

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 666.940:41.002.6

ХАЛИЛОВ ШУХРАТ УРАЛИЕВИЧ

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА В
СОДОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЛЯ КУНГРАДСКОГО СОДОВОГО
ЗАВОДА**

ДИ С С Е Р Т А Ц И Я

на соискание академической степени магистра по специальности:

5A320305 – «Машины и аппараты химической промышленности и
предприятий строительных материалов»

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент

Мухамедбаева З.А.

Ташкент – 2014

ВВЕДЕНИЕ	3
-----------------------	----------

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Современные тенденции развития печных систем для обжига известняка.....	6
1.2. Рекомендации по выбору системы печей, работающих на твердом топливе и современные технологические схемы.....	17

ГЛАВА II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Методы исследования.....	31
2.2. Характеристика исходных материалов.....	34

ГЛАВА III. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТНЯКА ПРИ ОБЖИГЕ И РАСЧЕТ ШАХТНОЙ ПЕЧИ

3.1. Технологическая схема процесса декарбонизации известняка в шахтной печи с дополнительным всасывающим устройством.....	39
3.2. Оптимизация тепловых процессов работы шахтной печи и его конструктивный расчет.....	

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТНЯКА ЖАМАНСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

4.1. Влияние минерализаторов на процесс разложения сырьевой смеси.....	57
4.2. Процессы декарбонизации при обжиге известняка жамансайского месторождения при производстве соды на кунградском содовом заводе.....	58

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
------------------------	-----------

Список использованной литературы.....	63
---------------------------------------	----

Список опубликованных работ.....	69
----------------------------------	----

ВВЕДЕНИЕ

В мире насчитывается около 750 производителей извести, которым принадлежат 2500 печей с суммарной годовой мощностью 165 млн.т. При этом на 10 ведущих компаний приходится 36% мирового производства. Для мировой известковой промышленности характерно разнообразие обжигового оборудования: в США 90 печей составляют вращающиеся и лишь 10% шахтные: в странах ЕС доля вращающихся печей лишь 25%. При этом в известь потребляющих отраслях США существует следующее распределение: 130 вращающихся печей в целлюлозной и сталелитейной и 25 шахтных – в сахарном производстве. Удельный расход тепла составляет (ГДж/т.Са0): печи Мерца -3,9; кольцевые шахтные -4,3; обычные шахтные - 4,4; вращающиеся с запечными устройствами -5,6 без запечных устройств - 7,5. По оценкам мировой рынок извести составляет (млн.т) 191,5; из которых 75 приходится на КНР, 21-на США, 9,5 –на Японию, 6,8 – на ФРГ, 3,2 на Италию. В Европе потребление извести в (%) составляет: производство чугуна и стали -35, охрана окружающей среды и сельского хозяйства -30 , в строительстве и для стабилизации почвы -20.

На современном этапе развития экономики Республики Узбекистан особое значение приобретают модернизация, техническое обновление и диверсификация производства, широкое внедрение инновационных технологий. Как отмечает Президент Узбекистана И.А. Каримов в своей работе «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана», повышение конкурентоспособности предприятий за счет введения жесткого режима экономии, стимулирования снижения производственных затрат и снижения себестоимости является надежным путем преодоления кризиса и выхода Узбекистана на новые рубежи на мировом рынке [1].

Вместе с тем мы осознаем, - для того, чтобы занять достойное место в ряду стран развитых и с политической и с экономической точек зрения, нам предстоит ещё много сделать [2].

Актуальность работы. Цементная промышленность является одной из важнейших отраслей народного хозяйства страны, определяющей развитие капитального строительства. Современная строительная индустрия предъявляет высокие требования к качеству строительных материалов. В Республике Узбекистан за последние 5-6 лет объем производства цемента возрос в 1,8 раза, экспорт более 10 раз. Особое внимание уделяется качеству, производимой продукции [3].

Правительством Республики уделяется особое внимание развитию производства строительных материалов, удовлетворению потребностей и насыщению потребительского рынка современными строительными материалами, принята программа развития промышленности строительных материалов на 2010-2016 гг., программа модернизации, технического перевооружения предприятий промышленности строительных материалов на период с 2007 по 2011 год [4].

Цементные заводы нового поколения - это заводы, работающие по сухому способу производства цемента, по производству высококачественной извести с применением перспективных технологических инноваций.

Одна из наиболее значимых технологий, применяемых на новых заводах по производству вяжущих материалов – шахтные печные системы с высоким тепловым коэффициентом полезного действия, весьма экономичные по расходу топлива, простые в обслуживании, с возможностью полной механизации всех технологических операций .

Цель диссертационной работы – оптимизация параметров шахтных печей и достижение полного разложения карбоната кальция в сырьевой смеси известняка.

Научная новизна. Повышение эффективности процесса декарбонизации сырьевой смеси при производстве извести, углубление термической подготовки материала во взвешенном состоянии при его прохождении по запечному пространству. Установлена зависимость степени декарбонизации сырьевой степени и кремнефтористого минерализатора.

Выявлено, что введение кремнефтористого натрия в количестве 0,5% в сырьевую смесь, понижает содержание карбоната кальция.

Задачи исследования. В рамках поставленной цели были решены следующие задачи:

-проведен обзор информации научно-технической литературы в области развития печных систем обжига известняка;

-изучены методы оптимизации процесса разложения карбоната кальция в шахтной печи;

-разработан комплекс мероприятий по изменению гидравлического режима шахтной печи с увеличением количества отходящих газов, улучшению подготовки газов к очистке в электрофильтрах и повышению их пропускной способности;

- выявлены температуры отходящих газов и зон шахтной печи, и определена степень декарбонизации материала в зоне обжига;

-изучена роль минерализатора на степень декарбонизации сырьевой смеси.

Практическая ценность. При решении вопроса выбора шахтных печей следует учитывать не только то, что в результате снижения температуры отходящих газов возможна экономия топлива, но и возможность повышения гидравлического сопротивления системы в случае недостаточно удачной конструкции печей.

Применение шахтных печей нового класса позволит снизить его сопротивление по сравнению с классическими на 110 мм. вод. ст. Установка дополнительного всасывающего устройства позволит ускорить процесс декарбонизации при более пониженной температуре и увеличить выход CO_2 .

Структура диссертации. Диссертация изложена на 69 страницах. Состоит из введения, четырёх глав, списков опубликованных материалов по теме диссертации, использованной литературы и приложений. В диссертации приведены 7 рисунков и 3 таблицы.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Современные тенденции развития печных систем для обжига известняка

Шахтные печи для обжига известняка подразделяются на две основные группы. К первой группе относятся шахтные пересыпные печи, в которых топливо сгорает в среде известняка. Пересыпные шахтные печи работают только на твердом короткопламенном топливе (антраците, коксе, тощем каменном угле). Топливо и известняк загружают в печь (камины spartherm), . Топливо сгорает в зоне обжига и выделяет тепло, нужное для разложения карбоната кальция. Воздух, необходимый для горения топлива, подают в нижнюю часть печи. Отходящие газы отводят из верхней части шахты печи с помощью вентилятора.

Вторую группу составляют шахтные печи, работающие на горючем газе, а также печи, снабженные выносными топками.

При работе печей на горючем газе последний вводят непосредственно в шахту печи, в зону обжига, через газовые горелки и газовые влеты. Сгорая, газ создает в зоне обжига необходимую температуру (1100-1200⁰С). Известняк, двигаясь по шахте сверху вниз, обжигается в зоне высоких температур.

Температура в зоне обжига повышается до 1100-1200⁰С, карбонат кальция разлагается и образуется известь.

Шахтная печь представляет собой вертикальную шахту высотой от 15 до 20 м. Шахта в горизонтальном сечении может иметь круглую или овальную форму; размеры шахты в наибольшем поперечном сечении печи составляют от 1,6 до 3 м. Кладка шахты печи выполнена в два слоя: наружная кладка – из глиняного красного кирпича, внутренняя – из огнеупорного.

Снаружи печь заключена в металлический кожух из листового железа. Свободное пространство между наружной кладкой из глиняного кирпича и кожухом заполняется теплоизоляционным материалом, который может состоять из сухого трепела или молотого шамотного порошка.

В верхней части шахтной печи установлено загрузочное устройство, конструкция которого может быть различной.

Линейка «КСТ» насчитывает четыре разновидности шахтных печей для выпуска продукции разных марок:

- КСТ ML – мягкий обжиг известняка и доломита средней крупности
- КСТ MF – мягкий обжиг известняка и доломита мелкой фракции
- КСТ В – обжиг карбонатных пород при повышенных температурах
- КСТ S – агломерирующий обжиг и обжиг со спеканием

Шахтные печи марки «КСТ» могут обжигать материалы с крупностью от 20 до 160 мм, при температурах от 800 до 2200⁰С.

Особым преимуществом линейки печей «КСТ» является преимущество формы шахты, типов загрузочного и разгрузочного механизмов с печами ранних отечественных конструкций, построенных в разные годы по типовым проектам Гипрострома и Росстромпроекта. Такие печи могут быть модернизированы до печей «КСТ» с минимальными капитальными затратами. В результате реконструкции расходы топлива на обжиг сокращаются в среднем на 15-20%.

Столь широкие возможности печей «КСТ» обуславливаются особенностями конструкции шахты, современных устройств ввода и сжигания топлива, строго определенным размещением этих устройств по высоте, радиусу и образующей печи. Размещением устройств ввода и сжигания топлива достигается оптимальное распределение температур по высоте шахты и равномерность прогрева материала во всех сечениях печи.

Устройства ввода топлива печей «КСТ» устанавливаются с высовом в слой породы. Они оснащены уникальной системой тепловой защиты и самоохлаждения, обеспечивающей долговременную стойкость горелок в слое породы при температурах до 1350⁰С. Для применения в условиях сверхвысоких температур, вплоть до 2200⁰С, разработана система принудительного охлаждения топливных устройств высоко температурным теплоносителем в замкнутом цикле. Благодаря эффективной системе

рекуперации тепла тепловая энергия не теряется с охлаждающим агентом, а полностью возвращается в печь с подогретым воздухом.

Простые формы и прямой профиль печей «КСТ», позволяют футеровать их огнеупорами серийной поставки, что определяет низкую стоимость футеровки и богатый выбор поставщиков огнеупоров.

«MF» и «КСТ S» типы печей специально разработаны для обжига мелкофракционных материалов, образующихся на этапах обогащения и при измельчении сырья. Эти печи оснащены мощным тягодутьевым оборудованием, которое нагнетает в слой породы воздух под давлением до 40 кПа, благодаря чему шахтный обжиг доступен для мягкого обжига известняка и доломита с крупностью от 20 мм, а также агломерации различных материалов при высоких температурах с крупностью от 10 мм.

Печи «JTR» - прямоточно-противоточные регенеративные печи с системой пульсирующего обжига.

В сравнении с обычными двухшахтными регенеративными печами, предлагаемое решение имеет значительные преимущества, обусловленные применением современной газодинамической схемы и использованием пульсирующего нагрева:

- потребление электроэнергии уменьшено на 30-40% (по отношению к классическим регенеративным двухшахтным печам)
- уменьшение затрат на футеровку на 20-30% за счет отсутствия сложные футерованных конструкций из фасонных изделий.

Линейка «JTR» насчитывает четыре разновидности шахтных печей для выпуска продукции разных марок:

- JTR ML – мягкий обжиг известняка и доломита средней крупности
- JTR MF – мягкий обжиг известняка и доломита мелкой фракции
- JTR B – обжиг карбонатных пород при повышенных температурах
- JTR S –агломерирующий обжиг и обжиг со спеканием.

Ключевой особенностью технологии обжига известняка в печах «JTR» является создание двух потоков газообразного теплоносителя, направленных

по вертикали в противоположные стороны по ходу такта обжига. За счет этого в пространстве печи формируется однородный поток горящего топлива, раскрывающийся во всех направлениях. Основной поток газов в зоне обжига движется в прямоходе с материалом вниз к нижнему коллектору, из которого откачивается принудительно и поступает в соседнюю шахту. Расходы всех газовых сред переменны во времени, за счет чего реализуется пульсирующий режим нагрева, обжига и охлаждения. В нижнюю часть каждой шахты вводится охлаждающий воздух. Пульсации в двух шахтах осуществляются в противофазе. Режим пульсирующего обжига гранул известняка обеспечивает эффективное использование тепла продуктов сгорания топлива без перегрева поверхности гранул.

Разработанная компанией Eberhardt GmbH отапливаемая природным газом шахтная печь Eberhardt G135 с диаметром 3 и высотой 24 м (рабочее сечение 7,07 м рабочий объем 170 м. Печь оборудована камерами для сжигания газообразного топлива. Производительность печи 150 т/сутки при максимальном расходе тепла 1150 к кал/кг извести и содержании CO_2 в отходящих газах не менее 26% и остаточном содержании CO_2 не более 3% [5].

Авторами [6] в способе производства извести, включающем дробление известняка до фракции 40-80 мм, его обжиг в шахтной печи и продуктами сгорания природного газа в противоточном режиме последовательно в трех технологических зонах: зоне подогрева с температурой до 900°C , зоне непосредственного обжига с температурой $900-1200^{\circ}\text{C}$ и зоне охлаждения, в зоне охлаждения до температуры $40-1000^{\circ}\text{C}$ одновременно с охлаждением осуществляют гашение извести, для чего подаваемый воздух предварительно увлажняют водой в количестве, необходимом для полного гашения извести.

Авторами [7] изучена возможность использования различных минерализаторов (KCl , NaCl , сода, сильвинит - $\text{KCl}\cdot\text{NaCl}$) при обжиге извести. Добавки вводили в состав сырьевого шлама в виде рассола различной концентрации. Приведены результаты определения активности

известии в зависимости от вида и содержания добавки (0,1-1%) и температуры обжига (950 и 1050 °С). Показано, что среди хлоридов наибольший эффект обеспечивают галитовые отходы (NaCl) и KCl при дозировке 0,2-0,4% от массы сухого мела. Наибольший прирост активности обеспечивает добавка соды в количестве 0,3-0,4% от массы сухого мела. Введение добавок удлиняет время и снижает температуру гашения известии. Показано, что добавки 0,4% галитовых отходов и 0,4% сильвинита ухудшает текучесть шлама, а 0,4% KCl на нее практически не влияет. Введение соды приводит к повышению текучести шлама, что при содержании соды 0,4% позволяет снизить влажность мелового шлама с 33 до 30%.

В Индии с начала девяностых годов прошлого века компания Cimprogetti является лидером в разработке оборудования для использования в металлургии низкокалорийного газа Corex (теплотворная способность около 1800 ккал/нм²). В индийской компании Jindal South West компания Cimprogetti установила три печи для обжига известии производительностью по 330 т/сут. С Cimprogetti подписан контракт на дополнительную поставку в середине 2009 г. еще трех печей производительностью по 600 т/сут. Поставляемые печи RD 15 отражают современный уровень техники в разработке двухшахтные регенеративных печей, основанной на использовании в них кольцевой секции. Cimprogetti имеет договоры на поставку таких печей, отапливаемых колошниковым газом и углем, с рядом индийских компаний. В Cimprogetti ведется разработка более мощных печей производительностью до 800-900 т/сут.

По патенту [8] расположенная в г. Wuppertal-Nahnenfuth компания Kalkwerke H. Oetelshofen GmbH and Co. KG в течение года успешно использует на принадлежащем ей известковом заводе двухшахтную печь, разработанную инжиниринговой компанией Qualical (Bergamo, Италия). Результатом простоты конструкции печи является относительная дешевизна ее сооружения и эксплуатации. Гарантированная производительность печи составляет 400 т/сут., но может достигать 500 т/сут. В печи можно обжигать

известняк с размером кусков 30 мм и выше использование мелкого (меньше 30 мм) известняка сопряжено со снижением производительности печи. удельный расход тепла на обжиг составляет 850 ккал/кг.

