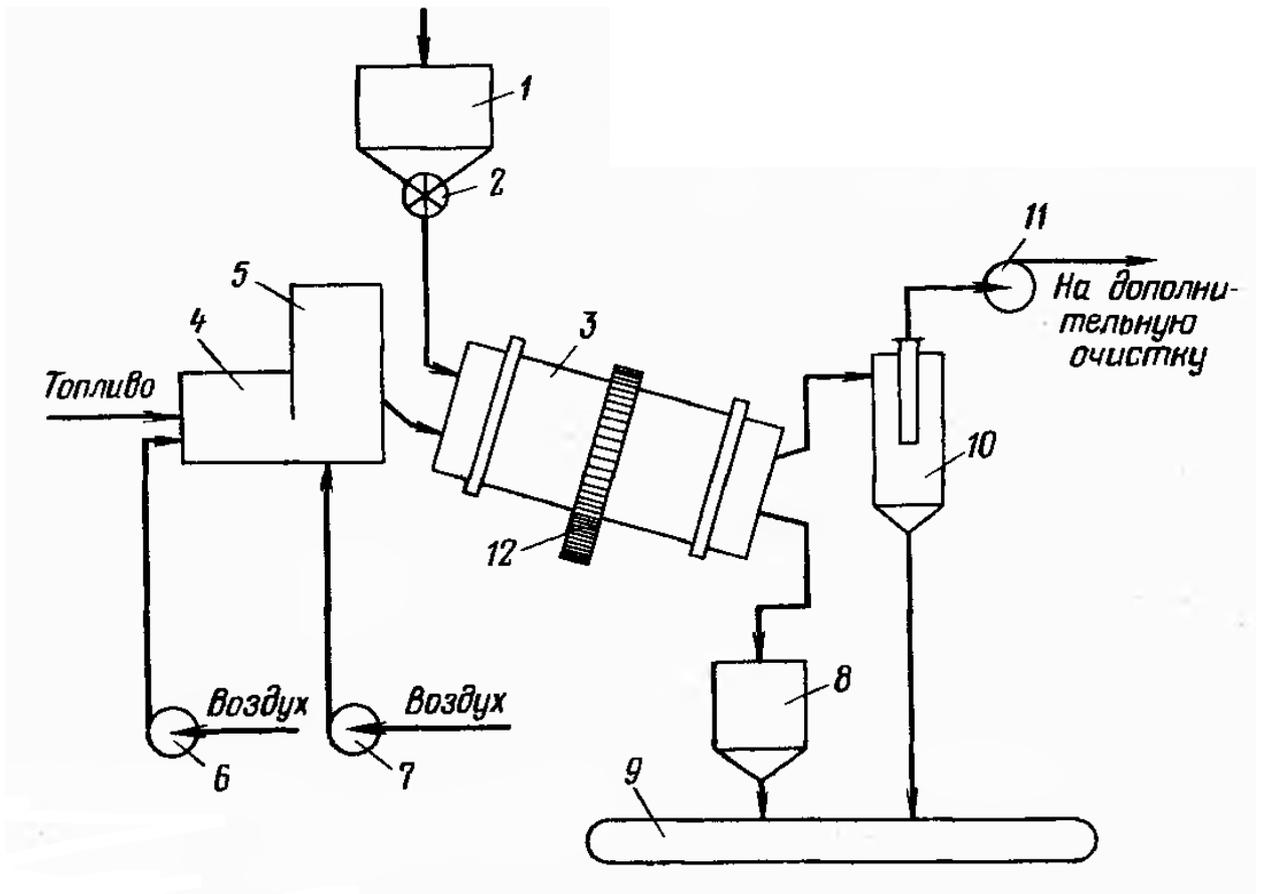
4) удельный и общий расход сушильного агента и теплоты на сушку;

5) основные размеры сушилки и ее конструктивные элементы;

б) продолжительность сушки [2].

Принципиальная схема прямоточной барабанной сушильной установки показана на рис. 2. Влажный материал из бункера 1 с помощью питателя 2 подается во вращающийся сушильный барабан 3. Параллельно материалу в сушилку подается сушильный агент, образующийся от сгорания топлива в топке 4 и смешения топочных газов с воздухом в смесительной камере 5. Воздух в топку и смесительную камеру подается вентиляторами 6 и 7. Высушенный материал с противоположного конца сушильного барабана поступает в промежуточный бункер 8, а из него на транспортирующее устройство 9.

Отработанный сушильный агент перед выбросом в атмосферу очищается от пыли в циклоне 10. При необходимости производится дополнительное мокрое пылеулавливание.



1 – бункер; 2 – питатель; 3 – сушильный барабан; 4 – топка;
 5 – смешивательная камера; 6, 7, 11 – вентиляторы; 8 – промежуточный бункер; 9 – транспортер; 10 – циклон; 12 – зубчатая передача;

Рисунок 2 – Принципиальная схема барабанной сушилки

Транспортировка сушильного агента через сушильную установку осуществляется с помощью вентилятора 11. При этом установка находится под небольшим разрежением, что исключает утечку сушильного агента через неплотности установки.

Барабан приводится во вращение электродвигателем через зубчатую передачу 12.

1.2 Расчеты сушки

Исходные данные

- Производительность сушилки по высушенному материалу $G_2 = 0,01$ т/ч;
- начальное влагосодержание $w_H = 7$ %;
- конечное влагосодержание $w_K = 1$ %.

Топливо – природный газ, температура топочных газов на входе в барабан 350° С.

