



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2401974

(22) 26.06.2024

(46) Бюл. 223, 2025

(71) Институт химии имени В.И. Никитина
Национальной академии наук Таджикистана (TJ)

(72) Шарифов А. (TJ); Хусайнов Х.А. (TJ); Субхонов
Д.К. (TJ); Кувватзода М.С. (TJ); Юсупов Б.Я. (TJ)

(73) Институт химии имени В.И. Никитина
Национальной академии наук Таджикистана (TJ)

(54) **СПОСОБ МНОГОСТАДИЙНОГО ОБЖИГА
ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА С ПОЛУЧЕНИЕМ
АММИАКА И КАРБАМИДА**

(56)

1. Патент РФ № 2387606, МПК C04D 7/36,
F27B 7/20, от 27.04.2010, Способ изготовления
портландцементного клинкера.

2. Справочник азотчика, под ред. Е. Я.
Мельникова, М: Химия, 1986.- 512 с.

3. Дуда В. Цемент, М.: Стройиздат, 1981.-464с.

4. Шарифов А. Лабораторный практикум по
неметаллическим строительным материалам,
Душанбе: Андалеб-Р, 2015.-288с.

(57) Изобретение относится к химической
технологии, а именно к способам производства
цементного клинкера, аммиака и карбамида.

Способ включает подбор состава сырьевой
смеси из известняка, глины и железосодержащего
вещества, приготовление сырьевой смеси и её
обжига теплом от сжигания топлива, синтеза
аммиака и карбамида. После подбора состава

2

сырьевой смеси до её приготовления, известняк
обжигают при температурах от 950°C до 1000°C в
отдельном реакторе, обогреваемом теплом от
сжигания водорода воздухом, с образованием
раскалённой горячей извести (CaO+MgO) и смеси
горячих газов, состоящей из N₂, Ar, H₂O, CO₂, по
выходу из реактора обжига известняка раскалённую
горячую известь (CaO+MgO) смешивают с глиной и
железосодержащим веществом для получения
горячей сырьевой смеси. Горячую сырьевую смесь
дополнительно нагревают теплом горячей смеси
газов стадии обжига известняка и далее подвергают
обжигу при температурах от 1440°C до 1460°C
теплом от сжигания нагретого водорода кислородом.
Нагрев водорода осуществляют теплом смеси
горячих газов стадии обжига известняка после её
выхода из смесителя сырьевой смеси. После отдачи
части тепла водороду смесь газов стадии обжига
известняка охлаждают до нормальной температуре
для конденсации паров воды и их выделения. Из
осушенной смеси газов стадии обжига известняка
выделяют диоксид углерода абсорбцией раствором
щелочи, оставшиеся азот и аргон совместно с
горячим водородом используют для синтеза
аммиака, диоксид углерода десорбируют из раствора
щелочи и совместно с аммиаком используют для
получения карбамида.

Изобретение относится к химической технологии, а именно к способам производства цементного клинкера, аммиака и карбамида.

Известен способ получения цементного клинкера [1], включающий подогрев порошкообразного сырья отходящими газами, спекание его в процессе продувки через затравку кипящего слоя за счет сжигания топлива и охлаждение, в котором в качестве топлива используют синтез-газ, получаемый в результате рекуперации тепла от клинкера путем химической регенерации традиционных видов топлива, и готовый продукт затем охлаждают в две стадии: высокотемпературная зона - продувкой смеси углеводородного топлива и воды - пара и/или углекислого газа - CO_2 , а низкотемпературная - воздухом, отходящие газы от ступеней охлаждения подают в зону спекания и декарбонизации. В способе углекислый газ и водяной пар отбирают из отходящих газов печи.

Однако указанный способ является сложным в исполнении и многозатратным, также не исключает выброса газов в атмосферу.