В работе автора [8] приведены уравнения для расчета теплового баланса обжига извести и рассматривается влияние вида топлива, коэффициента избытка воздуха, теплотеря через стенки печи и концентрации CO_2 на энергопотребность. Показано, что подогрев воздуха, используемого для сжигания топлива, с помощью отходящих газов способствует энергосбережению, однако эффективность рассматриваемого приема зависит от вида топлива и коэффициента избытка воздуха.

Основы конструкции и принцип работы шахтной печи G 135 для обжига извести на газе разработаны в прошлом компанией WEST (Великобритания). Там в 1960-х гг. был разработан тип печей для обжига извести, которые обычно устанавливались прямо на карьере и запитывались известняком при помощи ленточного конвейера. В 1970-1975 гг. компания Eberhardt сотрудничала с компанией WEST's Pyro (Манчестер), поставившей несколько печей для обжига извести такого типа на ряд сахарных заводов Западной Европы. Заключив соответствующее лицензионное соглашение, компания Eberhardt усовершенствовала технологию, в основном, с точки зрения системы управления и начала поставлять печи независимым клиентам в нескольких странах Азии. Печь для обжига извести G 135 загружается при помощи скипового подъемника. Загрузочное устройство печи состоит из системы питания, в которой питательный бункер, оборудованный загрузочными сдвижными воротами и конусом, обеспечивает надежный газовый шлюз для каждой порции загружаемого сырья.

Изобретение [9] может быть использовано для обжига кусковых карбонатных материалов в металлургии, химической и строительной промышленности. В изобретении Конева В.А. и др. [9] шахтная печь содержит футерованную шахту с зонами подогрева, обжига и охлаждения, керамический керн, имеющий каналы, сообщающиеся с

топливосжигающими устройствами и полостью печи, загрузочное и разгрузочное устройства, а также топливосжигающие устройства керновые и периферийные, установленные на верхнем и нижнем ярусах зоны обжига. Печь снабжена устройствами для отбора горячего воздуха из зоны охлаждения и продуктов сгорания из нижней части зоны обжига и подачи их в зону подогрева, выполненными в виде радиальных горизонтальных каналов в футеровке печи, расположенных в верхней части зоны охлаждения и средней части зоны подогрева, сообщающихся с рабочим пространством печи и соединенных между собой трубопроводами, расположенными вне рабочего пространства печи. Изобретение позволяет повысить качество обжига за счет организации в зоне обжига противотока и прямотока продуктов сгорания и обжигаемого материала, а также увеличивает зону обжига за счет сокращения зоны охлаждения при сохранении теплотехнических характеристик зон подогрева и охлаждения и при сохранении общей высоты печи.

Известна вертикальная шахтная печь обжига известняка фирмы IPROMET SA, г.Бухарест [10], содержащая футерованную шахту с зонами подогрева, обжига и охлаждения, загрузочное и разгрузочное устройства, а также периферийные топливосжигающие устройства, установленные на одном ярусе, и два вентилятора-дымососа. Один из вентиляторов забирает дымовые газы из верхней части печи, а другой – забирает горячий воздух из зоны охлаждения и часть дымовых газов из нижней части зоны обжига и подает их по трубопроводам в топливосжигающие устройства. Температура отбираемых этим вентилятором газов по технологическому режиму составляет 550-600 С.

Недостатком известной печи является высокая стоимость вентилятора, работающего при температурах 550-600 С, в связи с изготовлением его из дорогостоящих жаропрочных сталей и керамики. Применение вентиляторов, изготовленных из более дешевых материалов, приводит к снижению надежности их работы. Такие вентиляторы в условиях высоких температур

быстро выходят из строя и при эксплуатации требуют снижения скорости вращения крыльчатки, что приводит к ухудшению газодинамики в печи и снижению температуры воздуха, подаваемого на горение.

Кроме того, воздух, забираемый из зоны охлаждения, имеет высокую запыленность и при подаче его в топливосжигающие устройства выводит их из строя, забивая пылью сопла, что снижает надежность работы печи в целом.

Наиболее близким к заявляемому устройству по технической сущности и достигаемому техническому результату является шахтная печь для обжига кусковых материалов, содержащая футерованную шахту с зонами подогрева, обжига и охлаждения, керамический керн, установленный в зоне обжига и имеющий каналы, сообщающиеся с топливосжигающими устройствами и полостью печи, загрузочное и разгрузочное устройства, а также топливосжигающие устройства керновые и периферийные, установленные на верхнем и нижнем ярусах зоны обжига. Сектора газораспределительного керна представляют собой замкнутые керамические конструкции с горизонтальными каналами, сообщающимися с помощью отверстий с полостью центрального столба. Зона охлаждения снабжена устройством для отвода горячего воздуха и подводом его в верхние каналы керна в зоне обжига (см. патент RU 23217809 C2, 20.08.2007).

Задачей, на решение которой направлена работа Конева В.А. и др. является повышение надежности работы печи и оптимизация распределения тепловых потоков в шахте печи [9].

Поставленная задача решается тем, что в шахтной печи для обжига кускового материала, содержащей футерованную шахту с зонами подогрева, обжига и охлаждения, керамический керн, имеющий каналы, сообщающиеся с топливосжигающими устройствами и полостью печи, загрузочное и разгрузочное устройства, а также топливосжигающие устройства керновые и периферийные, установленные на верхнем и нижнем ярусах зоны обжига, особенность состоит в том, что она снабжена устройствами для отбора

горячего воздуха из зоны охлаждения и продуктов сгорания из нижней части зоны обжига и подачи их в зону подогрева, выполненными в виде радиальных горизонтальных каналов в футеровке печи, расположенных в верхней части зоны охлаждения и средней части зоны подогрева, сообщающихся с рабочим пространством печи и соединенных между собой трубопроводами, расположенными вне рабочего пространства печи.

Кроме того, особенность состоит в том, что на трубопроводах установлены регулирующие устройства.

Кроме того, на горизонтальных участках трубопроводов выполнены люки для чистки этих участков.

Заявляемая совокупность существенных признаков позволяет получить следующий технический результат.

Снабжение печи устройствами для отбора горячего воздуха из зоны охлаждения и продуктов сгорания из нижней части зоны обжига и подачи их в зону подогрева, выполненными в виде радиальных горизонтальных каналов в футеровке печи, расположенных в верхней части зоны охлаждения и средней части зоны подогрева, сообщающихся с рабочим пространством печи и соединенных между собой трубопроводами, расположенными вне рабочего пространства печи, повышает надежность работы печи, поскольку при таком направлении газовых потоков исключена возможность забивания пылью каналов керна и горелок топливосжигающих устройств.

Отбор горячего воздуха из зоны охлаждения и продуктов сгорания из нижней части зоны обжига и подача их в зону подогрева осуществляется без применения дутьевых средств путем естественного их движения за счет перепада давлений в указанных зонах печи, что удешевляет конструкцию печи в целом.

Отбор горячего воздуха из зоны охлаждения и продуктов сгорания из нижней части зоны обжига и подача их в зону подогрева повышает качество обжига за счет организации в зоне обжига противотока и прямотока продуктов сгорания и обжигаемого материала, а также увеличивает зону

обжига за счет сокращения зоны охлаждения при сохранении теплотехнических характеристик зон подогрева и охлаждения и при сохранении общей высоты печи.

Удлинение зоны обжига и возможность изменения ее размеров, обеспечиваемые с помощью регулирующих устройств, установленных на трубопроводах, позволяет получить известь с регулируемым временем гашения.

Шахтная печь для обжига кусковых материалов работает следующим образом. Подлежащий обжигу кусковой материал, например известняк, с помощью загрузочного устройства поступает в зону подогрева шахты, где происходит его подогрев продуктами сгорания топлива.

При движении материала вниз через зону обжига происходит обжиг его в противотоке продуктов сгорания. Большая часть продуктов сгорания (около 85-95%), поступающих от топливосжигающих устройств, поднимаясь вверх в противотоке с опускающимся известняком, проходит через зону обжига и зону подогрева, отдает свое тепло обжигаемому материалу и удаляется из печи через центральные и периферийные каналы посредством дымососа.

Меньшая часть продуктов сгорания (5-15%), движущаяся в нижней части зоны обжига в прямотоке с обжигаемым материалом, смешивается с воздухом, подаваемым на охлаждение извести, и через каналы, трубопроводы и каналы поступает в зону подогрева, откуда также удаляется через центральные и периферийные каналы посредством дымососа. Смесь воздуха и дымовых газов, отбираемая из зоны охлаждения, имеет температуру 700-800 С. Подача этой смеси в зону подогрева, где процесс протекает при подобных температурах, позволят улучшить конвективный теплообмен между дымовыми газами и известняком и, как следствие, подать в зону обжига материал с более высокой температурной.

Разгрузка готового продукта из зоны охлаждения производится разгрузочным устройством.

Изобретение авторов [11] позволит повысить реакционную способность и гомогенизацию конечного продукта в шахта печи.

Авторами Чайкин Б.С. и др. [11] получения патент на способ обжига кускового известняка в шахтной печи и шахтная печь для обжига кусковых материалов изобретение относится к обжигу кускового известняка в шахтных печах. Подогрев известняка, обжиг с получением извести и ее охлаждение осуществляют в противотоке с продуктами горения газообразного топлива и воздухом. Осуществляют периферийную подачу через топливосжигающие устройства, установленные в футеровке печи на двух уровнях, газообразное топливо и газ-окислитель, в качестве которого на верхнем уровне топливосжигающих устройств используют смесь воздуха и рециркуляционных газов, подаваемых из дымоотводящего тракта печи. Подачу топлива и газа-окислителя топливосжигающими устройствами нижнего уровня производят в центральную часть шахты на расстоянии от футеровки печи, равном 0,3-0,5 внутреннего диаметра шахты. В качестве газа-окислителя в топливосжигающих устройствах нижнего уровня используют атмосферный воздух в количестве, соответствующем величине коэффициента расхода воздуха $\lambda_{\text{нижн}} = 0,35-0,5$. Изобретение направлено на снижение удельного расхода топлива при сохранении высокой степени обжига извести, обеспечение длительной работы печи без локального износа футеровки печей с диаметром в зоне обжига 3 м и более.

Кобелев Н.С. и др. в своей работе [12] описывают шахтную печь для обжига сыпучего материала с получением сатурационного газа, которая содержит цилиндрическую футеровочную шахту, загрузочное и выгрузочное устройства, корб отсоса печных газов, газовый насос, вентилятор для подачи воздуха в печь и вихревую трубу. Вихревая труба снабжена конденсатосборником с устройством удаления сконденсировавшейся влаги. Газовый насос снабжен приводом с регулятором скорости вращения и блоком управления, причем блок управления включает регулятор температуры с датчиком температуры и регулятор расхода с датчиком

расхода. Каждый из регуляторов состоит из блоков сравнения и задания, электронного усилителя с блоком нелинейной обратной связи и магнитного усилителя, соединенного с регулятором скорости вращения, который выполнен в виде блока порошковых магнитных муфт. Техническим результатом является получение сатурационного газа в энергосберегающем режиме работы газового насоса при наблюдаемом изменении в процессе эксплуатации температуры и расхода печных газов.

1.2. Рекомендации по выбору системы печей, работающих на твердом топливе и современные технологические схемы

Шахтные печи оборудуют автоматическими загрузочными устройствами. Известняк загружается в печь по сигналу указателя уровня, установленного в верхней части печи. Указатель уровня представляет собой штангу, пропущенную в печь. Груз, прикрепленный к концу штанги, лежит на известняке, находящемся в печи. По мере опускания известняка штанга с грузом тоже опускается. При понижении уровня известняка до минимально допустимого выступ на штанге замыкает концевой выключатель, в связи с чем включается в действие цель управления движением скиповой лебедки.

Шахтная печь содержит цилиндрическую футеровочную шахту, загрузочное и выгрузочное устройства, короб отсоса печных газов, газовый насос, соединенный всасывающим патрубком с коробом печных газов и нагнетательным патрубком – с коллектором печных газов, вентилятор для подачи воздуха в печь. Печь также содержит вихревую трубу с входом на ее «холодном» конце, соединенным с нагнетательным патрубком газового насоса, и выходами на «холодном» конце для отвода «холодного» потока углекислого газа и на «горячем» конце, соединенным с трубопроводом подачи воздуха из вентилятора в печь. Вихревая труба снабжена конденсатосборником с устройством удаления сконденсировавшейся влаги и соединенным входом с выходом на «холодном» конце вихревой трубы, а

выходом с коллектором печных газов. Техническим результатом является получение сатурационного газа, очищенного от парообразной и мелкодисперсной влаги.

В сериальном издании журнал Zement-Kalk-Gips сообщается [13], что в Бастенхаус (Германия) состоялось рабочее совещание специалистов известковой промышленности «Альтернативное топливо для известковой промышленности».

Печь G 135 работает на принципе вытяжной тяги и управляется при помощи вентилятора отходящего газа. Такая схема повышает необходимость обеспечения воздухо непроницаемости загрузочной системы печи. В противном случае отходящий газ будет разбавляться подсосываемым воздухом и условие высокой концентрации CO_2 в отработавшем газе будет невыполнимо. Отходящие печные газы выводятся из печи через балку-газоход. Слой известняка над балкой принимает форму конуса, похожего на питающий бункер. Балка оканчивается с обоих концов за пределами корпуса печи полукруглыми газоводами и имеет центральный отводной канал для предотвращения периферийного отхода газов. Шахта печи имеет цилиндрическую форму по всей длине с увеличением диаметра только в зоне загрузки и ниже уровня горелки. Она имеет значительно большую длину, чем оригинальная версия. Это позволяет снизить теплотери в отходящем газе и оптимизировать энергобаланс. Вентилятор рециркуляции отбирает часть отходящего газа через циклонную систему обеспыливания и вновь возвращает его в систему через камеру сгорания или газификационную камеру в виде газа рециркуляции. Помимо охлаждения кирпичной кладки на уровне горелки основная задача газа рециркуляции – это распределение тепла по всему сечению печи, особенно по направлению к центру и, таким образом, обеспечение однородности структуры извести. В обжиговой печи C 135 топливо подается через семь внешних, расположенных радиально наклонных камер сгорания или газификационных камер. Основные горелки со встроенными пусковыми горелками используются при работе на

природном газе. При сжигании нефти ее струя распыляется в газификационной камере при помощи системы насосов и форсунок. На пути к раскаленной массе материала эта струя испаряется, однако сгорает только частично. В обоих случаях камеры работает под строгим стехиометрическим контролем в пределах $X=0,3 - 0,8$. Только часть необходимого объема воздуха горения подается на уровне камер сгорания. Остальной воздух, необходимый для полного сгорания, подается как вторичный в виде предварительно разогретого воздуха охлаждения извести, поднимающегося снизу. Благодаря тяге он поступает со дна печи. Управляемые воздушные клапаны позволяют регулировать подачу воздуха по периметру бункера с известью и в центральный грибовидный воздухораспределитель.

При производительности печи 150 т/д за один цикл выгружается около 4,16 т негашеной извести. Вся операция занимает примерно 10 секунд. Резкие, внезапные движения массы материала в шахте печи предотвращают закупоривание клапана.

Негашеная известь из печи дозируется бункерным весовым дозатором и по виброжелобу поступает для приготовления известкового молока на известковым завод. Для режима запуска или случаев аварийных остановок технологического процесса, известь может выгружаться из дозатора автоматически через аварийный выпуск.