Исходя из материального баланса выведем формулу для определения количества жидкости по абсолютно сухому веществу в высушиваемом материале [12]:

$$G_1 \cdot \frac{100 - \omega_H}{100} = G_2 \cdot \frac{100 - \omega_K}{100}, \quad (1.1)$$

отсюда

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{100 - \omega_K}{100 - \omega_H}, \quad (1.2)$$

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100 - \omega_H}{100 - \omega_K}, \quad (1.3)$$

$$W = G_1 \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{100 + \omega_K} = G_2 \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{100 + \omega_K}, \quad (1.4)$$

$$W = G_2 \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{100 + \omega_K}, \quad (1.5)$$

$$W = \left(\frac{0,01 \cdot 1000}{3600} \right)_{\text{кг} / \text{с}} \cdot \frac{7\% - 1\%}{100 + 1\%} = 0,0002_{\text{кг} / \text{с}}.$$

Количество влажного материала поступающего на сушку [12]:

$$G_1 = G_2 + W = \frac{0,01 \cdot 1000}{3600} + 0,0002 = 0,0029_{\text{кг} / \text{с}} \quad (1.6)$$

1.3 Расход сушильного агента

Температуру материала на входе в сушилку определяем по уравнению (2.1), для начальных параметров сушильного агента: $x_1 = 0,0273$ кг/кг;

$$I_1 = 457,44 \text{ кДж/кг}; t_{\text{MTBx}} = 59,45^\circ \text{ С}.$$

Примем теплообменный КПД равным 0,95, тогда температура сушильного агента на выходе из сушилки равна:

$$t_K = t_H - \eta \cdot (t_H - t_{MT\ BX}), \quad (1.7)$$

$$t_K = 350 - 0,95 \cdot (350 - 59,45) = 73,97^\circ \text{C}.$$

Уравнение внутреннего теплового баланса сушилки:

$$\Delta = [(q_{M_{BX}} - q_{M_{ВЫХ}}) - q_n], \quad (1.8)$$

где Δ – разность между удельным расходом и приходом тепла в сушильной камере, кДж/кг(влаги);

$q_{M_{ВЫХ}}$ – удельные потери тепла с высушиваемым материалом, кДж/кг(влаги)

$q_{M_{ВХ}}$ – удельный подвод тепла с материалом поступающим на сушку, кДж/кг(влаги)

q_n – тепловые потери в окружающую среду, принимаем 10 % от тепла Q , вынесенного из сушилки с парами влаги, испарившейся из материала.

$$Q = W \cdot (r_o + C_n \cdot t_{n_{BX}}), \quad (1.9)$$

$$Q = 0,0002 \cdot (2493,1 + 1,97 \cdot 73,97) = 0,44 \text{ кДж} / \text{с},$$

$$q_n = \frac{Q \cdot 0,1}{W} = \frac{0,44 \cdot 0,1}{0,0002} = 263,88 \text{ кДж} / \text{кг(влаги)},$$

$$q_{M_{BX}} = \frac{G_1 \cdot t_{H \text{ МАТЕРИАЛА}} \cdot \left(C_M \cdot \frac{100}{100 + \omega_H} + C_{Ж_{ВХ}} \cdot \frac{100}{100 + \omega_H} \right)}{W}, \quad (1.10)$$

где – $C_{Ж_{ВХ}}$ – теплоемкость влаги во влажном материале при начальной температуре материала, кДж/кг·К; $C_{Ж} = 4,19$ кДж/кг·К [4]

C_M – теплоемкость абсолютно сухого материала, кДж/кг·К,

$C_{M_{ВХ}} = 0,8$ кДж/кг·К

$$q_{M_{ВХ}} = \frac{0,0029 \cdot 18 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{100}{100 + 7} + 4,19 \cdot \frac{100}{100 + 7} \right)}{0,0002} = 313,81 \text{ кДж} / \text{кг(влаги)},$$

$$q_{M_{\text{ВЫХ}}} = \frac{G_1 \cdot t_{MT_{\text{ВЫХ}}} \cdot \left(C_M \cdot \frac{100}{100 + \omega_K} + C_{Ж_{\text{ВЫХ}}} \cdot \frac{100}{100 + \omega_K} \right)}{W}, \quad (1.11)$$

$$q_{M_{\text{ВЫХ}}} = \frac{0,0029 \cdot 59,45 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{100}{100+1} + 4,19 \cdot \frac{100}{100+1} \right)}{0,0002} = 867,07 \text{ кДж/кг}$$

(влаги),

$$\Delta = [(313,81 - 867,07) - 263,88] = -817,15 \text{ кДж/кг (влаги)}$$

Влагосодержание сушильного агента на выходе из сушилки:

$$X_2 = \frac{I_1 - X_1 \cdot \Delta - C_{c.r.} \cdot t_K}{r_o + C_n \cdot t_K - \Delta}, \quad (1.12)$$

где $C_{c.r.}$ – теплоемкость сухих газов на выходе из сушилки, кДж/кг·К,

$$C_{c.r.} = 1,005 \text{ кДж/кг·К}$$

$$X_2 = \frac{457,44 - 0,0273 \cdot (-817,15) - 1,005 \cdot 73,97}{2493,1 + 1,97 \cdot 73,97 - (-817,15)} = 0,1172 \text{ кг/кг.}$$

Энтальпия газов на входе в сушилку:

$$I_2 = I_1 + \Delta \cdot (X_2 - X_1), \quad (1.13)$$

$$I_2 = 457,44 + (-817,15) \cdot (0,1172 - 0,0273) = 383,94 \text{ кДж/кг.}$$

Температуру материала по уравнению (2.12), для конечных параметров сушильного агента: $X_2 = 0,1172$ кг/кг; $I_2 = 383,94$ кДж/кг; $t_{MT_{\text{ВЫХ}}} = 56,64^\circ \text{С}$.

Уточняем КПД сушилки:

$$\eta = \frac{t_H - t_K}{t_H - t_{MT_{\text{ВЫХ}}}} = \frac{350 - 73,97}{350 - 56,64} = 0,959. \quad (1.14)$$

Расход сухого воздуха:

$$L = \frac{W}{X_2 - X_o}, \quad (1.15)$$

$$L = \frac{0,0002}{0,1172 - 0,00924} = 0,0019 \text{ кг/с.}$$

Расход топочных газов:

$$L_{T.G.} = \frac{W}{X_2 - X_1}, \quad (1.16)$$

$$L_{T.G.} = \frac{0,0002}{0,1172 - 0,0273} = 0,0022 \text{ кг/с.}$$

Расход тепла на сушку:

$$Q_C = L_{T.G.} \cdot (I_1 - I_o), \quad (1.17)$$

$$Q_C = 0,0022 \text{ кг/с} \cdot (457,44 \text{ кДж/кг} - 41,44 \text{ кДж/кг}) = 0,78 \text{ кДж/с.}$$