Известен также способ получения аммиака и карбамида по [2], согласно которому предварительно очищают природный газ от серы и далее осуществляют паровоздушную каталитическую конверсию метана и его гомологов при температурах 800-950°С с образованием смеси газов (H_2 , CO , CO_2 , N_2 , Ar), охлаждение смеси газов и каталитическую конверсию CO в CO_2 , очистку конвертированного газа от CO и CO_2 , использование оставшейся азотоводородной смеси (H_2 , N_2 , Ar) для синтеза аммиака и получение карбамида из аммиака и CO_2 .

Недостатком способа является его многостадийность с большими удельными затратами при получении готового продукта, также и то, что его можно реализовать только в местах, где имеется источник обеспечения природного газа (метана).

В качестве прототипа выбрана способ обжига цементного клинкера, согласно которому сырьевую смесь получают смешиванием известняка, глины и железосодержащего компонента и полученную сырьевую смесь обжигают при температурах до 1450-1460°С в печах сжиганием ископаемого топлива (уголь, природный газ, нефтепродукты) [1].

Однако, в известном способе образующиеся газы при обжиге сырья и горения топлива не утилизируются, а выбрасываются в атмосферу. Так, при разложении 1 кг CaCO_3 и сжигания 1 кг углерода ископаемого топлива образуется соответственно 0,44 кг и 3,67 кг CO_2 , его выброс в атмосферу является экологически грязным процессом.

Целью изобретения является декарбонизация процесса обжига сырьевой смеси, снижения материально-энергетических затрат и обеспечения безотходности производства цементного клинкера с получением аммиака и карбамида.

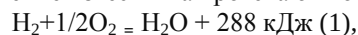
Поставленная цель достигается следующим образом. В способе обжига цементного клинкера, включающий подбор состава сырьевой смеси из известняка, глины и железосодержащего вещества,

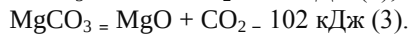
приготовление сырьевой смеси и её обжига при температурах от 1440°С до 1460°С теплом от сжигания топлива. После подбора состава сырьевой смеси до её приготовления, известняк обжигают при температурах от 950°С до 1000°С в отдельном реакторе, обогреваемом теплом от сжигания водорода воздухом, с образованием раскalcённой горячей извести ($\text{CaO} + \text{MgO}$) и смеси горячих газов, состоящей из N_2 , Ar , H_2O , CO_2 ; по выходу из реактора обжига известняка раскalcённую горячую известь ($\text{CaO} + \text{MgO}$) смешивают с глиной и железосодержащим веществом для получения горячей сырьевой смеси; горячую сырьевую смесь дополнительно нагревают теплом горячей смеси газов стадии обжига известняка и далее подвергают обжигу при температурах от 1440 до 1460°С теплом от сжигания нагретого водорода кислородом; нагрев водорода осуществляют теплом смеси горячих газов стадии обжига известняка после её выхода из смесителя сырьевой смеси; после отдачи части тепла водороду смесь газов стадии обжига известняка охлаждают до нормальной температуры для конденсации паров воды и их выделения; из осушенной смеси газов стадии обжига известняка выделяют диоксид углерода абсорбцией раствором щелочи, оставшиеся азот и аргон совместно с горячим водородом используют для синтеза аммиака; диоксид углерода десорбируют из раствора щелочи и совместно с аммиаком используют для получения карбамида.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что для получения цементного клинкера применяют сырьевую смесь, состоящую из известняка ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), глину и железосодержащее вещество (железные огарки, магнетит Fe_3O_4 и др.). Состав сырьевой смеси для получения цементного клинкера определённого минералогического состава выбирают с учётом составов, применяемых известняка, глины и железосодержащего вещества. Для определения состава смешанного сырья используют методы расчёта состава сырьевой смеси согласно [4].

В качестве энергоносителя для обжига сырьевой смеси используют водород, получаемый совместно с кислородом электролизом воды.