После удаления газа рециркуляции отходящий печной газ подается на газоочистную установку, состоящую из двухступенчатого газоочистителя с пылесборником, установленным на входе. Собранная известковая пыль периодически вымывается и подается по дренажным каналам в систему водоподготовки сахарного завода. Помимо того, что газоочиститель выполняет функцию очистки, он действует как охладитель, поскольку установленный ниже водокольцевой компрессор рассчитан на входящую температуру CO_2 ниже 40°C ввиду возможной кавитации отходящих газов. В другой, отличной от сахарного производства отрасли для очистки отходящего газа может быть использован рукавный фильтр, рассчитанный на

соответствующую рабочую температуру. Если используется топливо, содержащее серу, газоочиститель может быть соединен с установкой, нейтрализующей промывочную и охлаждающую воду (с использованием каустической соды) для предотвращения коррозионного разрушения трубопроводов и оборудования, контактирующего с отходящими газами.

Сырьевая смесь и вводимая в нее топливная крупка сначала подаются из отдельных бункеров вибрационными питателями и ленточными весовыми транспортерами в смесительный шнек, а затем поступают в тарельчатый гранулятор. В нижней части бункеров помещаются сводобрушитель, который предотвращает перерывы в поступлении материала, и вращающиеся лопасти, препятствующие его самотеку.

Вибрационный электромагнитный питатель имеет неподвижный массивный корпус, в котором укреплены два электромагнита, и подвижный лоток, составляющий одно целое с якорем электромагнитов. При попеременном пропускании тока через катушки электромагнитов последние притягивают и отпускают якорь с лотком, который в результате этого совершает 50 колебаний в секунду.

Регулирование производительности питателя осуществляется изменением подаваемого на обмотки электромагнитов напряжения при помощи регулятора напряжения, который включается в цепь питания электромагнитов и управляется системой автоматического регулирования.

Ленточный весовой транспортер состоит из неподвижной рамы, транспортера с приводным механизмом на подвижной весовой раме, передаточных рычагов и весового механизма с указательным устройством. Весовой механизм связан с индуктивным датчиком системы автоматического регулирования.

В тарельчатый гранулятор одновременно с шихтой – смесью сырья и топлива в пропорции примерно 88:12 – подается вода из водопроводной сети через механические форсунки с винтовыми распылителями или центробежного типа.

Гранулированная шихта подается в печь и распределяется по ее сечению желобом, вращающимся на вертикальном валу от электродвигателя мощностью 1,8 квт.

Для подачи воздуха в печь выбрана воздуходувка 0-325-11 конструкции и производства Невского завода им.Ленина; ее производительность 18000 м³/час; конечное давление воздуха равно 4000 мм вод. ст. Мощность электродвигателя воздуходувки – 290 квт.

Воздух подается в печь через колосниковую решетку разгрузочного устройства. Предусмотрена подача в нижнюю часть зоны горения кислорода под высоким давлением по трубе, введенной сверху печи по ее оси. Труба выполняется из высокоогнеупорного материала (например зитнермагнезита); можно применять металлургическую с водяным охлаждением. По этой же трубе, а также через фурмы, расположенные по периферии печи, в верхнюю часть печи подается кислород для дожигания окиси углерода и уменьшения таким образом удельного расхода тепла на обжиг клинкера.

Эксплуатация разгрузочных устройств действующих шахтных печей показала, что вращающаяся решетка более надежно обеспечивает равномерность разгрузки материала, чем вальцы. Они не всегда захватывают крупные куски спекшегося клинкера, в то время как вращающаяся решетка безотказно дробит опускающийся на нее материал. Недостатком вращающейся решетки является то, что ее окружная скорость возрастает от центра к периферии. Это компенсируют уменьшением высоты зубьев и размера отверстий от центра к периферии решетки.

Для разгрузки клинкера из шахтной печи принята зубчатая колосниковая решетка с возвратно-поступательным движением. Размер отверстий решетки 200x100 мм; скорость ее движения регулируется в пределах от 20 до 50 м/час.

Предусмотрено изготовление зубчатых колосников решетки из износоустойчивой литейной стали. Колосники выполняются съемными для удобства замены сработавшихся. Ролики, по которым движется решетка,

закрыты кожухом, куда подается сжатый воздух под давлением, превышающим давление в разгрузочной воронке печи. Благодаря этому исключается возможность проникновения пыли к роликами.

Распределение подачи топлива, при котором большее количество топлива подают на верхний уровень, а меньшее на нижний, при подаче через зону охлаждения основного количества (75%) воздуха, необходимого для осуществления процесса обжига в печи, приводит к снижению температуры нагрева воздуха, поступающего на горение из зоны охлаждения извести, увеличению зоны обжига, уменьшению зоны подогрева и, как следствие, к увеличению удельного расхода топлива при невысоком качестве получаемой извести.

Известен способ обжига кускового известняка [14] в шахтной печи, включающий подогрев, обжиг известняка и охлаждение полученной извести, осуществляемый в печи цилиндрической формы в противотоке с продуктами горения топлива и воздухом, подачу газообразного топлива и воздуха на его горение через два уровня топливосжигающих устройств, при этом 35-40% общего расхода топлива подают на нижний уровень топливосжигающих устройств и 60-65% на верхний уровень, холодный атмосферный воздух в количестве 25% от общего расхода подают в зону обжига периферийно через два уровня топливосжигающих устройств, а 75% через зону охлаждения извести

Имеется технология обжига кускового известняка в шахтной печи [15], включающий подогрев, обжиг известняка и охлаждение полученной извести, осуществляемые в противотоке с продуктами горения топлива и воздухом, подачу на нижний и верхний уровни периферийно расположенных топливосжигающих устройств газообразного топлива и газа-окислителя для горения топлива, причем в качестве газа-окислителя для горения топлива на нижнем уровне топливосжигающих устройств используют атмосферный (холодный) воздух, подавая его в количестве, соответствующем величине коэффициента расхода воздуха (λ), равном 0,2-0,15. Топливосжигающие

устройства нижнего уровня располагаются на расстоянии 1,4-2 м от топливосжигающих устройств верхнего уровня. Расход топлива на топливосжигающем устройстве нижнего уровня составляет 55-65% от общего расхода. При указанных условиях обжига обеспечивается достижение температуры воспламенения смеси топливо-воздух непосредственно в месте ввода топлива и воздуха в рабочее пространство через топливосжигающие горелки нижнего уровня, что приводит к снижению удельного расхода топлива за счет уменьшения зоны обжига. Общий коэффициент расхода воздуха на процесс равен 1,25-1,35 [15].

Известна также из цилиндрическая шахтная печь для обжига кускового известняка с внутренним диаметром 2,5 м и рабочей высотой 22 м, на которой установлены на двух уровнях диффузионные горелки для периферийной подачи топлива в слой обжигаемого кускового известняка, причем горелки верхнего уровня располагают на расстоянии 1,4-2,0 м от горелок нижнего уровня [16].

Недостатком известного способа и шахтной печи является то, что сгорание топлива, подаваемого через нижние топливосжигающие устройства, происходит в основном (на 80-85%) в воздухе, нагретом до температуры 650-750⁰С, в непосредственной близости от футеровки, при подаче атмосферного воздуха с малым расходом ($\lambda = 0,15-0,20$), в месте установки топливосжигающих устройств в происходит интенсивный износ футеровки печи и сокращаются срок ее службы.

Кроме того, этот способ может быть реализован в печах цилиндрической формы с диаметром зоны обжига до 3 метров относительно малой производительности, поскольку толщина обжигаемого слоя при работе периферийных горелок составляет от 0,9 до 1,5 м, что ограничивает возможности его применения в наиболее распространенных печах цилиндрической формы с диаметром зоны обжига более 3 метров.

Работа печи с повышенными расходом воздуха на единицу топлива ($\lambda_{\text{общ}} = 1,25-1,35$), необходимым для обеспечения полноты сгорания топлива,

приводит к увеличению тепловых потерь с отходящими из печи газами и, как следствие этого, к увеличению расхода топлива. [17]

В заявленном изобретение [17] предусматривает снижение удельного расхода топлива при сохранении высокой степени обжига извести, обеспечение длительной работы печи без локального износа футеровки печей с диаметром зоны обжига 3 м и более за счет равномерного распределения топлива и воздуха на его горение по поперечному сечению шахты и обеспечению воспламенения топлива в месте его ввода в рабочее пространство печи.

Указанный технический результат достигается тем, что в известном способе обжига кускового известняка в шахтной цилиндрической печи, включающем подогрев, обжиг известняка и охлаждение получаемой извести, осуществляемом в противотоке с продуктами горения топлива и воздухом, подачу на нижний и верхний уровни топливосжигающих устройств газообразного топлива и газа-окислителя, в качестве которого на верхнем уровне топливосжигающего устройства используют смесь воздуха и газов, отсасываемых из дымоотводящего тракта печи (рециркуляционных), подаваемую на верхнем уровне периферийно через топливосжигающие устройства, установленные в футеровке печи, а в качестве газа-окислителя для горения топлива на нижнем уровне топливосжигающих устройств, которые располагаются в центральной части поперечного сечения печи, на расстоянии 0,9-1,5 м от внутренней поверхности футеровки печи (0,3-0,5 внутреннего диаметра шахты печи) и на расстоянии 0,5-1,3 м от топливосжигающих устройств верхнего уровня, используют атмосферный воздух. Подают его в количестве, соответствующем величине коэффициента расхода воздуха $\lambda_{\text{нижн}} = 0,35-0,5$.

Заявляемое изобретение [17] позволяет обеспечить достижение температуры воспламенения смеси газа и воздуха, поступающих из нижних топливосжигающих устройств в указанном соотношении, непосредственно в месте ввода этой смеси в рабочее пространство печи за счет контакта его с

подогретым до температуры 700-750⁰С в процессе охлаждения извести воздухом и подачи на нижний уровень атмосферного воздуха в качестве газо-окислителя в количестве, достаточном для устойчивого горения смеси, соответствующем величине расхода воздуха $\lambda_{\text{нижн}} = 0,35-0,5$, при котором температура горения смеси превышает температуру воспламенения.

Заявляемое изобретение позволяет обеспечить достижение температуры воспламенения смеси газа и воздуха, поступающих из нижних топливосжигающих устройств в указанном соотношении, непосредственно в месте ввода этой смеси в рабочее пространство печи за счет контакта его с подогретым до температуры 700-750⁰С в процессе охлаждения извести воздухом и подачи на нижний уровень атмосферного воздуха в качестве газо-окислителя в количестве, достаточном для устойчивого горения смеси, соответствующем величине расхода воздуха $\lambda_{\text{нижн}} = 0,35-0,5$, при котором температура горения смеси превышает температуру воспламенения. На топливосжигающие устройства нижнего уровня подают топливо в количестве, достаточном для обжига известняка, поступающего по центру печи, который находится вне зоны обжига верхних периферийных топливосжигающих устройств. Ширина этой зоны для печей диаметром 3 м и более составляет 0,9-1,5 м от внутренней поверхности футеровки печи (0,3-0,5 внутреннего диаметра шахты печи). Топливо в смеси с заявленным количеством атмосферного воздуха воспламеняется при контакте с горячим воздухом, нагревает известь, тем самым обеспечивают непрерывность процесса обжига в центральной части печи.

Заявленное количество атмосферного воздуха $\lambda = 0,35-0,5$, подаваемое для горения топлива в топливосжигающие устройства нижнего ряда, обеспечивает устойчивое горение топлива в месте ввода в печь независимо от его смешения с горячим воздухом (подаваемым на охлаждение извести), которое затруднено в условиях, когда шахта печи заполнена кусковой шихтой, причем нижний предел $\lambda_{\text{нижн}} = 0,35$ обеспечивает устойчивое возгорание при указанных выше условиях, а верхний предел $\lambda_{\text{нижн}} = 0,5$

соответствует условию полноты сгорания топлива при минимальном расходе воздуха на охлаждение извести, которое соответствует количеству воздуха, обеспечивающего сгорание топлива, подаваемого на печь с $\lambda_{\text{нижн}} = 0,5-0,65$.

Обеспечение начала процесса горения топлива в месте ввода топлива и воздуха в рабочее пространство печи через топливосжигающие устройства нижнего ряда позволяет уменьшить зону обжига центральной части шахты, при этом расположение топливосжигающих устройств нижнего уровня на расстоянии 0,5-1,3 м от топливосжигающих устройств верхнего уровня обеспечивает непрерывность горения топлива, подаваемого через топливосжигающее устройство верхнего уровня.

При расположении топливосжигающих устройств нижнего уровня менее 0,5 м от топливосжигающих устройств верхнего уровня процесс смешения продуктов неполного горения газа с горячим воздухом, происходящий в слое кусковой шихты, не обеспечивает сгорание топлива в количестве, достаточном для нагрева смеси газа и окислителя, подаваемых через горелочные устройства верхнего уровня, до температуры ее воспламенения, которая составляет при использовании в качестве окислителя на топливосжигающих устройствах верхнего уровня смеси холодного воздуха и рециркулята не менее 900°C , а температуры нагретого при охлаждении извести воздуха $700-750^{\circ}\text{C}$ недостаточно для возгорания смеси топлива, воздуха и рециркулята, подаваемого через топливосжигающее устройство верхнего уровня.

При расположении топливосжигающих устройств нижнего уровня на расстоянии более 1,3 м от топливосжигающих устройств верхнего уровня происходит смешение значительной части продуктов сгорания топлива, подаваемого через нижние горелки топливосжигающего устройства, с горячим воздухом, поступающим к топливосжигающим устройствам верхнего уровня, в результате чего тепла продуктов горения от топливосжигающих устройств нижнего уровня недостаточно для обеспечения необходимой степени обжига извести, поступающей по

центральной части шахты, что приводит к снижению качества получаемой извести.

Подача в качестве газа-окислителя на периферийные горелки верхнего уровня смеси атмосферного воздуха и рециркулята позволяет исключить местный износ футеровки печи в месте установки горелок и обеспечить более равномерную температуру газов на высоте зоны обжига, а также улучшить условия теплопередачи в зоне подогрева шихты в результате увеличения скорости газов в этой зоне.

Вследствие более равномерной по сравнению с прототипом подачи топлива и газа-окислителя по сечению шахты обеспечиваются лучшие условия их смешения между собой, при этом уменьшается химический недожог топлива, а общий коэффициент расхода воздуха снижается с 1,25-1,35 в способе, описанном в прототипе, до 1,1-1,15 в заявленном способе, в результате чего уменьшаются тепловые потери с отходящими из печи газами и обеспечивается снижение расхода топлива на процесс.

В результате равномерной подачи топлива в центральной и периферийной частях шахты печи и обеспечения возгорания топлива в месте его подачи обеспечиваются условия получения извести высокого качества в печах цилиндрической формы с диаметром зоны обжига более 3 м, тем самым снимаются ограничения по производительности печей с цилиндрической зоной обжига.

Для подтверждения возможности осуществления изобретения в опытно-промышленных условиях проводят процесс обжига известняка в шахтной печи заявленным способом.

Известняк крупности 40-80 мм загружают в шахтную цилиндрическую печь с внутренним диаметром 3 м и рабочей высотой 18 м. Производительность печи 70 т/сутки.

На расстоянии 5 м от места ввода воздуха на охлаждение извести на верхней границе зоны охлаждения устанавливаются диффузионные горелки нижнего уровня, представляющие собой полые водоохлаждаемые балки с

отверстиями, подающие газ и атмосферный воздух в центральную часть печи на расстоянии 0,9 м от футеровки печи. Диффузионные горелки верхнего уровня располагаются на расстоянии 0,5 и 1,3 м от горелок нижнего уровня и поочередно используются при осуществлении заявленного способа. В качестве топлива используется природный газ с теплотой сгорания 7957 ккал/м³.