Расход топлива на сушку:

$$C_T = \frac{Q_C + \left(\frac{Q_C}{1 - \eta} \right)}{Q}, \quad (1.18)$$

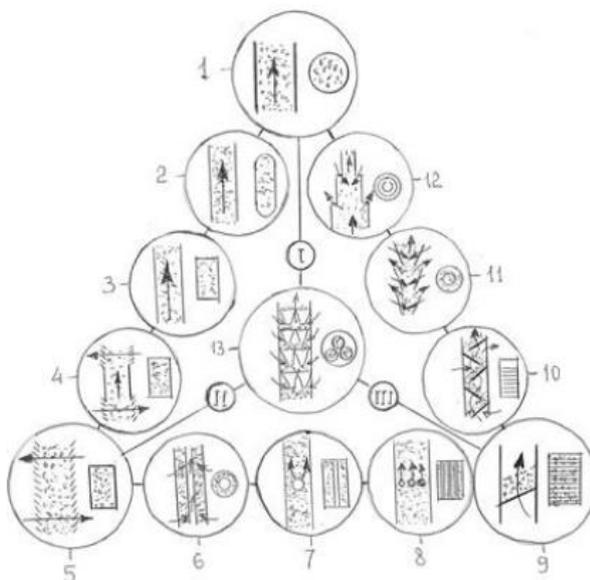
$$C_T = \frac{0,78 + \left(\frac{0,78}{1 - 0,959} \right)}{0,44} = 0,4501 \text{ кг/с.}$$

1.4 Обжиговые аппараты для гранулированных материалов

Наилучшими обжиговыми аппаратами для гранулированных материалов являются шахтные печи [4], в которых формируется плотный слой, через который подаваемый газ (воздух) фильтруется и обеспечивает наибольшую скорость химических реакций и наиболее полный теплообмен материала с газом. Слой опускается в шахте только под действием силы тяжести за счет работы узла разгрузки под шахтой в виде тарельчатого или лоткового питателя.

При освоении шахтных обжиговых печей выявилось их главное преимущество – наиболее полная утилизация тепла – и главный недостаток – неравномерность распределения температуры в зоне обжига [5].

Множество предложенных и практически использованных конструктивных решений, в которых предусматривается обеспечение наилучшей утилизации тепла и равномерности обжига, позволяет заметить определенную преемственность конструкций и взаимосвязь их с процессами, осуществляемыми в шахтной печи (рисунок 3) [4, 5]. Наиболее различающимися разновидностями обжиговых шахтных печей являются следующие три: 1 – цилиндрическая с противотоком газа и материала [6, 7]; 5 – жалюзийная с перекрестным током; 9 – печь с наклонной решеткой и скошенным противотоком.



Области применения: I – элементарных умеренных, II – комбинированных, III – интенсивных термохимических процессов. Даны вертикальные (слева) и горизонтальные (справа) разрезы печей. (нумерация 1-13 расшифрована в тексте)

Рисунок 3 – Система конструкций шахтных обжиговых печей.

В цилиндрических печах большого диаметра разность температур между центром и периферией может быть значительной. Поэтому вполне закономерен переход к овальному сечению (2), при котором доступ газа к центру печи облегчается. По сравнению с печами, имеющими овальное сечение, прямоугольные шахтные печи (3) более просты, чем и объясняется их широкое распространение.

Недостатком противоточных шахтных печей является неравномерное распределение температуры по высоте слоя. С целью сглаживания этой неравномерности предложена конструкция шахтной печи (4), в которой в

верхней и нижней частях осуществляется перекрестный ток газа и материала. Для этого обе части потребовалось выполнить в виде жалюзийных стенок.

Подобная конструкция позволяет широко использовать возможность управления процессом обжига с помощью газового потока, поэтому логическим завершением тенденции к выравниванию температуры по горизонтальному и вертикальному сечениям шахты явилась печь (5) со сплошными жалюзийными стенками [8]. В ней можно также проводить одновременно окислительные и восстановительные процессы на разных участках по высоте шахты. Однако необходимость уменьшения ширины неизбежно приводит к удлинению печи, и это создает свои проблемы в отношении равномерности загрузки и разгрузки.

Оригинальная конструкция шахтной печи, в которой прямоугольное сечение как бы свернуто в кольцо (6), предложена вместе с равномерно действующим разгрузочным устройством.

Внутренняя труба выполняет роль сборного газохода и ее можно использовать в системах циркуляции газового потока и даже в качестве газогенератора. Недостатком печи кольцевого типа, как и чисто жалюзийного варианта, является необходимость соблюдения минимальной ширины просвета во избежание неравномерности распределения температуры по горизонтальному сечению печи. Помимо этого выходящий из жалюзи поток во внепечное пространство резко увеличивает скорость из – за уменьшения живого сечения жалюзийной стенки, что приводит к повышенному пылеуносу тонких фракций.

Чтобы устранить это препятствие и повысить мощность единицы обжигового оборудования, было предложено внутреннюю трубу в печи располагать горизонтально (7) и вновь вернуться к противотоку газа и материала. Эта идея получила развитие в конструкции печи (8), где имеется несколько горизонтальных газоподводящих труб [61]. В этом случае размеры горизонтального сечения лимитируются гораздо меньше. По существу, в печи находится решетка, что гарантирует равномерность распределения газового потока по всей печи. Однако существенно затрудняется опускание материалов в шахте.

Радикальное разрешение этого обстоятельства дает конструкция шахтной печи с наклонной решеткой (9). Ширина просветов в решетке здесь становится меньше минимального размера гранул. Располагаясь в печи под углом чуть круче угла естественного откоса слоя гранул (примерно $30 - 40^\circ$), она обеспечивает возможность движения материалов под действием силы тяжести. Газ подводится под решетку и, таким образом, в этом случае вновь реализуется принцип перекрестного тока.

1.5 Обжиговая шахтная печь для сушки и гранулирования материалов

Устранение недостатков, связанных с воплощением этого принципа (ограничение толщины слоя), предусматривается в шахтной печи с каскадом наклонных решеток (10) [9]. В целом по высоте аппарата осуществляется противоток газа и материала с сохранением перекрестного тока на каждой решетке. Совмещение этих принципов рационально, так как проявляется возможность циркулировать и корректировать газовый поток. Кроме того, в подрешеточные пространства можно непосредственно вводить горелки, устраняя топочные устройства. Пользуясь дефлегматорами (направляющими пластинами), в такой печи можно реализовать и прямоток. Очень важным преимуществом подобной конструкции является возможность регулирования высоты слоя с помощью поворотных перегородок над решетками, которые одновременно предотвращают «проскок» гранул по верхней части слоя непосредственно в конец решетки. Не менее важно то, что при пересыпании с решетки на решетку верх и низ скользящего по ним слоя меняются местами, «перелопачиваются», чем обеспечивается дополнительная равномерность обжига. Наконец, для малопрочных материалов как при загрузке в пустую шахту, так и при самодвижении слоя по решеткам реализуются условия «мягкого» спуска, предотвращающего разрушение гранул от динамических и статических нагрузок. Недостаток такой печи – относительная сложность конструкции, но он компенсируется свободой компоновки шахты по горизонтальному сечению с ориентацией на квадрат или прямоугольник и по высоте – неограниченным числом решеток в каскаде.