Способ многостадийного обжига цементного клинкера с получением аммиака и карбамида осуществляют следующим образом: основной компонент сырьевой смеси известняк обжигают при температурах 950-1000°С в отдельном реакторе для его разложения на известь ($\text{CaO} + \text{MgO}$) и диоксид углерода (CO_2). При указанных температурах известь образуется более мелкозернистой и активной в химических реакциях. Нагрев реактора осуществляют сжиганием водорода кислородом воздуха в зоне обжига известняка. Эта первая стадия обжига сырья, в котором сжигание водорода и разложение известняка протекают по реакциям

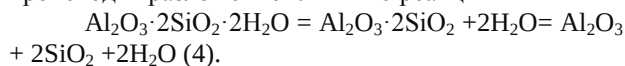




Тепло экзотермической реакции (1) обеспечивает протекание эндотермических реакций (2) и (3).

При использовании воздуха для сжигания водорода в процессе обжига известняка основными компонентами состава газовой смеси являются водяной пар $\text{H}_2\text{O}_{\text{пар}}$, азот N_2 , аргон Ar и диоксид углерода CO_2 состава воздуха и образующегося по реакциям (2) и (3). Использование воздуха в качестве окислителя сжигания водорода при обжиге известняка делают с целью ввода азота в технологический цикл производства цементного клинкера для получения аммиака.

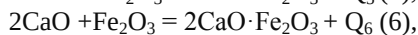
Горячую известь ($\text{CaO}+\text{MgO}$) с температурой 950-1000 °С выводят из реактора и смешивают с другими компонентами сырьевой смеси (глина, магнетит или иное железосодержащее вещество), тепло горячей извести нагревает сырьевую смесь до температурах 700 °С – 750 °С и в смесителе начинается вторая стадия обжига сырьевой смеси: происходит разложение глины по реакции



Гидратную воду можно вывести из смесителя сырьевой смеси в виде насыщенного водяного пара, при этом уменьшаются масса и объём смеси, что благоприятно влияет на процесс её обжига.

Из реактора разложения известняка смесь горячих газов с температурой 950 °С -1000 °С, содержащая $\text{H}_2\text{O}_{\text{пар}}$, N_2 , Ar и CO_2 , отводят для использования сначала её тепла, в дальнейшем - всех газов её состава.

Нагрев сырьевой смеси смесителе осуществляется одновременно теплом горячей извести и теплом горячих газов стадии обжига известняка. При дополнительном нагреве сырьевой смеси теплом газов стадии обжига известняка температура смеси ещё возрастает и может повышаться до 900 °С -950 °С. Поскольку горячая известь и газы стадии обжига известняка подаются одновременно в смеситель сырьевой смеси, то температура смеси возрастает до указанных значений. При этих температурах протекает и третья стадия обжига сырья с протеканием реакций:



где Q_5 и Q_6 - тепловые эффекты реакции (5) и (6).

Реакции (5) и (6) являются экзотермическими, тепло их реакции также нагревает сырьевую смесь, и она нагревается до температур 1000 °С-1200 °С. При данных температурах протекает четвертая стадия обжига сырьевой смеси с образованием минералов цемента $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Нагретую сырьевую смесь, состоящую из образовавшихся минералов клинкера и оставшиеся

непрореагировавшие компоненты сырьевой смеси, подают в печь получения цементного клинкера для окончательной пятой стадии обжига сырья, который осуществляют при температурах 1440-1460 °С теплом от сжигания водорода кислородом по реакции (1). Образование цементного клинкера заканчивается с образованием его полного минералогического состава, состоящего из минералов $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S), $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S), $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A), до 0,5% $\text{CaO}_{\text{свободный}}$.

Использование полученной горячей извести в составе сырьевой смеси не только декарбонизирует процесс обжига цементного клинкера и способствует образованию оксидов при разложении глины, но с обеспечением отсутствия газов в обжигаемом сырье активизирует скорость образования минералов клинкера, поскольку компоненты для их образования уже находятся в виде соответствующих оксидов (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ и др.), при этом также существенно снижаются масса и объём участвующих в реакциях клинкерообразования веществ, что положительно влияет на физико-химические и тепло-массообменные стадии производства цементного клинкера при снижении энергетических затрат их осуществления.