Общий расход воздуха на охлаждение извести и на горение топлива равен 3500 м³/час, в том числе подаваемого на охлаждение извести 2100 м³/час. Воздух в количестве, соответствующем величине коэффициента расхода атмосферного воздуха, равном 0,35-0,5, что соответствует расходу воздуха 3,3-4,75 м³ на 1 м³ природного газа, подают в топливосжигающие устройства нижнего уровня для горения природного газа в количестве 16-20% от общего расхода. На диффузионные горелки верхнего уровня подают 84-80% от общего расхода газа на процесс и количество атмосферного воздуха, соответствующее величине коэффициента расхода воздуха, равное 0,45-0,5 м³ на 1 м³ природного газа, а также рециркулята в количестве 80-100% от количества воздуха, подаваемого на диффузионные горелки верхнего ряда. Подача указанного количества рециркулята снижает температуру газов, контактирующих с футеровкой печи, тем самым препятствуя ее локальному износу. Общий расход газа на процесс равен 335 м³/час, что соответствует удельному расходу условного топлива 130 кг на тонну извести.

Использование заявленного способа обжига кускового известняка в шахтной печи цилиндрической формы обеспечивает по сравнению с ближайшим аналогом снижение удельного расхода топлива при сохранении высокой степени обжига 94-95%. Указанный способ может быть применен в шахтных печах цилиндрической формы без ограничения по величине диаметра зоны обжига.

Предлагаемый способ реализуется в шахтной цилиндрической печи, содержащей шахту, выполненную из металлического корпуса и футеровки,

включающую зону подогрева, обжига известняка и охлаждения готовой извести, загрузочное и разгрузочное устройства, топливосжигающие устройства, установленные по высоте на двух уровнях, при этом топливосжигающие устройств верхнего уровня, установленные периферийно в футеровке печи, представляют собой диффузионные горелки и служат для принудительной подачи топлива, атмосферного воздуха и рециркулята.

Топливосжигающие устройства нижнего уровня выполнены в виде полых водоохлаждаемых балок, прикрепленных с двух сторон к металлическому корпусу шахты печи, и служат для принудительной подачи топлива через отверстия в корпусе водоохлаждаемой балки, которые расположены на участке центральной части балки, отстоящей на расстояние 0,9-1,5 м от футеровки шахты печи, а часть балки оборудована кожухами из жаропрочной стали, прикрепленными к металлическому корпусу печи и выступающими на расстояние 0,25-0,5 м в пространство печи от футеровки шахты. Увеличение расстояния свыше 0,5 м приводит к потере его прочности при нагреве, а уменьшение меньше чем 0,25 м приводит к значительному увеличению тепловых потерь на охлаждение балки.

Защитные кожухи снизу обдуваются воздухом, нагретым за счет тепла извести до 700-750⁰С. Их назначение – защитить на этом участке балки от давления шихты и уменьшить при этом тепловые потери с охлаждающей водой.

Благодаря равномерному распределению топлива и воздуха по сечению шахты обеспечивается высокая степень обжига всего поступающего в зону известняка.

Для защиты футеровки шахты от перегрева и преждевременного ее износа к топливосжигающим устройствам верхнего уровня подведен газ из дымоотводящего тракта печи (рециркулят).

Топливосжигающие устройства нижнего уровня защищены от давления слоя известняка кожухами, выдвинутыми в рабочее пространство шахты на

расстояние 0,25-0,5 м, что обеспечивает также снижение тепловых потерь с охлаждением этого устройства.

Предлагаемая конструкция печи позволяет обеспечить длительную непрерывную ее эксплуатацию, рационально использовать объем шахтной печи и получать высокое качество извести с меньшим по сравнению с прототипом удельным расходом топлива.

Из анализа применяемых шахтных печей разных конструкций видное место отводится новым конструкционным проектам, позволяющим получить высококачественную быстрогасящую строительную известь при максимальном расходе тепла 1150ккал/кг и содержании CO_2 в отходящих газах не менее 26% и остаточном содержании CO_2 не более 3%.

Для оптимизации процесса разложения известняка в шахтной печи следует уделить внимание на конструкции печи, загрузочных и выгрузочных устройств, подачу топлива, мощности тягодутьевых устройств и размеры обжигаемого материала.

ГЛАВА II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Методы исследования

Приготовленные исходные материалы тщательно измельчались в лабораторной мельнице до прохождения через сито №008. Полученные сырьевые смеси подвергались обжигу в лабораторной силитовой печи при различной температуре – 800, 900, 1000⁰С. После охлаждения измельчались в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито 10000 отв/см² и хранились в эксикаторе без доступа воздуха при комнатной температуре.

Фазовый состав исходных сырьевых материалов, определяли комплексом современных методов анализа – химический, дифференциально-термический и рентгенофазовый.

Химический состав известняка определяли по ГОСТ 5382 – 91 [18].

Дифференциально-термический анализ проводился на дериватографе системы Ф.Паулик и Л.Эрдей, И.Паулик [19].

Рентгенофазовый анализ исходных и обожженных смесей снимали на дифрактометре ДРОН – 3.

Основные технологические и физико-механические свойства извести определялись стандартными методами в соответствии с ГОСТ 9179-70 «Известь строительная» [20].

Качество строительной воздушной извести определяется главным образом количеством содержащихся в ней активных СаО и MgO: чем выше содержание активных окислов, тем выше качество извести.

Воздушная негашеная известь без добавок подразделяется на три сорта: 1, 2 и 3-й. В воздушной кальциевой негашеной извести 1-го сорта без добавок активных окислов СаО + MgO должно быть не менее 90%, 2-го сорта – не менее 80% и 3-го сорта – не менее 70%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 85, 75 и 65%.

Известь кальциевая, магнезиальная и доломитовая негашеная молотая с

добавками предусмотрена двух сортов: 1-й и 2-й. Содержание активных СаО + MgO должно быть не менее: 1-го сорта – 64%, 2-го – 52%.

Полнота завершения процесса термической диссоциации карбонатов характеризуется содержанием в извести углекислоты (СО₂) и потерями при прокаливании (П.П.П.).

Содержание СО₂ в негашеной кальциевой извести должно быть не более: 1-го сорта – 3%, 2-го – 5% и 3-го – 8%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 5, 8 и 11%. Содержание П.П.П. в кальциевой извести не более: 1-го сорта – 5%, 2-го – 7% и 3-го – 10%; для магнезиальной и доломитовой извести соответственно 7, 10 и 13%.

При гашении кальциевой извести без добавок 1-го и 2-го сорта образуется пластичное жирное на ощупь известковое тесто. Количество известкового теста и его пластичность зависят от содержания в извести непогасившихся зерен. В состав непогасившихся зерен попадают кусочки неразложившегося СаСО₃, частицы алюмоферритов кальция и пережженных СаО и MgO, которые медленно гасятся. В негашеной воздушной кальциевой извести содержание непогасившихся зерен должно быть не более: 1-го сорта – 7%, 2-го – 10% и 3-го – 12%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 10, 15 и 20%.

Негашеная молотая известь должна иметь определенную тонкость помола, чтобы остаток на сите № 02 не превышал 1,0%, а на сите № 008 – 10%.

По времени гашения¹ воздушная негашеная известь всех сортов подразделяется на быстрогасящуюся (не более 8 мин), среднегасящуюся (не более 25 мин) и медленногасящуюся (более 25 мин).

Гидратная воздушная известь (пушонка) без добавок должна содержать активных СаО + MgO не менее: 1-го сорта – 67% и 2-го – 60%; с добавками соответственно 50 и 40%. Содержание СО₂ в пушонке не более: 1-го сорта –

¹ За время гашения извести принимается интервал времени в минутах от момента добавления воды к навести до начала снижения максимальной температуры смеси в сосуде.

3%, 2-го – 5%. Влажность пушонки должна быть не более 5%. Дисперсность гидратной извести должна быть такой, чтобы остаток частиц был не более: на сите № 063 – 2%, № 008 – 10%.

Строительная гидравлическая известь подразделяется на два вида: слабогидравлическую и сильногидравлическую. Содержание активных СаО + MgO при активной MgO до 5% в слабогидравлической извести допускается в пределах 15-60%, в сильногидравлической – 1-15%. Содержание углекислоты (СО₂) допускается не более: в первой – 7%, во второй – 5%; П.П.П. соответственно 9 и 7%.

Тонкость помола извести должна соответствовать остатку частиц не более: на сите № 02 – 1,0%, № 008 – 10%. Предел прочности при сжатии образцов из слабогидравлической извести через 28 суток комбинированного хранения (7 суток во влажном воздухе и 21 сутки в воде) не менее 20 кгс/см², из сильногидравлической извести через 7 суток – не менее 10 кгс/см², через 28 суток – не менее 50 кгс/см².

Размер кусков извести должен быть в пределах 10-30 мм, при этом содержание кусков размером менее 10 мм не должно превышать по массе 10%.

К составу и свойствам извести, используемой в химической промышленности, предъявляются различные специфические требования, главными из которых являются высокая степень химической чистоты и максимальное содержание свободной окиси кальция.

2.2. Характеристика исходных материалов

Известняки - горная порода карбонатной группы, состоящая из кальцита, редко из арагонита и некоторого количества минеральных примесей содержание в известняке CaCO_3 должно быть не менее 70%.

В природе известняки встречаются сальной разнообразной окраски: от белой, серой желтоватой, черной и пестрой цвет определяется примесями.

Известняки классифицируют по двум признакам: по строению материала и по химическому составу. По структуре различают зернисто – кристаллические, плотные, пористые и землистые известняки. Для производства извести применяют пористые известняки, объемная масса – до 1000 кг/м^3 , пористость – 50-60% от объема породы, теплопроводность – 0,25-0,4 ккал/м.ч.град., предел прочности при сжатии – $100\text{-}200 \text{ кгс/см}^2$, влажность – 8-10%.

Известняки, примеси песка и глины в которых не превышают 3%, в зависимости от содержания карбоната магния делятся на:

- известняк чистый кальциевый с содержанием MgCO_3 до 2%;
- известняк чистый слабо доломитизированный с содержанием MgCO_3 в пределах 2-7%;
- известняк чистый доломитизированный с содержанием MgCO_3 от 8 до 20%.

Обжигом этих известняков получают известь, физико-химические свойства которой, а следовательно, и область применения зависят в основном от содержания MgCO_3 в исходном сырье.

При производства соды мы используем известь как химическое сырье. В таблице 2.2.1. приведены требования ГОСТ 5331-63 на карбонатные породы для производства извести [21].

Таблица 2.2.1.

**Классы карбонатных пород для производства извести в зависимости
от химического состава**

Химический состав	А	Б	В	Г	Л
Углекислый кальций (CaCO_3), % не менее	93	90	85	47	72
Углекислый магний (MgCO_3), % не более	4	7	7	45	8
Глинистые примеси ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), % не более	3	3	8	8	20

По техническим условиям (ТУ 14-1-124-71) фракционный известняк по химическому составу подразделяется на два сорта 1й и 2й, по гранулометрическому составу подразделяется на 2 класса – 1й и 2й.

Фракционный известняк 1го сорта должен содержать не менее: 53,5% CaO и не более: MgO – 1,1%; SiO_2 – 1%; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ - 1,5%, S -0,03%; P – 0,06%; для 2го сорта – не мене: 53% CaO и не более: MgO – 1,2%; SiO_2 – 1,5%; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ - 1,5%, S -0,05%; P – 0,06%. Допускается наличие в известняке до 4,5% MgO при условии, если сумма CaO+MgO будет не менее для 1го сорта – 54,7%, для 2-го – 54,2%.

К 1-му классу относится известняк с размером кусков 25-40 мм, ко 2-му – 40-80 мм. При этом содержание кусков с размерами менее нижнего размера фракции допускается до 5%, больше верхнего размера фракции – до 7%.

Количество пыли в каждой фракции допускается до 1%. Предел прочности при сжатии известняка фракции 40-80 мм должен быть не менее 300 кгс/см².

В химической промышленности для выпуска извести обычно используются известняк и мел следующего химического состава: (%): CaCO_3 – 96-98, MgCO_3 – 0,2-2; SiO_2 – нерастворимы остаток – 0,2-1; 0,1-0,8; CaSO_4 –0,01-0,2. Для получения извести использовали известняк размером 50:100 мм. В мировом производства соды используются известняки со следующим составом минералогическим.

Таблица 2.2.2.

Химический состав применяемых сырьевых материалов

Компоненты	Бор		Известняк	
	Влажный	Сухой	Влажный	Сухой
CaCO ₃	79,7	98	95	95,75
MgCO ₃	0,5	0,62	2,0	2,02
CaSO ₄	0,1	0,13	0,5	0,51
SiO ₂	0,8	1,0	1,0	1,01
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,2	0,25	0,7	0,71
H ₂ O	18,7	-	0,8	-

Известняки Жамансайского месторождения состоят в основном из карбоната кальция CaCO₃ с примесями Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, MgO. Содержание основного оксида – CaO составляет 55,12% (табл.2.2.2).

В таблице 3 приведен химический состав известняка Жамансайского месторождения.

Химический анализ известняка определяли по ГОСТ 5382-91.

Рентгенофазовый анализ образцов снимали на дифрактометре ДРОН-3.

Дифференциально-термический анализ проводился на дериватографе системы Ф.Паулик, И.Паулик и Л.Эрдей.

Известняк Жамансайского месторождения состоит в основном из карбоната кальция CaCO₃ с примесями окислов алюминия, кремния, железа и магния.

Таблица 2.2.3.

Химический состав известняка Жамансайского месторождения

Исходный материал	Содержание оксидов, %										
	П.п.п	SiO	Al ₂ O	Fe ₂ O	Ca	Mg	K ₂	Na ₂	SO ₃	Пр.	У
	.	2	3	3	О	О	О	О			
Известняк Жамансайского	42,04	1,44	0,59	0,4	53,6	0,9	-	-	0,2	1,1	99,2
о									3	4	7

месторождения										
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Содержание основного оксида – CaO составляет 53,6%. Дифрактограмма известняка (рис.2.2.1) представлена в основном интенсивными отражениями CaCO₃ при d/n = 0,304; 0,226; 0,207; 0,190; 0,185; 0,159 нм.