Немаловажным эксплуатационным преимуществом является возможность непосредственного наблюдения за слоем через боковые окна в подрешеточных пространствах, а также устранения аварийных состояний слоя (оплавления) с помощью «шуровки». Благодаря возможности задавать сколь угодно малую высоту слоя и свободно регулировать теплообмен печи с наклонными решетками целесообразно использовать для сильно экзо- и эндотермических процессов. Не случайно именно такие конструкции применяют для сжигания кускового топлива.

Каскадный принцип движения слоя предусмотрен и в конструкции шахтной печи с системой конических воронок (11) с подводом и отводом газа в каждой воронке. Однако из-за малых размеров воронок производительность такой печи весьма ограничена и составляет всего несколько тонн в сутки. Известна также шахтная печь (12), представляющая систему расширяющихся цилиндров. Этим данная конструкция максимально приближается к исходному и наиболее известному прототипу (1).

Имеется и такой вариант шахтной печи (13), в котором равноценно сочетаются все три «чистые» ее разновидности. В цилиндрическом реакторе этой печи имеются гирлянды воронок, которые можно рассматривать как своеобразные внутренние жалюзи. Свободные от материала полости, как и в

печах с наклонными решетками, занимают значительную часть реактора. Оригинальность данной конструкции состоит в том, что газы большей частью не фильтруются через слой, а обтекают его по поверхности естественного откоса на воронках. Это позволяет перерабатывать даже пылевидную руду.

Авторами работы [10] предложена конструкция шахтной печи, которая совмещает в себе принципы работы шахтной печи и агломерационной машины, т.е. по другому именуется агло – шахтной печью.

Для проведения обжига нами выбрана шахтная печь с каскадом наклонных решеток.

Бедные по меди и сере концентраты содержат до 90 % пустой породы (кварц и кварциты). Для отделения этой породы от медных минералов добавляется известняк, чтобы образовался легкоплавкий шлак при температуре 1300⁰ С. В результате 95 % расхода электроэнергии приходится на нагрев и плавку пустой породы и известняка, что делает пирометаллургическую переработку таких концентратов совершенно нерентабельной. Для гидromеталлургической переработки бедных концентратов достаточно проводить предварительный обжиг их при температуре 550⁰ С, причем большая часть тепловой энергии получается за счет химических реакций, а наиболее экономное расходование теплоносителя реализуется в шахтных обжигowych печах даже при самом малом содержании серы.

1.6 Устройство обжиговой шахтной печи для непрерывной сушки, обжига и охлаждения гранулированных материалов

Разделение процессов сушки, обжига и охлаждения в шахтных печах со сплошным слоем по высоте шахты представляет определенные трудности, которые резко усугубляются в аппаратах большой единичной мощности, свыше 1000 т в сутки. В связи с этим разработана система конструкций шахтных обжигowych печей, охватывающая все основные разновидности взаимодействия газовых потоков с перерабатываемым материалом (Букетов Е.А., Малышев В.П.). Наиболее удобно разделение упомянутых процессов проводить в шахтных печах с расположенным друг под другом каскадом наклонных решеток под углом, на 1 – 2⁰ превышающим угол естественного откоса перерабатываемого материала для обеспечения самодвижения по ним слоя определенной высоты под действием силы тяжести. В этом случае каких – либо ограничений по производительности печи нет, ввиду равномерности воздействия фильтруемого через слой газового потока по всей площади решетки, а сам каскад решеток создает возможность разделения шахты по высоте на секции, в которых можно проводить относительно независимые процессы.

В нашей работе [11] шахтная печь состоит из сушильной, обжиговой и охлаждающей секции [заявка на патент РК №2013/1269.1 от 26.09.2013 г] (рис. 4).

Обжиговая секция представлена двумя модулями для иллюстрации важного принципа разделения технологических функций этих секций, ввиду сплошности материального потока. Общая высота слоя на решетках в секциях сушки, обжига и охлаждения должна быть прямо пропорциональной необходимой продолжительности сушки, обжига и охлаждения. Этот принцип может реализоваться двумя способами – либо различной высотой слоя на единственной решетке в каждой секции, либо различным числом решеток в каждой секции при равной высоте слоя на каждой решетке.

Отличительным признаком секционного деления шахты является возможность комбинирования газовых потоков с помощью обводного газохода, соединяющего обжиговую и сушильную секции для максимального использования тепловой энергии газового потока и перерабатываемого материала.

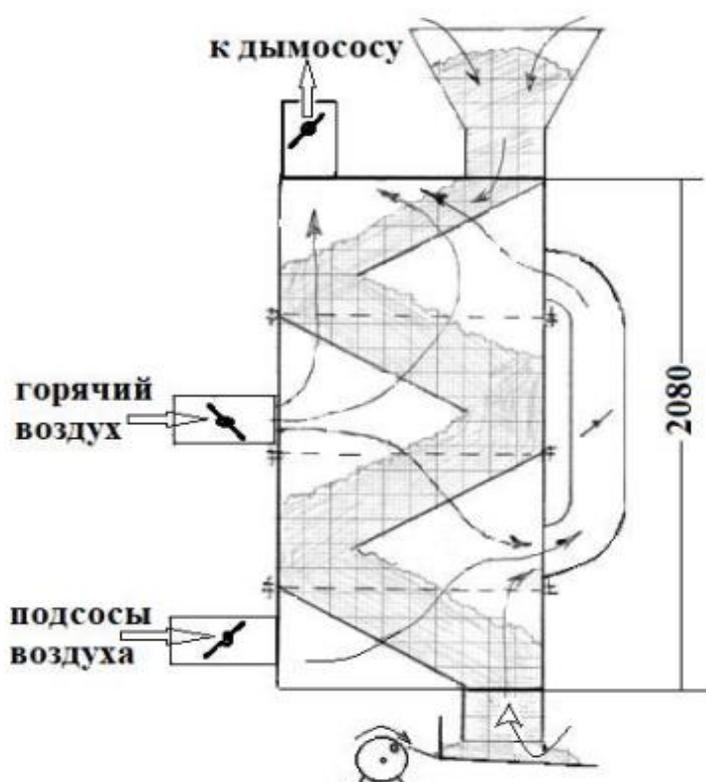


Рисунок 4 – Схема конструкции шахтной печи с каскадом наклонных решеток для обжига гранулированных сульфидных концентратов

Наиболее полная завершенность теплообмена газа и материала в шахтной печи достигается тогда, когда огарок из печи выходит охлажденным, а отходящие газы удаляются только из зоны сушки с температурой, как правило, не выше 100 °С.