Основное количество тепла смеси газов стадии обжига известняка используют для нагрева смеси глины и железосодержащего вещества, затем для нагрева водорода, используемого для синтеза аммиака и в качестве энергоносителя для обжига при образовании цементного клинкера, остаточное тепло газов стадии обжига известняка при их охлаждение до обычных температур используют в производствах водяного пара и горячей воды.

При охлаждении смеси газов стадии обжига известняка до обычных температур водяной пар её состава конденсируется, водяной конденсат выводят из состава газовой смеси, потом из смеси газов выделяют диоксид углерода CO_2 его абсорбцией в регенерируемых растворах щелочей, а оставшийся азот с примесью аргона смешивают с нагретым водородом для получения азото-водородной смеси, которую используют в производстве аммиака. CO_2 десорбируют из раствора щелочи и используют совместно с аммиаком в производстве карбамида.

В целом, при осуществлении данного способа в конечном итоге получают цементный клинкер, аммиак, карбамид, насыщенный водяной пар и водяной конденсат. Обжиг цементного клинкера осуществляют без выброса газов, что наглядно следует из технологической схемы предлагаемого способа на Фиг.: 1-электролизёр для получения H_2 и O_2 ; 2- реактор обжига известняка; 3-смеситель сырьевой смеси цементного клинкера; 4-теплообменник газов; 5-теплообменник-холодильник для охлаждения газов; 6-абсорбер для поглощения CO_2 раствором щелочи; 7- десорбер CO_2 из раствора щелочи; 8-печь обжига сырья и получения

цементного клинкера; 9-реактор синтеза аммиака; 10-реактор синтеза карбамида).

Технологическая схема предложенного способа функционирует следующим образом: в

электролизёре 1 получают водород и кислород. Количество образующего водорода разделяют на два потока: первый поток (линия а) направляют в реактор обжига известняка 2, где H_2 с воздухом сжигают для

теплообеспечение реакции декарбонизации сырья в реакции (2) и (3). Второй поток водорода нагревают до температурах 550°C-600°C за счёт тепла горячих газов стадии обжига известняка, часть потока H₂ используют для топливообеспечения обжига сырьевой смеси на стадии образования цементного клинкера (*линия b*), а другую часть H₂ используют совместно с азотом в качестве химического реагента в производстве синтеза аммиака (*линия с*).

Водород первого потока (*линия а*) сжигают с воздухом в слое сырья реактора 2, количества водорода и воздуха выбирают согласно тепловому балансу процесса разложения известняка, чтобы в реакторе 2 обеспечить температуру разложения известняка на уровнях 950°C - 1000°C. Из реактора 2 горячую известь с такой же температурой отправляют в смеситель сырья 3, куда также поступают глина и железосодержащее сырьё. Смеситель 3 делают двухкорпусный типа «Труба в трубу», сырьевую смесь из CaO, глины и железосодержащего сырья, подают во внутренний корпус, а в межкорпусное пространство реактора подают горячую смесь газов с температурой 950°C-1000°C. Газы нагревают сырьё в смесителе через внутреннюю стенку корпуса реактора, а горячая известь нагревает смесь глины и железосодержащего вещества непосредственно в слоях сырья. В итоге, тепло раскалённой извести полностью, а тепло газов реактора разложения известняка в большем количестве, используют для нагрева сырьевой смеси цементного клинкера до температур 850°C - 900°C. В смесителе сырьевая смесь ещё нагревается за счёт тепла экзотермических реакций образования минералов клинкера. В результате в печь обжига клинкера смесь поступает при температурах 1100°C-1200°C, при этом нагрев сырья до указанных температур существенно снижает тепловую нагрузку окончательной стадии обжига сырья в печи получения клинкера при температурах от 1440°C до 1460°C и расхода водорода для обеспечения данной температуры.