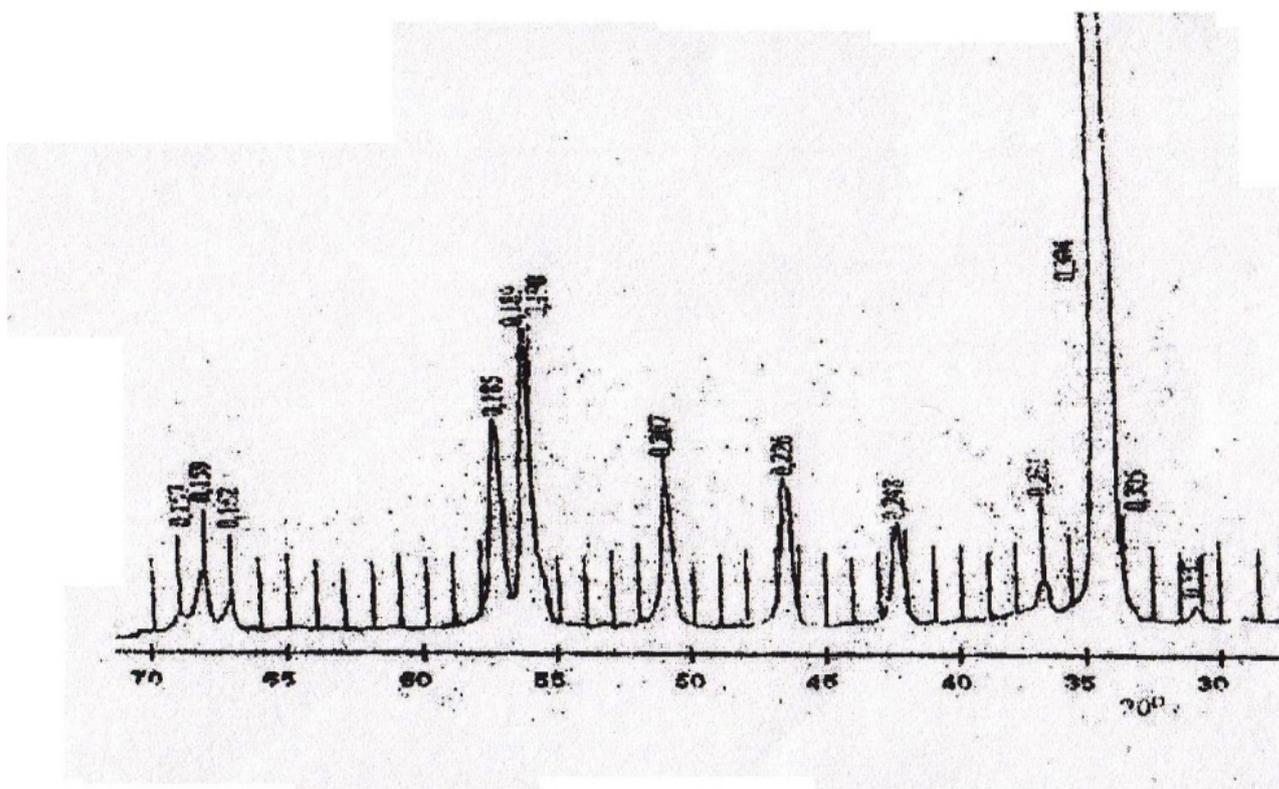


Рис. 2.2.1. Дифрактограмма известняка Жамансайского месторождения

Рентгенофазовой анализ обожженного известняка показал, что при температуре 800°C и выдержке 15 мин межплоскостные пики в основном представлены оксидом кальция, в – двухкальциевым силикатом и неразложившимся известняком. При 900°C и выдержке 15 мин интенсивность линий кальцита резко уменьшается, а линии характерные для CaO и в-C₂S интенсифицируются.

При 1000°C дифракционные максимумы характерны только для CaO и в-C₂S.

Как видно из данных химического анализа, известняки Жамансайского месторождения пригоден для выпуска извести в химической

промышленности.

Присутствие на рентгенограмме (рис.2.2.1.) межплоскостных расстояний с $d = 0,302; 0,209; 0,189; 0,159$ нм подтверждает наличие минералы кальцита. Линии с $d/n = 0,225; 0,187$ нм показывает наличие кварца.

Данные рентгенограммы подтверждает термографическими исследования. На термограммы (рис.2.2.2.) виден эндоэффект выделения паров воды при 180°C из известняка, а началу разложения кальцита соответствует эндоэффект при 585°C .

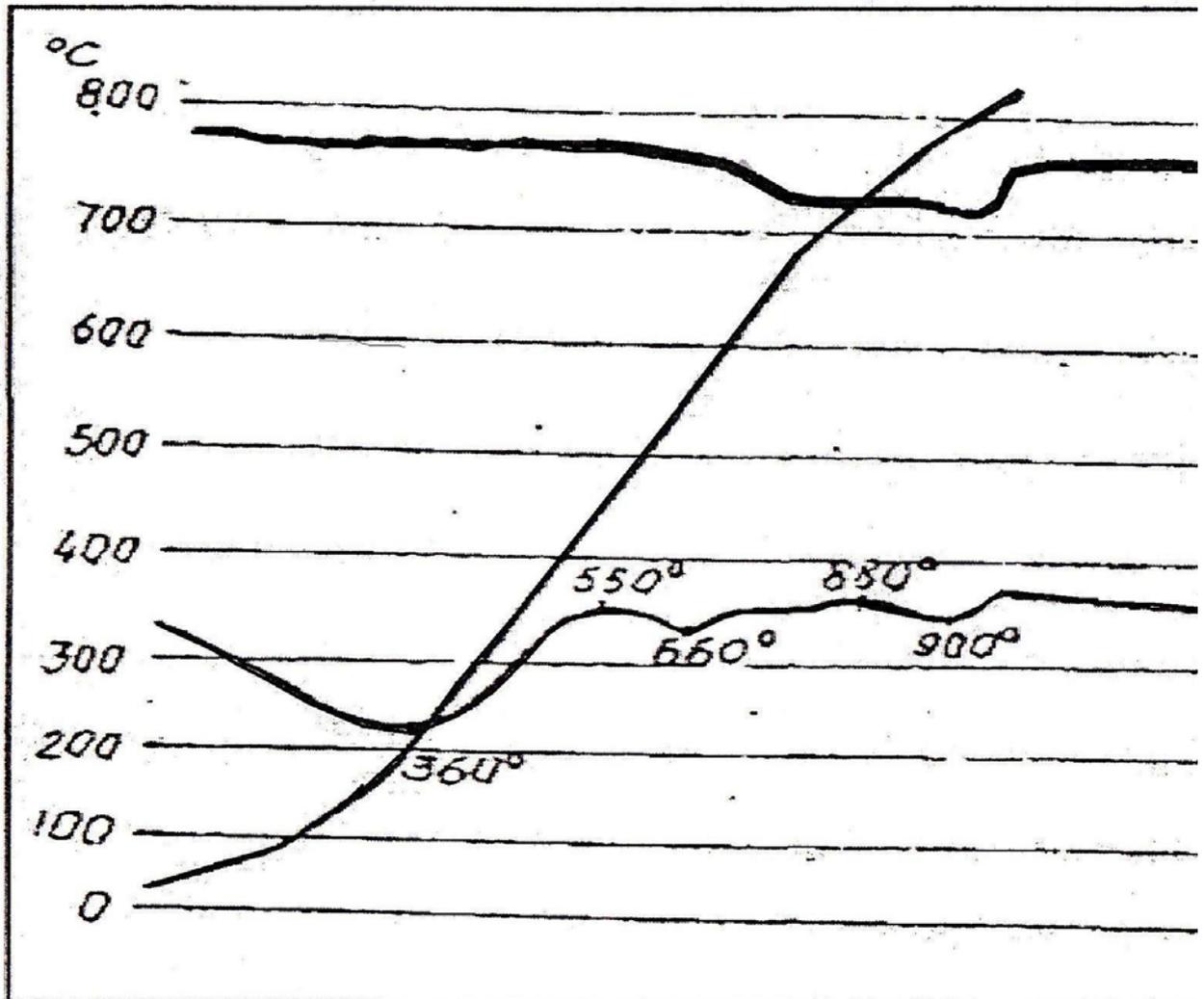


Рис.2.2.2. Кривые нагревания известняка Жамансайского

месторождения

ГЛАВА III. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТНЯКА ПРИ ОБЖИГЕ И РАСЧЕТ ШАХТНОЙ ПЕЧИ

3.1. Технологическая схема процесса декарбонизации известняка в шахтной печи с дополнительным всасывающим устройством

Для оптимизации процесса обжига в первую очередь следует обратить внимания на основные показатели работы печи: производительность по извести, удельный расход топлива и сырья. На показатели работы печи влияют параметры процесса обжига, важнейшим из которых являются: температура обжига, температура отходящих газов, температура выгружаемой извести, скорость и давление (разряжение) газов, химический состав газа, химический и минералогический состав извести.

На расход сырья и топлива при обжиге значительное влияние оказывает степень диссоциации сырья ($\eta_{с.д.}$). Величина $\eta_{с.д.}$ для шахтных печей промышленности строительных материалов колеблется в пределах 85-92%, в черной металлургии – 88-93%. В связи с резким снижением эффективности работы оборудования для утилизации углекислого газа при снижении его концентрации в отходящих печных газах во время обжига поддерживают высокую степень диссоциации сырья – в пределах 95-98%.

Сырье и топливо загружают в ковш скипового подъемника на современных печах автоматическим весовым дозатором. Величину первоначальной массы сырья и топлива устанавливают на основании проектных данных печи и теплотворности применяемого топлива.

Состав топлива и известняка оказывает большое влияние на температуру обжига в печи и на полноту горения топлива, т.е. на его удельный расход. Наилучшим считается такое соотношение размеров топлива и известняка, когда применяются идентичные фракции, например, известняк фракции 100-50 мм и антрацит АК. Однако такой

гранулометрический состав шихты обеспечить трудно. Удовлетворительные результаты получаются, если размер кусков антрацита не более чем вдвое меньше кусков известняка. Например, при обжиге известняка фракции 120-80 мм целесообразно применить антрацит сорта АК (фракция 100-50 мм), допустимо применение антрацита сорта АО (фракция 50-25 мм) и нельзя использовать антрацит сортов АМ, АС и АСШ.

Применение для обжига в шахтных пересыпных печах каменных углей с размером кусков меньше 25 мм сопровождается перерасходом топлива на 1 т выпускаемой извести, снижением производительности печи и ухудшением качества извести (появление «пережога» и уменьшение содержания СаО).

Отрицательное влияние на процесс обжига оказывает неодинаковый гранулометрический состав известняка. Удовлетворительные результаты получены при обжиге фракций, размеры мелких кусков в которых не более чем в 1,5-2 раза меньше крупных. Наличие в известняке свыше 10% мелочи вызывает неравномерное распределение воздуха по сечению шахты и поэтому неравномерное и неполное выгорание топлива. Следствием этого является образование в зоне обжига участков повышенных и низких температур, что сопровождается недожогом и «пережогом» извести.

Для правильного ведения процесса обжига важно поддерживать в печи заданное соотношение топливо – воздух.

Если в ходе работы печи количество вводимого в нее топлива изменилось, то необходимо соответственно изменить количество вдуваемого воздуха с помощью регулирующей заслонки, установленной на дутьевом трубопроводе. Скорость выгрузки извести из печи может изменяться в широких пределах (1:10), что является важным регулирующим средством при ведении процесса обжига.

Скорость выгрузки непосредственно связана с производительностью

содержит зону загрузки 2, зону предварительного нагрева 3, две зоны сгорания 4, зону посткальцинации 5, зону охлаждения 6 и зону вывода 7.

Производство извести происходит из известного процесса обжига (кальцинации) природного известняка CaCO_3 для получения извести CaO по реакции:



которая обычно осуществляется в шахтной печи с круглым, полукруглым, эллиптическим, квадратным или прямоугольным сечением, двухшахтной обжиговой печи, регенеративной печи или кольцевой печи.

Известковые, доломитовые материалы или другие аналогичные материалы загружают сверху в обжиговую печь, расположенную вдоль по существу вертикальной продольной оси. Затем материал проходит сверху вниз через зону ввода материала, который необходимо обрабатывать, зону предварительного нагрева, зону сгорания (кальцинации), размещенную между двумя или тремя уровнями горелок, зону охлаждения и зону вывода кальцинированного материала.

Верхняя часть обжиговой печи традиционно снабжена системой всасывания для отходящих газов сгорания, которые удаляются через подходящий трубопровод. Это всасывание создает разрежение в зоне предварительного нагрева и зоне кальцинации, которое обеспечивает возможность горячим газам сгорания подниматься вверх, входить в контакт с материалами и подвергать их обжигу, захватывая с собой CO_2 , выделяющийся в результате термической реакции, описанной в общих чертах выше.

Одновременно, в зону вывода обжиговой печи принудительно подается холодный воздух, который встречается с известью в зоне вывода и охлаждает последнюю. Кроме того, этот воздух имеет тенденцию подниматься вверх, все еще под действием вышеуказанного разрежения, пока он не достигнет зоны кальцинации. Соответственно, существует поток воздуха в зоне кальцинации, который может повлиять на

температуру кальцинации. Кроме того, охлаждающий воздух в зоне охлаждения стремится смешаться с остаточными газами, которые выделяются при завершении кальцинации.

Восходящий поток в зоне кальцинации, такой как описан выше, может вызвать существенные изменения, например, негативно воздействовать на завершение реакции обжига, в результате оказывая влияние на реакционную способность и гомогенизацию конечного продукта.

Другими словами, посредством пропускания непосредственно из зоны обжига в зону охлаждения известь подвергают внезапной термической инверсии.

Эта проблема решается посредством использования всасывающего устройства в обжиговой печи для обжига кусковых материалов.

Преимущество, обеспечиваемое устройством 8, состоит в том, что оно создает зону разрежения, расположенную между последним уровнем горелок 9 и всасывающим устройством 8. Эта зона, также называемая «зоной посткальцинации» 5, и показанная на рис.3, обеспечивает возможность создания зоны в обжиговой печи, где подвергнутый обжигу материал можно выдерживать еще в течение нескольких часов, так что обжиг можно завершить при постоянной и контролируемой температуре и в отсутствие газовых потоков, которые могут мешать завершению реакции термического превращения. Расстояние между последним уровнем горелок и создающей разрежение балкой зависит от нескольких конструктивных и рабочих условий обжиговой печи, таких как высота и вместимость обжиговой печи, конкретный тип материала, который надо переработать, теплоемкость обжиговой печи и тип желаемого продукта.

Любой поток воздуха, непосредственно поступающего из зоны вывода, например, охлаждающего воздуха, вызывает с одной стороны охлаждение материала непосредственно после термической обработки и с другой стороны он обеспечивает подачу охлаждающего воздуха в зону

кальцинации (сгорания), который может смешиваться с остаточными газами обжига (главным образом, CO_2), что может повлиять на степень протекания термической реакции кальцинации и увеличить выход CO_2 .

Более того, подвергнутый обжигу материал можно все еще держать в «нейтральной» зоне в течение периода времени, который например, для производства извести может составлять от 6 до 8 часов, при постоянной температуре, находящейся в диапазоне от 700 до 1200⁰С, предпочтительно примерно 900⁰С, таким образом, благоприятствуя достижению реакционной способности и точки гомогенизации оптимальной химической структуры.

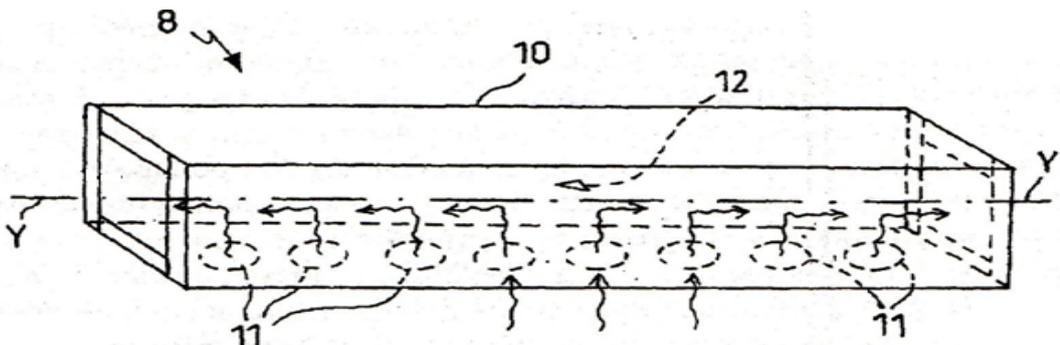
Дополнительное преимущество всасывающего устройства состоит в том, что забранный им воздух и или отходящие газы можно повторно использовать. Фактически, они получаются из охлаждающего воздуха, поступающего из зоны охлаждения и который, пока он поднимается, встречается с подвергнутым обжигу материалом, посредством этого становясь горячим при температуре, составляющей от 250 до 550⁰С. Горячий воздух, который всасывается устройством направляется в теплообменник, где он отдает тепло холодному воздуху, поступающему из внешней среды обжиговой печи, причем воздух, таким образом, предварительно подогревается. Как только он становится подогретым, например, до температуры, находящейся в диапазоне от 150 до 500⁰С, его можно использовать в качестве вторичного воздуха для горения S для горелок 9, как показано на рис.4. направлением стрелок. Этот вторичный воздух для горения S можно дополнительно смешивать с первичным воздухом для горения P, полученным из воздуха окружающей среды, который подогревается газами сгорания C, удаляемыми из верхней зоны обжиговой печи 1. Фактически газы сгорания также пропускают через теплообменник 17, в котором также проходит воздух окружающей среды, так что он подогревается и повторно используется в системе сгорания.