1.7 Тепловой расчет шахтной печи

Тепловой расчет печи служит обоснованием ее размеров в зависимости от заданной производительности и температуры выходящих потоков.

Ввиду того что реакционная активность извести зависит, в частности, от теплового напряжения в зоне обжига, достаточно регламентировать допустимый съем продукта с 1 м^2 сечения печи и по нему определить необходимую площадь сечения шахты.

Потребную высоту слоя кускового материала находят расчетом процесса заверщенного теплообмена. Излишняя высота шахты увеличивает затраты при строительстве и замене футеровки, а также повышает эксплуатационные расходы вследствие увеличения аэродинамического сопротивления слоя шихты. Кроме того, излишняя высота слоя приводит к появлению резервной зоны, в которой, по результатам последних исследований, достаточно интенсивно протекает восстановление CO_2 до CO .

Высоту рекуперативных зон предлагается определять путем расчета процесса заверщенного теплообмена, а высоту зоны обжига – путем расчета совмещенной с ней части зоны горения. При этом предполагается равномерное распределение шихты по поперечному сечению печи. Наличие неравномерности распределения кускового материала вызывает отклонение расчетных величин от реальных.

Расходные коэффициенты получают из материального и теплового балансов печи.

2 Материальный баланс

2.1 Материальный и тепловой баланс печи

Исходные данные

Размер кусков: 40 – 120 мм, $d_c^{Cp} = 80$ мм.

Топливо: кокс $Q_{и}^P = 6228 \cdot 4,19$ кДж/кг, содержание золы 12,66 %, влаги 8,0 % (в рабочем топливе), $d_c^{Cp} = 40$ мм.

Значение величин, необходимых для расчетов, принимаем по практическим данным эксплуатации шахтных печей при обжиге известняка коксом:

Степень обжига σ , %	92
Коэффициент расхода воздуха α	1,05
Потери от недожога, %	
механического $q_{мех}$,	5
химического, $q_{хим}$	5
Температура, $^{\circ}C$	
выгружаемой извести, t_m	200
печных газов t_r	100
Удельный съем CaO , кг/м ² · ч	528

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - \frac{79}{21} O_2 + 0,5 \cdot \frac{79}{21} CO}$$

Для упрощения расчета мы не учитывали возможность протекания при обжиге вторичных реакций взаимодействия CaO (своб.) с примесями карбонатного сырья (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Как показали проведенные расчеты, максимальная погрешность при таком допущении не превышает 1 % прихода тепла.

Расчет ведем на 1 кг CaO . Такой выбор исходной единицы позволяет использовать методику расчета для извести с любым содержанием CaO (своб.) и получить легко сопоставимые результаты.

Удельный расход сухого карбонатного сырья по (2.1):

$$K_C^C = \frac{1,786 \cdot 10^4}{CaCO_3^{C,C} \cdot \sigma}, \quad (2.1)$$

$$K_C^C = \frac{1,786 \cdot 10^4}{96,79 \cdot 92,0} = 2,006 \text{ кг.}$$

где 1,786 – стехиометрический расход $CaCO_3$, кг;

$CaCO_3^{C,C}$ – содержание карбоната кальция в сухом сырье, %.

Удельный расход натурального карбонатного сырья:

$$K_C^C = \frac{K_C^C}{(1 - H_2O^C \cdot 10^{-2})}. \quad (2.2)$$

где H_2O^C – содержание влаги в карбоната кальция сырье, %.

Удельный выход натуральной извести по (2.3):

$$K_{и}^{\phi} = \frac{K_C^C}{(1 - 0,5 MgCO_3^{C.C} \cdot 10^{-2})} - 0,7857 + a, \quad (2.3)$$

$$K_{и}^{\phi} = \frac{2,006}{(1 - 0,5 \cdot 1,33 \cdot 10^{-2})} - 0,7857 +$$

$$+ \frac{K_T^P}{(0,5 + 0,95 \cdot 12,66) \cdot 10^{-2}} = 1,2064 + 0,17K_T^P \text{ кг.}$$

где $MgCO_3^{C.C}$ содержание карбоната магния в сухом сырье %;
 a – несгоревший остаток топлива, кг.

$$a = K_T^P \cdot 10^{-2} [g_{мех} + (1 - g_{мех} \cdot 10^{-2}) \cdot (A^P + S_C^P)]. \quad (2.4)$$

где K_T^P – удельный расход топлива (рабочей массе), кг;

A^P , S_C^P – содержание золы и сульфатной серы в рабочей массе топлива, %.

По экспериментальным данным, количество сульфатной серы составляет 0,5 S, остальное 0,5 S – летучая сера.

Удельный расход воздуха, m^3 :

$$V_{возд} = 8,9 \cdot 1,05K_T^P \cdot 10^{-2} (1 - 0,05) \cdot 79,34 = 7,043K_T^P \text{ м}^3.$$

Удельный выход компонентов сухих печных газов:

$$V_{CO_2} = 0,400 + 0,266 \cdot 2,006 \cdot 10^{-2} \cdot 1,33 + 3,3 \cdot 10^{-2}K_T^P,$$

$$(0,566 \cdot 75,37 - 6228 \cdot 10^{-4} \cdot 5) \cdot 79,34 = 7,043K_T^P \text{ м}^3,$$

$$V_{CO} = 3,3 \cdot 6228 \cdot 10^{-6} \cdot 5K_T^P = 0,103K_T^P,$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot 7,043K_T^P \frac{1,05 - 1,0}{1,05} + 0,5V_{CO} = 0,122K_T^P \text{ м}^3,$$

Потери тепла за счет не сгорания летучих веществ топлива:

$$Q_B = K_\tau^p \cdot 10^{-2} \cdot 4.19 [(30000 \cdot 0.5 + 12000 \cdot 2)H^p + 2180 \cdot 0.5S^p] =$$

$$= K_\tau^p (390 H^p + 10.9 S^p). \quad (2.5)$$

Прочие потери (от механического недожога, неполного сгорания углерода топлива, в окружающую среду):

$$Q_{\text{т=}} = K_\tau^p Q_H^p \cdot 10^2 (q_{\text{мех}} + q_{\text{CO}} + q_{\text{окр}})$$

Приравнивая приходную и расходную статьи теплового баланса, решаем полученное уравнение в отношении K_τ^p . Подстановка найденного значения K_τ^p в предыдущие уравнение позволяет рассчитать все статьи материального и теплового балансов печи.