По выходу из межкорпусного пространство смесителя 3 газовую смесь направляют в теплообменник 4, где её теплом нагревают поток водорода, используемого в качестве топлива для обжига сырья клинкера (*линия b*), и в качестве химического реагента для синтеза аммиака (*линия с*). После отдачи части тепла потоку водорода газовую смесь подают в теплообменник - холодильник 5, где его охлаждают до нормальных температур водой с получением водяного пара или горячей воды. Водяной пар и горячую воду используют по их назначениям.

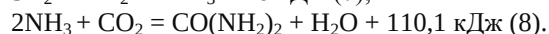
При охлаждении газовой смеси в теплообменнике - холодильнике 5 до нормальных температур, водяной пар его состава конденсируется, по выходу газа из теплообменника 5 водяной конденсат выделяют из состава газа, а газовую смесь подают в абсорбер 6, где раствором щелочи абсорбируют диоксид углерода из её состава.

9

0,86 г/см³; теплотворность природного газа 36758 кДж/м³.

Раствор щелочи с CO₂ подают в десорбер 7 и десорбируют CO₂ из его состава. К рабочему раствору добавляют порцию свежего раствора и абсорбент используют по циклической схеме «абсорбция CO₂ – десорбция CO₂».

После теплообменника 4 водород по *линии (b)* направляют в печь обжига сырья клинкера 8, а по *линии с* совместно с азотом, подающего из абсорбера 6, используют в реакторе 9 для синтеза аммиака. Аммиак используют в реакторе 10 совместно с диоксидом углерода, подающего из десорбера 7, для синтеза карбамида. Образование аммиака и карбамида происходит согласно реакциям



В промышленных условиях обычно реакцию (7) осуществляют при температурах 420°C - 500°C и давлениях 30-36 МПа, а реакцию (8)- при температурах 150°C - 190°C и давлениях 15-20 МПа [3].

Пример сравнения способов обжига цементного клинкера

Проводим обжиг сырьевой смеси, состоящей из известняка, глины и железных огарков, для получения 1000 кг цементного клинкера при следующих его характеристиках: коэффициент насыщения клинкера $KH=0,903$; силикатный модуль $SM= 2,62$; глиноземный модуль $TM= 1,22$. Для приготовления сырьевой смеси применяется известняк с влажностью 6,0%; глина с влажностью 10,0% и железные огарки с влажностью 5,0%. Химические составы компонентов сырьевой смеси приведены в Таблице 1.

Для получения 1000 кг цементного клинкера с заданными характеристиками с учётом 0,5% технологических потерь необходимо израсходовать 1673 кг влажной сырьевой смеси при содержании компонентов, масс. %: известняк 78,83% или 1319 кг; глина-19,51% или 326 кг; железные огарки- 1,66% или 28 кг. В таблице 2 приведены химические составы сырьевой смеси и цементного клинкера.

При обжиге сырьевой смеси образуется цементный клинкер с минералогическим составом, масс. %: C₃S-58,08; C₂S-21,81; C₄AF-11,96; C₃A – 6,08.

Обжиг данной сырьевой смеси осуществляют по известному способу (вариант 1) и по предлагаемому способу (вариант 2). Проводят сравнение их показателей.

Пример 1. Получение цементного клинкера осуществляют по традиционной технологии смешивания компонентов для получения сырьевой смеси из известняка, глины и железных огарков, и её обжига в печи при температуре 1450°C сжиганием природного газа или угля воздухом. В данном случае использован природный газ следующего состава, масс. %: CH₄-84,0; C₂H₆ -5,0; C₃H₈ -2,0; C₄H₁₀-2,0; CO₂-0,5; N₂- 6,5. Плотность природного газа

10

При коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1,1$ расход воздуха для сжигания 1 м³ или 0,86 кг природного газа будет 10,708 м³ или 13,705 кг, при