Соответственно, необходимо отметить, что устройство также

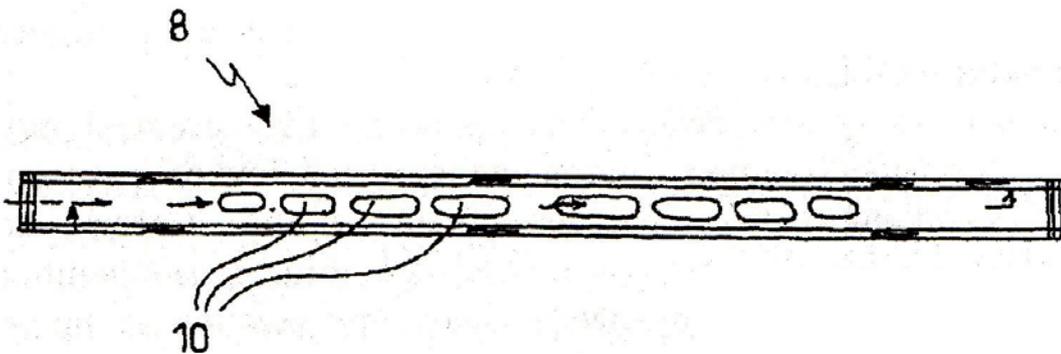
обеспечивает возможность рециркуляции горячих отходящих газов и или воздуха обжиговой печи, так что эксплуатационные качества обжиговой печи улучшаются, а затраты энергии сильно снижаются. На рисунке (рис.3.1.2.) показаны разрезы всасывающего устройства.



ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3

Рис. 3.1.2. Разрезы всасывающего устройства

3.2. Оптимизация тепловых процессов работы шахтной печи и его конструктивный расчет

Шахтные печи характеризуются большим гидравлическим сопротивлением, которое при турбулентном режиме движения газов равно

$$h = \zeta \frac{H}{d\varphi} \cdot \frac{\omega \int_r^2 v_2}{g} \cdot \frac{(1-\omega)}{\omega^3} \text{ мм вод. см.}, (1)$$

где φ – коэффициент формы частиц материала;

ω – коэффициент порозности слоя;

ζ – коэффициент сопротивления, зависящий от критерия Рейнольдса.

В области $200 < Re < 15000$ $\zeta = 1,75 Re^{-0,1}$ для гладких частиц, $\zeta = 2,63 Re^{-0,1}$ для частиц средней шероховатости и $\zeta = 4 Re^{-0,1}$ для очень шероховатых частиц.

В одних случаях допустимое значение гидравлического сопротивления ограничивает повышение скорости газов в шахтных печах и определяет выбор их диаметра D . В других случаях, например при производстве извести, допустимое значение температуры обжига определяет выбор значений скорости газов и соответственно диаметра шахтной печи. Скорость газов в печи связана с ее сечением формулой (1).

Высота шахтных печей должна обеспечивать время пребывания в них материала, которое по условиям теплообмена необходимо для получения (по формуле 1) заданных температур выходящих из печи газов и материала. Во избежание большой неравномерности схода материала значение величины $\frac{H}{D}$ должно быть не меньше 4. Кроме того, необходимо, чтобы протяженность реакционной зоны соответствовала длительности реакции при данной температуре и скорости движения материала, т.е.

$$H_p = \frac{Gz_{\text{реак}}}{Y_m S}, (2)$$

где H_p – высота реакционной зоны в м;

Z_p – необходимое время пребывания материала в реакционной зоне в ч.

Каждому значению удельной производительности печи на единицу поперечного сечения $\frac{G}{g_s}$ и, следовательно, каждой скорости газов должно соответствовать определенное значение величины $\frac{H_p}{Z_p}$, которое при сжигании твердого топлива среди материала в основном зависит от соотношения размеров их кусков. Поэтому при данном размере кусков материала длину реакционной зоны регулируют, изменяя размер кусков и скорость горения твердого топлива. Если топливом служит газ, то скорость горения зависит от условий его смешения с воздухом.

Необходимое время пребывания материала в печи z ч определяется процессом теплоотдачи от газов к наружной поверхности кусков и условиями распространения тепла внутри кусков. В зоне охлаждения теплообмен происходит исключительно конвекцией. В зоне же подогрева наряду с конвекцией имеет место излучение трехатомных газов. Общий коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha_o = \alpha_k + \alpha_l.$$

Внутренний диаметр шахты печи D м связан с площадью ее поперечного сечения S м² формулой

$$D = \sqrt{\frac{S}{0,785}} \quad (3)$$

В свою очередь

$$S = \frac{G}{g_s}$$

причем

$$g_s = \frac{q_v \cdot d_T \cdot \Phi}{5q} \quad (4)$$

где G – производительность печи в $t/сутки$;

g_s – удельная производительность печи в t/m^2 $сутки$;

q_v – интенсивность тепловыделения в полном объеме зоны горения топлива в $ккал/m^3$ ч;

d_T – средний размер кусков топлива в м;

m – отношение объема шихты к объему топлива;

q – удельный расход тепла на обжиг в ккал/кг *извести*.

Выбор значения интенсивности тепловыделения в зоне горения зависит от необходимого режима обжига. Для получения извести с очень малыми сроками гашения, а также при наличии сырья со значительным содержанием примесей (R_2O_3 , SiO_2 , MgO), способствующих образованию в печи приваров и сваров, необходим мягкий режим обжига с максимальной температурой выходящей из зоны обжига извести $1200^{\circ}C$. Этому режиму соответствует значение $q_v = 150\ 000\ \text{ккал/м}^3\ \text{ч}$. Умеренный режим обжига нужен для получения извести с нормальными сроками гашения (до 10 мин) и при наличии достаточно чистого кальциевого сырья. Он характеризуется максимальной температурой, выходящей из зоны обжига извести, $1275^{\circ}C$ и интенсивностью тепловыделения в зоне горения $q_v = 220\ 000\ \text{ккал/м}^3\ \text{ч}$.

Если скорость гашения извести не имеет существенного значения и имеется очень чистое кальциевое сырье, то может быть назначен жесткий режим обжига, при котором максимальная температура выходящей из зоны обжига извести достигает $1400^{\circ}C$, а интенсивность тепловыделения в зоне горения $q_v = 330\ 000\ \text{ккал/м}^3\ \text{ч}$.

При расчете среднего размера кусков топлива следует принимать во внимание только те фракции, содержание которых в топливе составляет не менее 10%. Пересчитав на 100% содержание этих фракций, средний размер кусков топлива d_T в м определяют по формуле.

Величина m равна

$$m = \frac{V_{\text{изв}} + V_T}{V_{\text{топ}}} \quad (5)$$

где $V_{\text{изв}}$ – объем известняка в $\text{м}^3/\text{кг}$ *извести*;

V_T – объем топлива $\text{м}^3/\text{кг}$ *извести*.

Высоты зон подогрева и охлаждения $H_{\text{под}}$ и $H_{\text{охл}}$ в м определяют по формулам

$$H_{\text{под}} = 35 g_s d_M^2 K_1; \quad (6)$$

$$H_{\text{охл}} = 9 g_s d_M^2 K_1, \quad (7)$$

причем

$$K_1 = \left[\frac{1}{(g_s \cdot d_M)^{0,67}} + 0,8 \right] \quad (8)$$

где d_M – размер кусков обжигаемого материала в м.

При определении величины d_M фракции, содержание которых в сырье меньше 10%, не принимают во внимание. В случае полифракционного сырья величину d_M считают равной $d_M = 0,9 d_{\text{max}}$, в случае монофракционного сырья – $d_M = 0,85 d_{\text{max}}$, где d_{max} – максимальный размер кусков материала.

В производственных условиях высоты зон подогрева и охлаждения могут сокращаться при перемещениях вверх и вниз зоны горения. По этому значения, рассчитываемые по формулам (7) и (8), рекомендуется увеличивать на 20%.

Высоту зоны горения $H_{\text{гор}}$ м следует определять по формуле

$$H_{\text{гор}} = 5,5 d_M K_2 \quad (9)$$

причем

$$K_2 = (g_s \cdot d_M)^{0,17} \quad (10)$$

Куски топлива в процессе горения постепенно уменьшаются в размерах, что приводит к более быстрому движению их между значительно большими по величине кусками обжигаемого материала. Указанное явление приводит к растягиванию зоны горения топлива в тем большей степени, чем больше разница между размерами кусков топлива и обжигаемого материала, загружаемыми в печь. Поэтому значения $H_{\text{гор}}$ следует увеличивать на 50%, что учтено при выводе формулы, в которой в первом приближении опущена величина K_2 , близкая 1.

Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления слоя материала a от критерия Re [22].

Зона обжига располагается в пределах зоны горения, и общая высота печи H м равна, следовательно, сумме высот зон подогрева, горения и охлаждения

$$H = 52,8 g_s d_m^2 K_1 + 8,25 \frac{V_{\text{гор}}}{V_T} m K_2 \quad (11)$$

Гидравлическое сопротивление слоя материала h в мм вод. ст. при обжиге сортированного сырья с предельным разбросом размеров кусков 1:3 следует определять по формулам:

для зоны подогрева

$$h_{\text{под}} = 0,000036 \frac{a g_s^2}{d_m} H_{\text{под}} \quad (12)$$

для зоны горения

$$h_{\text{год}} = 0,00006 \frac{a g_s^2}{d_m} H_{\text{год}} \quad (13)$$

для зоны охлаждения

$$h_{\text{охл}} = 0,00002 \frac{a g_s^2}{d_m} H_{\text{охл}} \quad (14)$$

В формулах (13) – (14) a – коэффициент сопротивления, определяемый в зависимости от критерия Рейнольдса, равен:

$$\text{для зоны подогрева .. } Re = 581 g_s d_m; \quad (15)$$

$$\text{для зоны горения .. } Re = 412 g_s d_m; \quad (16)$$

$$\text{для зоны охлаждения .. } Re = 370 g_s d_m; \quad (17)$$

При расчете гидравлического сопротивления величины d_m м следует определять по формуле (17) с учетом всех без исключения фракций обжигаемого материала.

Исходные данные для расчета следующие: производительность печи 150 т/сутки; состав известняка (в%): $\text{CaCO}_3 - 93$; $\text{MgCO}_3 - 3$; $\text{R}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 = 2$; $w=2$; состав топлива (в %): $\text{C}^p=76,4$; $\text{H}^p=1,5$; $\text{N}^p=0,8$; $\text{O}^p=1,4$; $\text{S}^p=1,6$; $w^p=5$; $\text{A}^p=13,3$; теплота сгорания топлива $Q_H^p=6475$ ккал/кг; содержание летучих в топливе $V^p=4\%$; коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,1$; активность извести $a=\text{CaO} + \text{MgO}=85\%$; тепловой эффект разложения $\text{CaCO}_3 = 378$ ккал/кг CaCO_3 ;

тепловой эффект разложения $\text{MgCO}_3 = 314 \text{ ккал/кг MgCO}_3$; потеря тепла от химической неполноты горения топлива, включая потерю с летучими, 12%; потеря тепла от механической неполноты горения топлива 5%; потеря тепла в окружающую среду $50 \text{ ккал/кг извести}$; температура (в $^{\circ}\text{C}$): наружного воздуха, известняка и топлива 0; отходящих газов 200; выгружаемой извести 100; гранулометрический состав известняка (в %): фракция 0-20 мм -2; 20-50 мм-3; 50-100 мм-40; 100-150 мм-50 и 150-180 мм-5; гранулометрический состав топлива (в %): фракция 0-20 мм-3; 20-40 мм-40; 40-60 мм-52; больше 60 мм-5; интенсивность выделения тепла в зоне горения при умеренном режиме обжига $q = 220 \cdot 10^3 \text{ ккал/м}^3 \text{ ч}$.

Рассчитываем тепловой баланс печи.

1. Количество неразложившегося CaCO_3 в 1 кг извести

$$n = \frac{(56 \text{ CaCO}_3 + 47,8 \text{ MgCO}_3) (1 - 0,01a) - a(R_2 \text{ O}_3 + \text{SiO}_2)}{0,44 a + 56} =$$

$$\frac{(56 \cdot 93 + 47,8 \cdot 3) (1 - 0,01 \cdot 85) - 85 \cdot 2}{0,44 \cdot 85 + 56} = 6,8\%.$$

2. Удельный расход известняка, считая, что присадка золы топлива компенсирует унос:

$$G^c = \frac{100}{100 - [(C \text{ CO}_3 - n)0,44 + \text{MgCO}_3 \cdot 0,522 + \omega^c]} = \frac{100}{100 - [(93 - 6,8)0,44 + 3 \cdot 0,522 + 2]} = 1,71 \text{ кг/кг}$$

извести.

3. Теоретический расход воздуха

$$V_o^B = 0,089 \cdot C^P + 0,267 \cdot H^P + 0,033 (S^P - O^P) = 0,089 \cdot 76,4 + 0,267 \cdot 1,5 + 0,033(1,6 - 1,4) = 7,2 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

4. Практический расход воздуха

$$V^B = \alpha V_o^B = 1,1 \cdot 7,2 = 7,92 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

5. Выход продуктов сгорания топлива

$$V_{CO_2}^T = 0,0187 C^P = 0,0187 \cdot 76,4 = 1,427 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{SO_2}^T = 0,007 S^P = 0,007 \cdot 1,6 = 0,011 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^T = 0,79 C V^B + 0,008 N^P = 0,79 \cdot 7,92 + 0,008 \cdot 0,8 = 6,322 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{O_2}^T = 0,21(\alpha - 1)V_o^B = 0,21(1,1 - 1) \cdot 7,2 = 0,151 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{H_2O}^T = 0,112 H^P + 0,0124 W^P = 0,112 \cdot 1,5 + 0,0124 \cdot 5 = 0,231 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{п.г} = V_{CO_2}^T + V_{SO_2}^T + V_{N_2}^T + V_{O_2}^T + V_{H_2O}^T = 1,427 + 0,011 + 6,322 + 0,151 + 0,231 = 8,14 \text{ м}^3/\text{кг};$$

6. Выход углекислого газа сырья

$$V_{CO_2}^c = \frac{G^c [(CaCO_3 - n) 0,44 + MgCO_3 \cdot 0,522]}{Y_{CO_2} \cdot 100} = \frac{1,71 [(93 - 6,8) 0,44 + 3 \cdot 0,522]}{1,977 \cdot 100} = 0,344 \text{ м}^3/\text{кг извести.}$$

7. Выход водяного пара сырья

$$V_w^c = \frac{G^c \cdot w^c}{Y_w \cdot 100} = \frac{1,71 \cdot 2}{0,805 \cdot 100} = 0,43 \text{ м}^3/\text{кг извести.}$$

8. Потенциальное тепло топлива

$$BQ_H^P = B \cdot 6475 \text{ ккал/кг извести.}$$

9. Тепловой эффект разложения $CaCO_3 = MgCO_3$

$$\frac{G^c [(CaCO_3 - n) 378 + MgCO_3 \cdot 314]}{100} = \frac{1,71 [(93 - 6,8) 378 + 3 \cdot 314]}{100} = 574 \text{ ккал/кг извести.}$$

10. Потеря тепла на испарение воды из известняка

$$\frac{G^c \cdot 595}{100} = 574 \text{ ккал/кг извести.}$$

11. Потеря тепла с отходящими газами

$$\begin{aligned} & \left[(V_{CO_2}^T + V_{SO_2}^T) C_{CO_2} B + V_{N_2}^T C_{N_2} B + V_{O_2}^T C_{O_2} B + V_{H_2O}^T C_{H_2O} B + V_{CO_2}^c C_{CO_2}^c + \right. \\ & \left. V_w^c C_{H_2O}^c \right] = \\ & [(1,427 + 0,011) 0,431 B + 6,322 \cdot 0,312 B + 0,151 \cdot 0,319 B + 0,231 \cdot 0,362 B + \\ & 0,344 \cdot 0,431 + 0,043 \cdot 0,362] = 545 B + 32,7 \text{ ккал/кг извести.} \end{aligned}$$

12. Потеря тепла от химического и механического недожога топлива

$$0,17 B Q_H^P = 0,17 \cdot 6475 B = 1100 B \text{ ккал/кг извести.}$$

13. Потеря тепла с известью

$$1 \cdot 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ ккал/кг извести.}$$

14. Потеря тепла с уносом

$$\frac{B A^P}{100} 0,25 \cdot 200 = \frac{B \cdot 13,3}{100} 0,25 \cdot 200 = 6,7 B \text{ ккал/кг извести.}$$

15. Потеря тепла в окружающую среду 50 ккал/кг извести.