Материальный и тепловой баланс отдельных зон печи

Зона подогрева

Объем поступающих газов, м³

$$V_{\text{Г,пд}}^I = V_{\text{CO}_2, \text{обж}}^II + V_{\text{CO}, \text{обж}}^II + V_{\text{O}_2, \text{обж}}^II + V_{\text{N}_2, \text{обж}}^II =$$

$$= (V_{\text{CO}_2, \text{пд}}^II - 0,266 \text{MgCO}_3^{\text{с.о}} K_c^c \cdot 10^{-2}) + V_{\text{CO}}^II +$$

$$+ (V_{\text{CO}, \text{пд}}^II - 0.7 \cdot 10^{-2} K_T^p O^p) + (V_{\text{N}_2, \text{пд}}^II - 0,18 \cdot 10^{-2} K_T^p N^p).$$

Где индексы ^I – на входе,
^{II} – на выходе.

Ввиду незначительно количество кислорода и азота, выделяющихся из топлива в зоне подогрева, поправку на них можно не делать.

Количество выходящего карбонатного сырья, кг:

$$K_{\text{с,пд}}^II = K_c^c (1 - 0,52 \cdot 10^{-2} \text{MgCO}_3^{\text{с.с}}).$$

Выход коксового остатка, кг:

$$K_{\text{т,пд}}^II = K_T^p \cdot 10^{-2} (c^p - 1,5H^p + A^p + 0,5S^p).$$

Уравнение материального баланса зоны подогрева:

$$K_c^\phi + K_T^p + V_{\text{Г,пд}} \rho_{\text{Г,пд}} = K_{\text{т,пд}}^II + V_{\text{с.п.г}} \rho_{\text{с.п.г}} + K_{\text{в.п.}}$$

В приведенных уравнения учтены следующие процессы: сушка сырья и топлива, удаление летучих веществ из топлива и диссоциация карбоната магния. Для упрощения расчета потери тепла в окружающую среду отнесены полностью к зоне обжига.

Приход тепла с поступающим газами:

$$Q'_{г,пд} = (V_{CO_2,пд}^I c_{p, CO_2} + V_{CO,пд}^I c_{p, CO} + V_{O_2,пд}^I c_{p, O_2} + V_{N_2,пд}^I c_{p, N_2}) t_{обж}^{II}.$$

Расход тепла с выходящими материалами:

$$Q_{M,пд}^{II} = (K_{с,пд}^{II} c_c + K_{т,с,т}^{II}) t_{с,пд}^{II}.$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q_{г,пд}^I = Q_{M,пд}^{II} + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

В этом уравнении неизвестны две величины: $t_{г,пд}^I$ и $t_{с,пд}^I$. Для нахождения их можно использовать уравнение (2.5) и (2.6) в которых $t_{дис} = t_{с,пд}^{II}$, $t_{г} = t_{г,пд}^I$ и CO_2 отвечает содержанию двуокиси углерода в сухих печных газах. Совместным решением уравнений находят сначала $t_{г,пд}^I$, а затем $t_{с,пд}^I$.

Обозначим через u количество топлива (в пересчете на рабочую массу), сгорающего в зоне охлаждения. Тогда объем двуокиси углерода определится следующей зависимостью:

$$V_{CO_2.охл}^{II} = 1,867 \cdot 10^{-2} C_{сг} u$$

где $C_{сг}$ – сгоревший углерод, %

После подстановки значений теплоемкостей и решения уравнения относительно u имеем

$$u = \frac{376 V_{возд} - (c_{и,t_{и}}^I + c_{и,t_{и}}^{II}) K_{и}^{\Phi}}{Q_H^p - 3,65 C_{сг}}$$

Высота слоя материалов в рекуперативных зонах печи может быть рассчитана из соотношения

$$h = \frac{D_M}{\rho_{Нас}} \cdot \tau$$

где D_M – расход сухого карбонатного сырья (или съем извести), кг/(м²·ч);
 $\rho_{Нас}$ – насыпная плотность сухого карбонатного сырья (или извести); кг/м³; τ – продолжительность теплообмена, ч.

Расход карбонатного сырья на 1 м² в час может быть легко определен по заданной производительности печи и степени обжига.

$$\frac{t_M^{\text{II}}}{t_{\Gamma}^{\text{I}}} = 1 - \exp\left[\frac{\alpha F}{G_M c_{\text{каж}}^c} \left(1 - \frac{W_M}{W_{\Gamma}}\right) \frac{\tau}{1 + KBi}\right]$$

где t_M^{II} – температура материала на входе из теплообмена, °С; t_{Γ}^{I} – температура газа, вступающего в теплообмена, °С;

W_M – водяное число потока кусковых материалов, ккал/(ч·°С);

W_{Γ} – водяное число потока газа;

α – коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности кусков, ккал/(м²·ч·°С);

F – поверхность кусков в элементарном участке слоя, м²; G_M – масса тех же кусков, кг.

2.2 Расчет высоты зон обжига и горения

Высота зоны обжига может быть определена по длине совмещенной с ней части зоны горения на основе уравнения:

$$\frac{h_{\text{отж}}}{d_{\Gamma}} = 2,16 \lg \frac{X_0}{X} \text{Re}^{0,17x}.$$

где x – коэффициент разубоживания.

Остановимся на расчете величин, входящих в это уравнение.

Средний размер куски топлива (в м) определяется по уравнению

$$d_t = 10^{-2} \sum \Phi_i d_i.$$

Φ_i – доля i – той фракции.