этом образуются продукты сгорания газа в количестве $11,783 \text{ м}^3$ или $14,65 \text{ кг}$ при содержаниях компонентов их состава: CO_2 – $1,065 \text{ м}^3$ или $2,1 \text{ кг}$; H_2O – $1,97 \text{ м}^3$ или $1,58 \text{ кг}$; N_2 – $8,544 \text{ м}^3$ или $10,68 \text{ кг}$; O_2 – $0,204 \text{ м}^3$ или $0,29 \text{ кг}$. Согласно тепловому балансу на образование 1 кг цементного клинкера расходуется $3306,8 \text{ кДж}$ тепла, при сжигании 1 м^3 природного газа с теплотворностью 36758 кДж образуется $11,12 \text{ кг}$ цементного клинкера. При получении 1000 кг цементного клинкера расход природного газа составит $89,13 \text{ м}^3$, а расход воздуха при коэффициенте его избытка $\alpha=1,1$ соответственно $956,3 \text{ м}^3$. В результате сжигания данного количества природного газа образуются соответственно: CO_2 – $94,93 \text{ м}^3$ или $187,17 \text{ кг}$; H_2O – $175,57 \text{ м}^3$ или $140,8 \text{ кг}$; N_2 – $761,53 \text{ м}^3$ или $951,9 \text{ кг}$; O_2 – $18,18 \text{ м}^3$ или $25,85 \text{ кг}$. *Общее количество образующихся газов от сжигания природного газа при получении 1000 кг цементного клинкера $1050,21 \text{ м}^3$ или $1305,72 \text{ кг}$*

Кроме того, образуется CO_2 при разложении известняка по реакциям (2) и (3). Для получения 1000 кг цементного клинкера расходуют 1319 кг известняка. Количество образующегося CO_2 из 1319 кг известняка 508 кг и общее количество образующихся газов при разложении известняка и сжигания природного газа будет $1305,72+508=1813,72 \text{ кг}$, в котором доля CO_2 составляет $692,17 \text{ кг}$ или $38,23\%$. Всё это количество газа по известному способу выбрасывают в атмосферу.

Пример 2. Предварительно до приготовления сырьевой смеси для получения цементного клинкера в отдельном реакторе обжигают 1319 кг известняка сжиганием водорода воздухом. Для разложения 1319 кг известняка по реакциям (2) и (3) необходимо затратить $2374,2 \text{ мДж}$ тепла. Для получения этого количества тепла, согласно реакции (1) необходимо сжигать $16,49 \text{ кг}$ водорода, причём, для сжигания этого количества H_2 необходимо расходовать $131,9 \text{ кг}$ чистого O_2 или $628,1 \text{ кг}$ воздуха. В предлагаемом способе используют воздух. При сжигании $16,49 \text{ кг}$ H_2 с $628,1 \text{ кг}$ воздуха выделяются $496,2 \text{ кг}$ азот с примесью аргона и $1,83 \text{ кг}$ водяной пар.

При разложение 1319 кг известняка образуются 508 кг CO_2 и 811 кг горячая известь ($\text{CaO}+\text{MgO}$) с температурой 950°C – 1000°C , 811 кг известь смешивают с 354 кг смеси глины и железных огарков, а 508 кг CO_2 совместно $496,2 \text{ кг}$ азота с примесью аргона и $1,83 \text{ кг}$ водяного пара, в общем количестве 1006 кг газовой смеси с температурой 950 – 1000°C , подают в межкорпусное пространство смесителя сырьевой смеси. Тепло горячей извести и основное количество тепла газовой смеси нагревают сырьевую смесь перед её подачей в печь обжига цементного клинкера до температурах 800°C – 900°C , за счёт тепла экзотермических реакций (5) и (6) температура смеси ещё возрастает до 1000°C – 1200°C , при этом до поступления смеси в зону окончательного обжига она обжигается с образованием минералов C_2S , C_4AF и C_3A . В зону

декарбонизирует процесс обжига цементного клинкера и обеспечивает экологическую чистоту

окончательного обжига сжигание водорода кислородом обеспечивает температуру смеси от 1440°C до 1460°C , при которых протекает последняя стадия обжига сырьевой смеси с образованием минерала C_3S . В данной зоне водород сжигается с образованием водяного пара.