16. Уравнение теплового баланса печи

$$6475B = 574 + 21 + 545B + 32,7 + 1100B + 20 + 6,7B + 50;$$

$$4823,3 B = 697,7,$$

откуда $B = 0,145$ кг/кг извести.

17. Удельный расход тепла на обжиг

$$q = Q_{\text{обж}}^P B = 6475 \cdot 0,145 = 940 \text{ ккал/кг извести.}$$

Рассчитываем основные размеры печи.

1. Определяющий размер кусков обжигаемого сырья

$$d_m = 0,9d_{\text{max}} = 0,9 \cdot 0,15 = 0,135 \text{ м.}$$

2. Определяющие гранулометрический состав и размер кусков топлива:

$$\text{фракция } 20 - 40 \text{ мм} \dots\dots\dots 40\% \quad 40:0,92 = 43,4\%$$

$$\text{фракция } 40 - 60 \text{ мм} \dots\dots\dots 52\% \quad 52:0,92 = 56,6\%$$

$$\hline \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 92\% \qquad \qquad \qquad 100\%$$

$$d_T = \frac{100}{\frac{a_1}{d_1} + \frac{a_2}{d_2}} = \frac{100}{\frac{43,4}{0,03} + \frac{56,6}{0,05}} = 0,039 \text{ м.}$$

3. Расход известняка с насыпным весом 1500 кг/м^3 на 1 кг извести

$$V_M = \frac{1,71}{1500} = 0,00114 \text{ м}^3.$$

4. Расход топлива с насыпным весом 1000 кг/м^3 на 1 кг извести

$$V_T = \frac{940}{6475 \cdot 1000} = 0,000145 \text{ м}^3.$$

5. Отношение объема шихты к объему топлива

$$m = \frac{V_M + V_T}{V_T} = \frac{0,00114 + 0,000145}{0,000145} = 8,87.$$

6. Удельная производительность печи

$$g_s = \frac{q_v d_T m}{5q} = \frac{220000 \cdot 0,039 \cdot 8,87}{5 \cdot 940} = 16,2 \text{ т/м}^2 \text{ сутки.}$$

7. Внутренняя площадь поперечного сечения печи

$$S = \frac{G}{g_s} = \frac{150}{16,2} = 9,26 \text{ м}^2.$$

8. Внутренний диаметр печи

$$D = \sqrt{\frac{S}{0,785}} = \sqrt{\frac{9,26}{0,785}} = 3,44 \text{ м.}$$

9. Высота зоны подогрева:

$$K_1 = \left[\frac{1}{(g_s d_M)^{0,67}} + 8 \right] = \left[\frac{1}{(16,2 \cdot 0,135)^{0,67}} + 0,8 \right] = 1,39;$$

$$H_{\text{под}} = 1,2 \cdot 35 g_s d_M^2 K_1 = 1,2 \cdot 35 \cdot 16,2 \cdot 0,135^2 \cdot 1,39 = 17,2 \text{ м.}$$

10. Высота зоны горения:

$$K_2 = (g_s d_M)^{0,17} = (16,2 \cdot 0,135)^{0,17} = 1,14;$$

$$H_{\text{под}} = 1,5 \cdot 5,5 \cdot 0,039 \cdot 8,87 \cdot 1,14 = 3,26 \text{ м.}$$

11. Высота зоны охлаждения

$$H_{\text{охл}} = 1,2 \cdot 9 g_s d_M^2 K_1 = 1,2 \cdot 9 \cdot 16,2 \cdot 0,135^2 \cdot 1,39 = 4,42 \text{ м.}$$

12. Общая высота печи

$$H = H_{\text{под}} + H_{\text{гор}} + H_{\text{охл}} = 17,2 + 3,26 + 4,42 = 24,88 \text{ м.}$$

Рассчитываем гидравлическое сопротивление печи.

1. Средний размер кусков обжигаемого сырья

$$d_M = \frac{100}{\frac{a_1}{d_1} + \frac{a_2}{d_2} + \frac{a_3}{d_3} + \frac{a_4}{d_4} + \frac{a_5}{d_5}} = \frac{100}{\frac{2}{0,01} + \frac{3}{0,035} + \frac{40}{0,075} + \frac{50}{0,125} + \frac{5}{0,165}} = 0,08 \text{ м.}$$

2. Гидравлическое сопротивление зоны подогрева:

$$\text{критерий Рейнольдса } Re = 581 g_s d_M = 581 \cdot 16,2 \cdot 0,08 = 753;$$

$$\text{коэффициент сопротивления (рис.73) } a = 70;$$

$$h_{\text{под}} = 0,000036 \frac{a g_s^2}{d_M} H_{\text{под}} = 0,000036 \frac{70 \cdot 16,2^2}{0,08} 17,2 = 141 \text{ мм вод.ст.}$$

3. Гидравлическое сопротивление зоны горения:

$$\text{критерий Рейнольдса } Re = 412 g_s d_M = 412 \cdot 16,2 \cdot 0,08 = 534;$$

$$\text{коэффициент сопротивления (рис.73) } a = 76;$$

$$h_{\text{гор}} = 0,000036 \frac{a g_s^2}{d_M} H_{\text{гор}} = 0,000036 \frac{76 \cdot 16,2^2}{0,08} 3,26 = 48,5 \text{ мм вод.ст.}$$

4. Гидравлическое сопротивление зоны охлаждения:

$$\text{критерий Рейнольдса } Re = 370 g_s d_M = 370 \cdot 16,2 \cdot 0,08 = 480;$$

$$\text{коэффициент сопротивления (рис.73) } a = 78;$$

$$h_{\text{охл}} = 0,00002 \frac{a g_s^2}{d_M} H_{\text{охл}} = 0,00002 \frac{78 \cdot 16,2^2}{0,08} 4,42 = 22,5 \text{ мм вод.ст.}$$

5. Общее гидравлическое сопротивление печи

$$h = h_{\text{под}} + h_{\text{гор}} + h_{\text{охл}} = 141 + 48,5 + 22,5 = 212 \text{ мм вод.ст.}$$

Из условий законов гидравлики производительность шахтной печи составляет $G = \frac{0,785 \cdot D^2}{V} = \sqrt{\frac{\Delta p}{MH}}$ (1)

Из условий теплообмена и горения производительность печи равна:

$$G = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot H \cdot \gamma}{\tau} \quad (2)$$

где G – производительность печи, кг/час;

D – внутренний диаметр печи, м;

H – высота печи, м;

V – удельный расход воздуха, нм³/кг Кл.;

Δp – гидравлическое сопротивление печи, равное давлению дутья, мм вод. ст.;

M – коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от качества сырья, способа формовки и размера кусков обжигаемого материала; при одних и тех же сырье и способе формовки сырьевой смеси коэффициент M следует принимать обратно пропорциональным размеру кусков обжигаемого материала;

γ – насыпной вес обжигаемого материала, кг/м³;

τ – время пребывания материала в печи, час; при заданных размере кусков и скорости газов оно определяет температуру выходящих из печи газов и клинкеров.

Анализ формулы (1) показывает, что для повышения производительности печи следует увеличивать ее диаметр и давление дутья, а также уменьшать высоту, удельный расход воздуха и коэффициент гидравлического сопротивления. Однако при увеличении диаметра и уменьшении высоты труднее обеспечить равномерность по сечениям печи загрузки и разгрузки материала, а также распределения газов.

Расчеты теплового баланса показали, что на процессы диссоциации известняка влияют виды топлива, коэффициент избытка воздуха, теплотери через стенки печи и концентрация CO_2 на энергопотребность.

Показано, что подогрев воздуха используемого для сжигания топлива, с помощью отходящих газов способствует энергосбережению.

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТНЯКА ЖАМАНСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

4.1. Влияние минерализаторов на процесс разложения сырьевой смеси

На современном этапе развития экономики Республика Узбекистан особое значение приобретает модернизация, техническое обновление и диверсификация производства, широкое внедрение инновационных технологий. В этом плане актуальным является повышение эффективности производства строительных материалов. Одним из наиболее значимых технологий, применяемых на известковых заводах – это шахтные печные системы с высоким тепловым коэффициентом полезного действия, повышение эффективности процесса декарбонизации при производстве извести.

В данной работе нами изучалось углубление термической обработки известняка Жамансайского месторождения во взвешенном состоянии при его прохождении по запечному пространству.

Для оптимизации процесса обжига известняка, его измельчали в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито № 008, после чего из него готовили шарики диаметром 5 мм, которые сушили на воздухе, затем подвергали термообработке в лабораторной силитовой печи при различных температурах. Скорость подъема температуры 50-75°C в час. Температура обжига 800, 900 и 1000°C с выдержкой при конечной температуре 15 мин. После обжига образцы охлаждали в эксикаторе, измельчали в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито 10 000 отв/см² и хранили без доступа воздуха при комнатной температуре.

Фазовый состав необожженного известняка и продуктов новообразований после термообработки определяли современными методами анализа – химическим, рентгенофазовым и дифференциально-термическим.

4.2. Процессы декарбонизации при обжиге известняка жамансайского месторождения при производстве соды на кунградском содовом заводе.

Для интенсификации процесса декарбонизации известняка, исходя из известного предположения, что при совместной термической обработке Na_2SiF_6 и CaCO_3 протекает реакция



$$48,45\% \quad 51,55\% \quad = 21,6\% \quad 40,2\% \quad 15,4\% \quad 2,8\%$$

мы добавляли к известняку кремнефтористый натрий в молекулярных соотношениях по выше приведенной реакции. Из смеси формовали кубики размером 1,41x1,41x1,41см, затворяли безводном спиртом и обжигали при температуре 400, 500, 600⁰С с выдержкой 15 мин. После обжига определяли потерю массы.

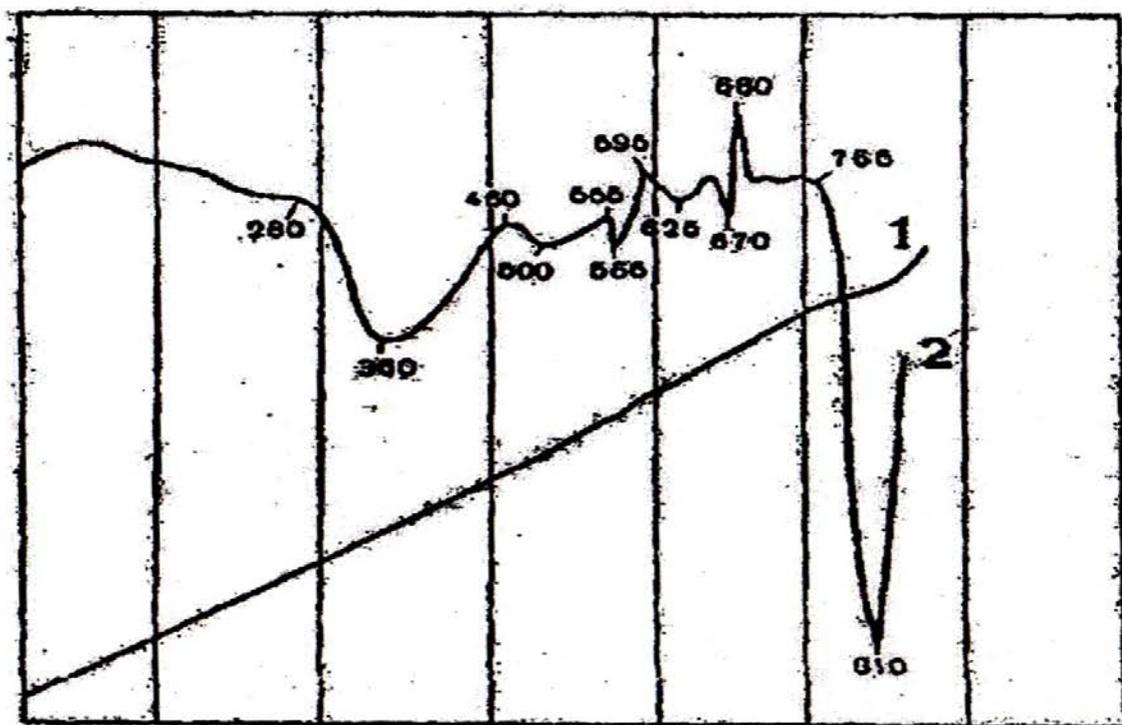


Рис. 4.2.1. Дифрактограмма смеси известняка и Na_2SiF_6

1-ДТ, 2- Дифрактограмма смеси известняка и Na_2SiF_6

Из графика 4.2.1. видно, что между CaCO_3 и Na_2SiF_6 протекает реакция, начинающаяся при температуре ниже 400°C . По мере повышения температуры потеря массы увеличивается. Реакция между CaCO_3 и Na_2SiF_6 начинается при температуре ниже 400°C и завершается при 600°C с потерей массы порядка 22,18%. Для исследования процесса взаимодействия CaCO_3 и Na_2SiF_6 была снята дериватограмма смеси (рис.4.2.1.), на которой наблюдается 5 эндотермических и 5 экзотермических эффектов, которые свидетельствуют о процессе диссоциации карбоната кальция и образования соединений.

Процесс взаимодействия CaCO_3 и Na_2SiF_6 протекает в несколько этапов. На первом этапе при температурном интервале $280\text{-}400^\circ\text{C}$ происходит диссоциация CaCO_3 . При 300°C отмечается эндотермический эффект, в дальнейшем протекают ещё 4 аналогичных этапа, за каждым этапом диссоциации CaCO_3 , следует этап образования CaF_2 и NaF выражающееся в виде экзотермического эффекта. Процесс заканчивается при температуре 680°C . При температуре 810°C появляется глубокий экзотермический эффект, связанный с диссоциацией известняка.

Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют об образовании новых соединений (рис.4.2.2.). Наблюдается появление дифракционных линий с $d = 0,311; 0,192; 0,163$ нм которые относятся к CaF_2 , и пиков с дифракционными линиями с $d = 0,230; 0,163$, которые свидетельствуют о наличии минерала NaF .