Величины X_0 и X находим по составу газа, выходящего из зон охлаждения и обжига соответственно. В случае обжига мела или известняка при интенсифицированном режиме параметры газового потока (ω, v) при расчете критерия Re находим по среднему составу газа и средней температуре, принимаемой равной 1200⁰ С. В случае обжига известняка при умеренном режиме температуру принимаем равной 1100⁰ С.

Коэффициент разубоживания слоя топлива рассчитывается по формуле

$$x = \left(\frac{K_c^c}{\rho_{\text{нас}}^c} + \frac{K_T^c}{\rho_{\text{нас}}^c} \right) : \frac{K_T^c}{\rho_{\text{каж}}^c}.$$

$\rho_{\text{нас}}^c$ – берется из табл., а насыпные и кажущиеся плотности топлива (в кг/м³) могут быть приняты в среднем равными следующим величинам:

Топлива	$\rho_{\text{каж}}$	$\rho_{\text{нас}}$
Кокс	880	550
Антрацит	1380	870

Количество топлива, сгораемого в зоне охлаждения, рассчитывается по уравнению.

2.3 Расчет теплового напряжения

Расчет ведется на единицу условной поверхности кусков в зоне обжига.

Количество тепла, выделившегося в зоне обжига, $Q_{\text{обж}}$ (в кДж), может быть найдено на основании отдельных статей теплового баланса печи с помощью уравнения

$$Q_{\text{обж}} = Q' - Q_6^n - K_T^p Q_H^p \cdot 10^{-2} (q_{\text{мех}} + q_{\text{CO}}).$$

где Q' – приход тепла от сгорания загруженного топлива, кДж;

Q_6^n – потери тепла за счет неполного сгорания летучих топлива, кДж;

K_T^p – удельный расход топлива (в рабочей массе), кг;

$q_{\text{мех}}$ – потери тепла от механического недожога, %;

q_{CO} – потери тепла от неполноты горения углерода, %;

Q_H^p – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, кДж/кг.

Отсюда рассчитывают тепловые напряжения в зоне обжига:

а) плоскостное, отнесенное к единице площади поперечного сечения печи

$$q_{\text{пл}} = Q_{\text{обж}} D_{\text{CaO}}$$

б) объемное, отнесенное к единице объема зоны обжига

$$q_{\text{об}} = q_{\text{пл}} / h_{\text{обж}}$$

где D_{CaO} – съем извести в пересчете на CaO, кг/(м²·ч).

Поверхность кусков карбонатного сырья в единице объем зоны обжига определяется выражением $S = F/V_m^2 / \text{м}^3$, но

$$F = \frac{G_M \cdot 2\Phi}{d\rho_{\text{каж}}}$$

При совместном решении этих двух уравнений, учитывая, что $G_M = V\rho_{\text{нас}}$, а Φ принят равным 2,75, получаем (в м²/м³) после преобразований

$$S = \frac{5.5}{d} \cdot \frac{\rho_{нас}}{\rho_{каж}}$$

Искомое тепловое напряжение, отнесенное к единице поверхности кусков, находят из уравнения

$$q_s = \frac{q_{об}}{S} = \frac{Q_{обж} D_{CaO}}{h_{обж} S}$$

Так как действительная поверхность кусков, участвующая в теплообмене, будет, в силу ряда неучтенных причин (кон тактирование кусков между собой более быстрый прогрев мелких кусков по сравнению с крупными), меньше найденной с помощью уравнения, то рассчитанное тепловое напряжение следует относить к единице условной поверхности кусков.

Из анализа уравнения следует, что:

а) тепловое напряжение изменяется прямо пропорционально производительности печи;

б) вероятность получения извести с высокой реакционной способностью растет с уменьшением размеров кусков обжигаемого материала или с увеличением размеров кусков топлива.

$$Re = \frac{0,655 \cdot 0,08}{0,641 \cdot 10^{-4}} = 817.$$

Коэффициент теплопередачи по

$$\lambda = 0,61 \cdot 817^{0,67} \cdot \frac{0,0487 \cdot 1,163}{0,08} = 33,2 \cdot 1,163 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициент теплопроводность материала

$$\lambda_m = (1,71 - 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 441) 1,163 = 1,14 \cdot 1,163 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{К)}.$$

Суммарный коэффициент теплопередачи

$$\alpha_{\epsilon} = \frac{33,2 \cdot 1,163}{1 + 0,112 \cdot \frac{33,2 \cdot 0,08}{1,14}} = 26,3 \cdot 1,163 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Отношение водяных чисел:

$$\frac{W_M}{W_T} = (924 - 100) : 882 = 0,934.$$

Зона охлаждения

Средняя условная скорость газов:

$$t_{\Gamma}^{cp} = 0,5 \cdot 1100 = 550^{\circ}\text{C} \quad t_{\Gamma}^{cp} = 0,5(1100 + 200) = 650^{\circ}\text{C}$$

Средний состав газов:

Компоненты	CO ₂	O ₂	N ₂	Сумма
$V_{\Gamma, \text{охл}}^{cp}$, м ³	0,022	0,218	0,903	1,143
$t_{\Gamma, \text{охл}}^{cp}$, %	1,9	19,1	79,0	100,0

Средняя условная скорость газов:

$$\omega_{\Gamma}^{cp} = \frac{1,143 \cdot 528(550+273)}{273 \cdot 3600} = 0,505 \text{ м/с};$$

$$\nu_{\Gamma} = \frac{0,01}{\frac{1,9}{0,5} + \frac{19,1}{0,84} + \frac{79,0}{0,81}} = 0,806 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$d_{\text{и,охл}}^{cp} = 0,5(0,86d_c + d_{\text{и}}^{\text{II}});$$

$$d_{\text{и,охл}}^{cp} = 0,5(0,86 \cdot 0,08 + 0,05) = 0,059 \text{ м};$$

$$Re = \frac{0,505 \cdot 0,059}{0,806 \cdot 10^{-4}} = 370.$$

Зона обжига

Средний состав газов:

Компоненты	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	Сумма
$V_{\Gamma, \text{охл}}^{cp}$, м ³	0,318	0,009	0,119	0,903	1,349
$t_{\Gamma, \text{охл}}^{cp}$, %	23,5	0,7	8,8	67,0	100,0

$$\omega_{\Gamma}^{cp} = \frac{1,349 \cdot 528(1200+273)}{273 \cdot 3600} = 1,066 \text{ м/с},$$

$$\nu_{\Gamma} = \frac{0,01}{\frac{23,5}{1,41} + \frac{0,7}{2,15} + \frac{8,8}{2,23} + \frac{67,0}{2,15}} = 1,919 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$Re = \frac{1,066 \cdot 0,08}{1,919 \cdot 10^{-4}} = 445.$$