Газовую смесь стадии обжига известняка после отдачи части тепла сырьевой смеси клинкера, также используют для нагрева водорода и далее используют для получения водяного пара (горячей воды) и после конденсации водяного пара разделяют на азот с примесью аргона и CO_2 . Из $496,2 \text{ кг}$ азота с примесью аргона получают $602,5 \text{ кг}$ аммиака. Из 508 кг CO_2 совместно с $392,2 \text{ кг}$ аммиака получают $692,7 \text{ кг}$ карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, в избытке остаётся $210,1 \text{ кг}$ аммиака, который можно использовать для получения аммиачной воды, азотной кислоты и других азотсодержащих веществ. Водяной пар и конденсат, образующиеся при обжиге цементного клинкера, также используют по своим назначениям.

В Таблице 3 приведены сравнительные показатели известного и предлагаемого способов обжига цементного клинкера.

Примечание: в таблице 3 не приведены расходы водорода и кислорода при обжиге сырьевой смеси в печи обжига клинкера, поскольку результатом сжигания H_2 является водяной пар и его присутствие не влияет на процесс декарбонизации обжига клинкера.

Сравнение способов показывает, при получении 1000 кг цементного клинкера по известному способу масса участвующих в технологических процессах веществ в $1,48$ разов больше, чем в предлагаемом способе. Причем, в известном способе из $2813,72 \text{ кг}$ образующихся веществ только 1000 кг цементный клинкер является полезным продуктом, остальные вещества в количестве $1813,72 \text{ кг}$ выбрасываются в атмосферу. В предлагаемом способе все образующиеся вещества в количестве $1904,63 \text{ кг}$ являются полезными продуктами производства.

Предлагаемый способ позволяет в одном совмещённом комплексе производить водород, кислород, азот, диоксид углерода, аммиак, карбамид, цементный клинкер, также осуществить теплообеспечение отдельных стадий за счёт тепла горячих веществ, образующихся на других стадиях. Также часть тепла продуктов способа используется для получения водяного пара, горячей воды и иной цели. В способе объёмы и масса оборудования сравнительно меньше, чем в известном способе получения цементного клинкера, следовательно, при этом также уменьшаются материально-энергетические затраты производства получаемых материалов.

Таким образом, предлагаемый способ многостадийного обжига цементного клинкера с получением аммиака и карбамида, является безотходным, он полностью

данного производства с получением новых материалов (аммиак и карбамид) и снижением

Формула изобретения

Способ многостадийного обжига цементного клинкера с получением аммиака и карбамида, включающий подбор состава сырьевой смеси из известняка, глины и железосодержащего вещества, приготовление сырьевой смеси и её обжигу при температуры от 1440°C до 1460°C теплом от сжигания нагретого водорода кислородом, **отличающийся тем, что** после подбора состава сырьевой смеси до её приготовления, известняк обжигают при температурах от 950°C до 1000°C в отдельном реакторе, обогреваемом теплом от сжигания водорода воздухом, с образованием раскалённой горячей извести ($\text{CaO}+\text{MgO}$) и смеси горячих газов, состоящей из N_2 , Ar, H_2O , CO_2 , по выходу из реактора обжига известняка раскалённую горячую известь ($\text{CaO}+\text{MgO}$) смешивают с глиной и железосодержащим веществом для получения горячей сырьевой смеси, горячую сырьевую смесь

дополнительно нагревают теплом горячей смеси газов стадии обжига известняка и далее подвергают обжиг, нагрев водорода осуществляют теплом смеси горячих газов стадии обжига известняка после её выхода из смесителя сырьевой смеси, после отдачи части тепла водороду смесь газов стадии обжига известняка охлаждают до нормальной температуре для конденсации паров воды и их выделения, из осушенной смеси газов стадии обжига известняка выделяют диоксид углерода абсорбцией раствором щелочи, оставшиеся азот и аргон совместно с горячим водородом используют для синтеза аммиака, диоксид углерода десорбируют из раствора щелочи и совместно с аммиаком используют для получения карбамида.