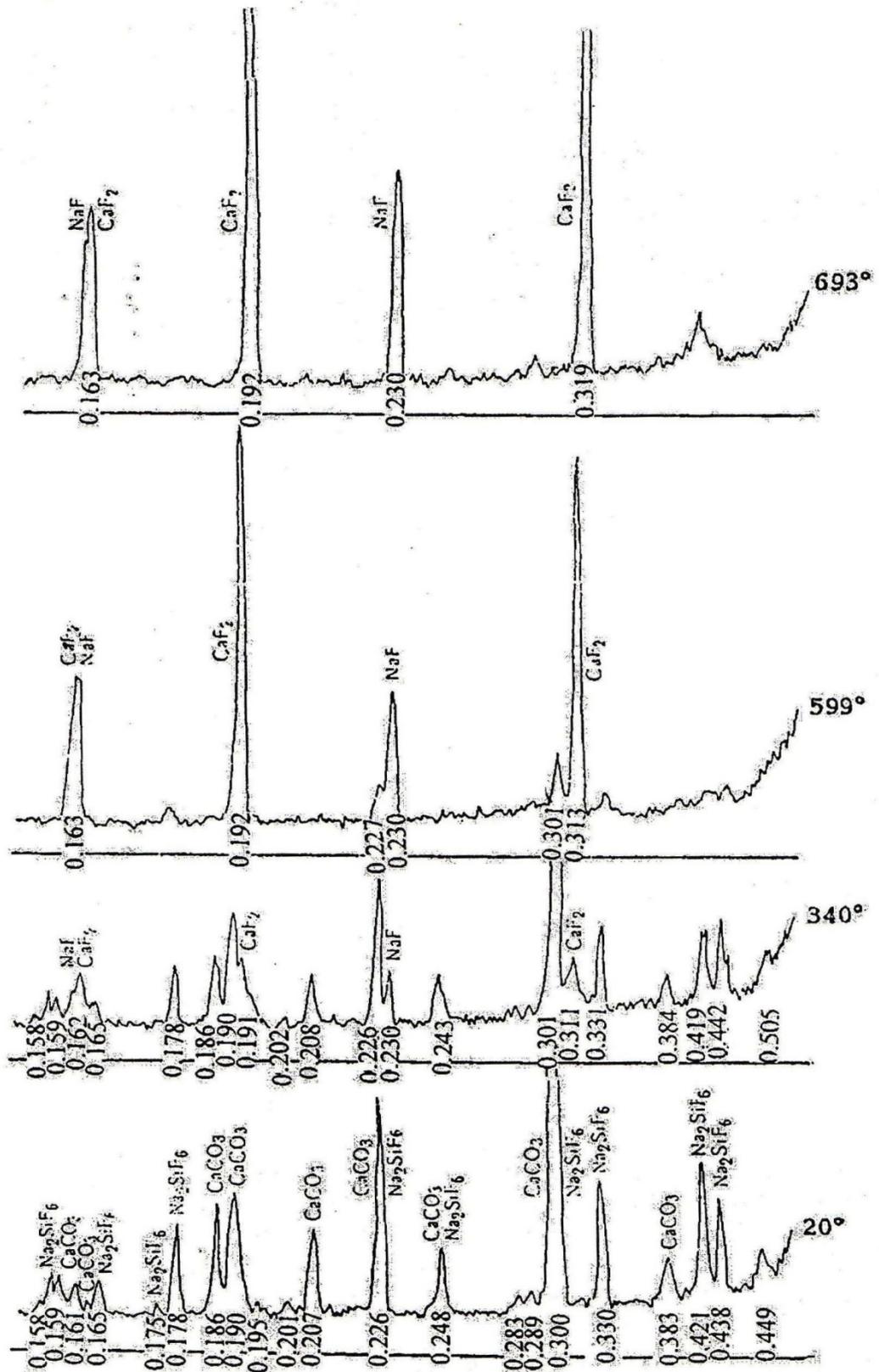


Рис. 4.2.2. Рентгенограммы смеси CaCO_3 и Na_2SiF_6 при температурах, примерно соответствующих эффектам на дифференциальной кривой

Таким образом, при вводе в известняк Na_2SiF_6 минерализующее влияние оказывает смесь CaF_2 и NaF , которая образуется в активном состоянии. Можно констатировать, что кремнефтористый натрий, введенный в известняк, вступает во взаимодействие с углекислым кальцием с образованием активной смеси CaF_2 и NaF , полученных в результате реакции диссоциации.

Таким образом по полученным результатам видно, что добавка кремнефтористого натрия снижает температуру диссоциации известняка и повышает скорость этого процесса за счет взаимодействия Na_2SiF_6 с CaCO_3 в интервале температур 280-700 °С с образованием NaF и CaF_2

Выявлено, что при вводе в состав известняка кремнефтористого натрия минерализующее влияние оказывает смесь CaF_2 и NaF , образующихся в активном состоянии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Из литературного обзора для оптимизации процесса разложения известняка в шахтной печи следует уделить внимание на конструкцию печи, загрузочных и выгрузочных устройств, подачу топлива, мощности тягодутьевых устройств и размеры обжигаемого материала.

2. Расчёты теплового баланса показали, что на процессы диссоциации известняка влияют виды топлива, коэффициент избытка воздуха, теплотери через стенки печи и концентрация CO_2 на энергопотребность. Показано, что подогрев воздуха используемого для сжигания топлива, с помощью отходящих газов способствует энергосбережению и повышению концентрации CO_2 .

3. Комплексом современных методов физико-химического анализа определены свойства известняка Жамансайского известняка в зависимости от температуры обжига в присутствии минерализатора – кремнефтористого натрия.

4. Показано, что добавка кремнефтористого натрия снижает температуру диссоциации известняка и повышает скорость этого процесса за счет взаимодействия Na_2SiF_6 с CaCO_3 в интервале температур 280-700 °С с образованием NaF и CaF_2

5. Выявлено, что при вводе в состав известняка кремнефтористого натрия минерализующее влияние оказывает смесь CaF_2 и NaF , образующиеся в активном состоянии

Список использованных источников

1. Каримов И.А. «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана» 2009 г.
2. Каримов И.А. Доклад на торжественном собрании посвященном 17-летию Конституции РУз. «Правда Востока» №235 от 8.12.2009 г.
3. Указ Президента Республики Узбекистан от 24 мая 2005 года «О внедрении и освоении новых, современных технологий производства строительных материалов, в том числе на базе отечественных прикладных исследований и разработок».
4. Цемент интернэшнл, свойства и применения нормативно производственный каталог №1. 2008 г. -с.26-76.
5. Noack, W. EAF Steelmaking/ W. Noack, U. Wihelm, P. Zipp// Iron and Steel. Metals and Mining. – February 2008. –S. 36-37.
6. Ehle, J. Finger Shaft Technology: Latest improvements and results/ J. Ehle, H.Knapp, H.VMoserf/Steel World. – 2001. – Vol. 3, N. 2. –P. 24-32.
7. Ehle, J. Neuere Entwicklungen des Drehstrom-Lichtbogenofens/ J. Ehle // Institut fur Bildung. 25. Seminar Elektrotechnik des Lichtbogenofens, Kehl. – Oktober 2001. – S. 6-7/
8. Терруцци Д., Раньо С. Патент бюллетень №7. RU 2413913. С2. Обжиговая печь для обжига кусковых материалов. 10.03.2011.
9. Конев В.А., Мамаев А.Н., Литвинова Г.Д., Конев М.В. Патент бюллетень №21. RU 2425312. С2. Шахтная печь для обжига кусковых материалов. 27.07.2011.
10. Tang, X Anwendung der CFD zur Berechnung der Nachverbrennung von Abgasen in Entstaubungssystemen von Lichtbogenofen. 2.4.4. Anforderungen an Nachverbrennungsanlagen/ X Tang. // GRIPS Media GmbH. – 2003. – Bd. 1. – 135 S.
11. Чайкин Б.С., Усачев А.Б., Вереин В.Г., Солдатов Ю.А. Патент бюллетень №22. RU 2426049. С1. Способ обжига кускового известняка в шахтной печи и шахтная печь для обжига кусковых материалов. 10.08.2011.

12. Кобелев Н.С., Емельянов С.Г., Алябьева Т.В., Овчаренко О.А., Уваров А.В., Скрипкина Е.В. Патент бюллетень №22. RU 2489658. С1. Шахтная печь для обжига сыпучего материалов. 10.08.2013.
13. Kwech L. //Zement-Kalk-Gips. 1986. N 7. P. 351-366.
14. Кобелев Н.С., Алябьева Т.В., Овчаренко О.А., Журавлев А.Ю., Домин А.С. Патент бюллетень №28. RU 2431096. С2. Шахтная печь для обжига сыпучего материала. 10.10.2011.
15. Патент RU 2213918, F 2713, 1/100, 18.03.2002.
16. Мазуров Д.Я., Завадский Я.М. Увеличение производительности автоматических шахтных печей. Журнал «Цемент». 1988. №3.
17. Friedacher, A. Untersuchungen zur Reduktion der Dioxin/Furan Emissionen in Abgasen von Elektrolichtbogenofen: Dissertation/ A. Friedacher// Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes. Montanuniversität Leoben. 11 Februar 2004. – 200 S.
18. ГОСТ 5382 – 91 «Химический состав известняка».
19. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ//М.: Высшая школа. 1981. – С. 333.
20. ГОСТ 9179-70 «Известь строительная»
21. ГОСТ 5331-63 «Карбонатные породы для производства извести»
22. Баренбойм А.М., Галиева Т.М., Гинзбург Д.Б. и др. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности. М.: Издательство литературы по строительству. 1964. –с.381
23. Бабаев Н.Х. Моделирование технологических процессов протекающих в высокотемпературной части цементных вращающихся печей. Теорет. журнал Вестник БГТУ, Белгород, 2003, №5, с. 17-22.
24. Древицкий Е.Г., Добровольский А.П., Коробок А.А. Повышение эффективности вращающихся печей. Москва. Стройиздат.

25. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. - М. Высшая школа - 1973-504 с.
26. Гнедина И.А. Расчет тепловых параметров циклонного теплообменника//Цемент. 1984. № 12. С. 12—14.
27. Гнедина И.А., Бондарев М.Б., Кацыан С.Л. Расчет параметров циклонного теплообменника с предварительной декарбонизацией сырья//Цемент. 1986. № 7. С. 6-8.
28. Монастыров А.В. Производства извести М.: Высшая школа, 1975. – с.223.
29. Вълков В. Исследование влияния условий обжига известняков на свойства полученной извести. Изследоване на условията на изпечане на варовидете върху свойствата на получената вар. // Гор. Висш. химикотехн. инст. – София. – 1990. – Т.30. - №3. – Р.89-94.
30. Гончар В.Я., Ковальчук Г.Н. Способ обработки известняка. А.С. 2604770. Оpubл. в БИ. – 1990, -№42, -с.119.
31. Гуревич М.Н., Панов В.В., Несменко В.Д. Способ определения рабочих параметров известково-обжигательной печи. А.С. № 1694507 от 30.11.1991. С 04 В 7/44.
32. Казова Р.А. Оптимизация параметров обжига известняка методом моделирования процесса декарбонизации. // Комплексн. исп. минер, сырья. – 1990. -№4, -с.26-30.
33. Ключников А.Д. и др. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. М.: Энергоатомиздат, 1990, -с.124.
34. Анализ и прогноз развития изготовления оборудования для производства цемента до 2000 г., г. Пршеров (ЧССР) Отчет по теме, выполняемой КОЦ по цементному оборудованию.
35. Sasaki S. //Zement-Kalk-Gips. 1986. N 7. P. 407.
36. Sack a r I. //Stavivo. 1985. Sv. 63. N 11. S. 457.
37. Taddei R.//World Cement. 1986. Vol. 17. N 1. P. 27-30.

38. Igawa T., Natano H. //Zement-Kalk-Gips. 1986, N 12, P. 661- 663.
39. Кулабухов В.А. Интенсификация процесса обжига и повышение качества клинкера белого цемента, разработка и внедрение эффективных теплообменных и обменивающихся устройств: Автореф. дис.... канд. наук. М., 1985. С. 2.
40. Хромова Л.М. (НИИцемент) Многокомпонентные малоклинкерные цементы и рациональные области их применения. (Материалы XV Всесоюзного совещания-семинара начальников ОТК (лабораторий цементных заводов). «Основы повышения эффективности производства и качества цемента» Труды НИИцемента – М., 1990.
41. Турдиева Р.М., Атакузиев З.Т. Портландцементы с мраморными отходами. Межвузовский сборник научных трудов. «Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук». – Т., 1997. С.109-111.
42. Hansen R.W. Optimum utilization of wood energy//World Gement. 1985. 16. N. 2. P. 44, 47-48.
43. PASEC – Development of a new plecalcining system// World Gement. 1985. 16. N. 3. P. 10.
44. Meister K. Einflub Aschen in Braun- und Steinkohlenbrennstauben auf die Flammentemperatur//Silikattechnik. 1986. 37. S. 318-321.
45. Scheuer A. NO_x – Minderung in Drehofen-anlagen der Zementindustrie//Zement-Kalk-Gips/ 1986/ 39/ N 10/ S/ 552-554.
46. Рябченко Н.А. Опыт освоения технологической линии с печью, оснащенной декарбонизатором.// Цемент. №4. 1988. С. 4-5.
47. Богданова И.В., Альперович В.Р., Григорьян С.С. Непрерывный рентгеноспектральный анализ сырьевых смесей.// Цемент. 1984. №6. С. 21.
48. <http://www.mf.uz>
49. http://etelien.ru/Collection/43/43_00005.htm

50. Комар А.Г. и др. Об эффективности использования жидких и твердых отходов промышленности в строительстве //Строительные материалы 1/1997. –С. 5-6.

51. Суханов М.А., Феднер Л.А., Храпов В.С., Джанаиров Д.А., Макеев Ю.А., Задерман Е.А. Отходы промышленности – сырье для получения цемента. Цемент. №5-8. 1995. – С. 46-49.

52. Гиллер Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний. – М.: Недра, том 2. 1966. – С. 97-121.

53. Миркин Л.Н. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Физматгиз. 1961. – 95с.

54. Толкачев С.С. Таблицы межплоскостных расстояний. – Л.: Химия. 1968. – 132 с.

55. Т.А.Атакузиев, Н.Р.Рузиев Многокомпонентные цементы. Тапшкент “ВЕКТОР-PRESS” 2008, С. 328.

56. Искендеров А.М., Атакузиев Э.Т., Атакузиев А.Т. Отходы содового производства для изготовления.....бНИЯ свойства строительных материалов. // Журнал Вестник ККОАН РУз, 1998. №7. С. 104-108.

57. Уюниязова Г.К., Атакузиев Э.Т. Влияние хлористого кальция на гидратацию и свойства чинного портландцемента.//Журнал Вестник ККОАН РУз, 1999, №2. -С.29-33.

58. Атакузиев Э.Т., Утениязова Г.К. Влияние хлористого кальция в присутствии карбоната...ни гидратацию и свойства портландцемента. Т.: 1999, Деп. В ГФНТИ ГКНТ РУз. - 52 с.

59. Утениязова Г.К, Атакузиев Э.Т., Искендеров А.М. Коррозионная стойкость карбонатного Ц шийт камня, модифицированного хлористым кальцием в растворах сульфата натрия, хлористого -VIII.фата магния// Журнал Вестник ККОАН РУз, 2000, №4. -С.19-20.

60. Бобакулов А.А. Многокомпонентные цементы на основе промышленных отходов. Автореф. дис... канд. техн.наук.- Ташкент 1999. - 23 с.

Список опубликованных работ

1. Халилов Ш.У., Мухамедбаева З.А. Влияние кремнефтористого натрия на процесс декарбонизации известняка Жамансайского месторождения. Сб. трудов XXIII-научно-технической конференции молодых ученых, магистрантов и студентов бакалавриата «Умидли кимёгарлар-2014», Т.1, Ташкент, 2014, с.187-188.

2. Халилов Ш.У., Мухамедбаева З.А. Повышение производительности шахтной печи. Республиканский межвузовский сборник «Ўзбекистонда ёқилғи – минерал хом ашёларини кимёвий йўл билан комплекс қайта ишлаш ютуқлари ва истиқболлари», Ташкент, 2013, с. 96-97.