Проверим, достаточна ли высота зоны обжига для завершения процесса диссоциация кусков

$$V_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot 7,043 K_{\text{T}}^{\text{P}} = 5,564 K_{\text{T}}^{\text{P}} \text{ м}^3.$$

Удельный выход сухих печных газов

$$V_{\text{с.п.г}} = 0,4053 + 7,094K_T^p \text{ м}^3.$$

Удельный выход водяных паров

$$K_{\text{в.п}} = 0,08K_T^p \text{ кг}.$$

Приходная часть баланса:

$$10,107K_T^p + 2,006.$$

Расходная часть баланса

$$10,094K_T^p + 2,008.$$

Тепловой баланс

Приход тепла

$$Q' = 6228K_T^p \cdot 4,19 \text{ кДж}.$$

На разложение CaCO_3 и MgCO_3

$$G_1^* + G_2^* = (759,0 + 2,73 \cdot 2,006 \cdot 1,33) \cdot 4,19 = 766,3 \cdot 4,19 \text{ кДж}.$$

Потери тепла с сухими печными газами:

$$G_2^* = 100[(0,4053 + 1,305K_T^p) \cdot 0,41 + 0,103K_T^p \cdot 0,312 + \\ + 0,122K_T^p \cdot 0,315 + 5,564K_T^p \cdot 0,31] \cdot 4,19 = (16,6 + 232,0K_T^p) \cdot 4,19.$$

Потери тепла с известью:

$$G_5^* = (1,2064 + 0,170K_T^p \cdot 0,195 \cdot 200) \cdot 4,19 = (47,0 + 6,63K_T^p) \cdot 4,19 \text{ кДж}.$$

Прочие потери (за счет несгорания летучих веществ, механического и химического недожога, в окружающую среду)

$$G_{6,7,8}^* = 6228 \cdot 10^{-4} K_T^p (2 + 5 + 5 + 2) \cdot 4,19 = 871,92K_T^p \cdot 4,19 \text{ кДж}.$$

Уравнение теплового баланса:

$$6228 \cdot K_T^P (830 + 1114,15K_T^P) \cdot 4,19 \text{ кДж,}$$

$$K_T^P = 0,1623 \text{ кг.}$$

Статьи расхода теплового баланса:

Статьи	ккал	кДж	%
На разложение CaCO_3	759,0	3177,8	75,2
На разложение MgCO_3	7,3	30,6	0,7
С сухими печными газами	54,3	227,3	5,3
С водяными пара	0,6	2,5	0,1
С известью	48,1	201,4	4,7
Прочие потери	141,5	592,4	14,0
Итого	1010,8	4232,0	100,0

Прочие статьи расхода (из теплового баланса печи):

$$G_2^* + G_3^* + G_4^* = 62,2 \cdot 4,19.$$

Приравнивая приходные и расходные статьи баланса и решая уравнение, находим значения $t_{Г,пд}^* = 924^0 \text{ С.}$

По уравнению, описывающему зависимость температуры диссоциации от температуры газов и концентрации CO_2 в них находим:

$$t_{Г,пд}^* = 740 + 0,148 \cdot 924 + 0,13 \cdot 39,6 = 882^0 \text{ С.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе изложены методы расчета сушки и материальные и тепловые балансы.

Расчеты материального и теплового балансов процессов получения цветных металлов из сырья, а также выбор и расчет основного и вспомогательного оборудования являются неотъемлемой частью навыков.

В данной работе приведены расчеты материального и теплового балансов, а также выбор и расчет основного и вспомогательного оборудования стандартных способов производства свинца как наиболее распространенных.

Были проведены следующие операции: грануляция, сушка и обжиг, по нашему мнению, наиболее предпочтительна печь шахтного типа, к числу достоинств – к которой относятся простота конструкции, отсутствие вращающихся деталей, низкий пылевынос, компактность и рациональное использование тепла химических реакций, а также эффективный теплообмен между газом и обрабатываемым материалом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Андреев С. Е., Зверевич В. В., Перов В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Госгортехиздат, 1961.
- 2 Иоффе И.Л. – Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1991. – 352 с., ил.
- 3 Касаткин А.Г. – Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., «Альянс», 2006. – 753с.
- 4 Букетов Е.А., Малышев В.П. Технологические процессы шахтного обжига в цветной металлургии. – Алма-Ата: Наука, Каз ССР, 1973. – 352 с.
- 5 Диомидовский Д.А. Металлургические печи цветной металлургии. М.: Металлургия, 1970. – С. 287.
- 6 Лейзерович Г. Я. Основные проблемы обжига в кипящем слое. // Сб.: «Применение в СССР процессов обжига в кипящем слое». – М.: ЦНИИцветмет, 1960. – С.5 – 23.
- 7 Романенко А.Г. Обжиг известняка в шахтных печах // Metallurg. – 1960. – № 5. – С. 38 – 39.
- 8 Авт. св. СССР № 123170. Плоткин Н.З., Орешкин Г.Г., Рудаков А.К. Кольцевая шахтная обжиговая машина. // РЖ металлургия. – 1960. – № 8. – 17004П.
- 9 Яп. пат. кл.15. – F 221. – № 2891. Печь для обжига руды. / Сайто Эйкити, Кобаяси Сакухира. Оpubл. 15.02.65. 59. Хорада Сидзуо. Шахтная печь для сушки окатышей (Кавасаки Сейтецу Кабусики Кайся). – Яп. пат. № 2804 от 16.04.56.
- 10 Губинский В.И. Металлургические печи: Учеб. пособие. – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 85 с. 297
- 11 Инновационный патент РК №29308. Обжиговая шахтная печь для непрерывной сушки, обжига и охлаждения гранулированных материалов / Малышев В.П., Юн А.Б., Жумашев К.Ж., Захарьян С.В., Каримова Л.М., Айбеков Н.Ж. Оpubл. 15.12.2014. Бюл. № 12.
- 12 Лоскутов Ф. М., Цейдлер А. А. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов, 2 – е изд. Металлургиздат, 1962.