Таблица 1.

Химические составы компонентов сырьевой смеси

Сырьё	Содержание оксидов, мас. %							
	<i>CaO</i>	MgO	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₃O₄</i>	SO ₃	ппп	сумма
известняк	53,93	0,96	0,68	0,38	0,18	0,28	43,59	100
глина	1,72	1,56	71,94	14,07	5,74	0,16	4,81	100
железные огарки	1,05	-	14,86	4,13	76,38	2,07	1,51	100

Таблица 2.

Химические составы сырьевой смеси и цементного клинкера

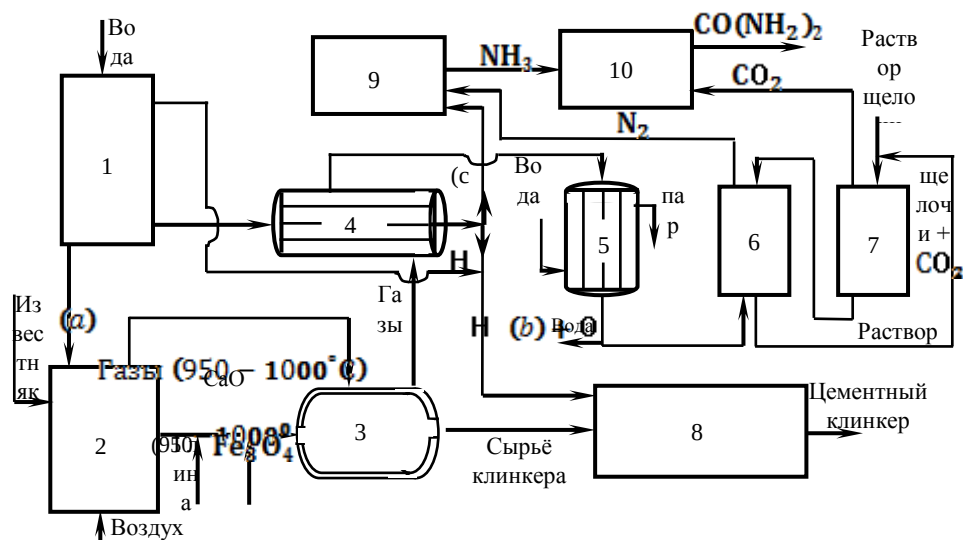
Вещество	Содержание оксидов, мас. %							
	<i>CaO</i>	MgO	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	SO ₃	ппп	сумма
сырьевая смесь	42,87	1,06	14,80	3,11	2,54	0,29	35,33	100
клинкер	66,29	1,64	22,89	4,80	3,93	0,45	-	100

Таблица 3.

Показатели известного и предлагаемого способов обжига 1000 кг цементного клинкера

Сырьевые вещества и их количества, кг		Образующиеся вещества и их количества, кг			
		в известном способе		в предлагаемом способе	
известняк	1319	Клинкер	1000	клинкер	1000
глина	326	CO ₂	695,17	Аммиак	210,1
железные огарки	28	N ₂ с Ar	951,9	карбамид	692,7
природный газ	76,65	H ₂ O	140,8	H ₂ O _{пар}	1,83
воздух для сжигания природного газа	1238,1	O ₂	25,85	-	-
H ₂ для обжига известняка	16,49	-	-	-	-
воздух для сжигания H ₂	628,1	-	-	-	-
		Всего	2813,72	Всего	1904,63

Способ многостадийного обжига цементного клинкера с получением аммиака и карбамида



Фиг.

Компьютерный набор: Газиев М.