

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043813**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.27

(21) Номер заявки
201990248

(22) Дата подачи заявки
2017.07.20

(51) Int. Cl. **C01F 5/02** (2006.01)
C01F 5/06 (2006.01)
C01F 5/24 (2006.01)

(54) **ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО ОКСИДА МАГНИЯ**

(31) **62/367,250**

(32) **2016.07.27**

(33) **US**

(43) **2019.07.31**

(86) **PCT/CA2017/050875**

(87) **WO 2018/018137 2018.02.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЭНСТИТЮ НАСЪОНАЛЬ ДЕ ЛА
РЕШЕРШ СЪАНТИФИК (СА)**

(72) Изобретатель:
**Мерсье Ги, Паскье Луи-Сезар, Кемаш
Нассима, Секши Эмманюэль, Бле
Жан-Франсуа (СА)**

(74) Представитель:
**Харин А.В., Буре Н.Н., Стойко Г.В.
(RU)**

(56) **WO-A1-8300142
GB-A-560600
US-A1-2015030523
WO-A1-2015154196
US-A-2328286
US-A-3402017
US-A-4508690
US-A-4720375
CA-A1-2248474
CN-A-101993098
KR-B1-101049279**

(57) Способ получения оксида магния может включать приведение CO₂-содержащих выбросов в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния; подвергание карбоната магния обжигу с получением побочного продукта CO₂ и оксида магния; и повторное использование по меньшей мере одной порции побочного продукта CO₂ для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния. Магнийсодержащее вещество может включать горнорудные остатки, такие как остаток от добычи филлосиликата или хризотила, и полученный карбонат магния может включать осажденный несквегонит, который подвергают обжигу с получением оксида магния.

B1

043813

043813

B1

Область техники

Главным образом область техники относится к получению оксида магния из карбонатов магния, более конкретно, к объединению получения оксида магния со связыванием диоксида углерода и применением ультрамафических пород, содержащих магний, таких как серпентинит.

Предшествующий уровень техники

Оксид магния (MgO) является наиболее распространенным основным веществом, применяемым в области огнеупорных материалов. Обычно ее получают обжигом магнезита ($MgCO_3$), полученного из природных месторождений, или осаждением из солевых растворов. Безусловно, способ обжига является наиболее используемым, несмотря на то, что он приводит к различным экологическим проблемам.

Образование CO_2 в ходе декарбонизации, происходящей при получении оксида магния, и связанные потребности в энергии представляют проблему. Тогда как эффективность использования энергии и применение альтернативных источников могут снизить выбросы CO_2 , более 50% технологических выбросов происходит из самого способа.

Природные месторождения магнезита на планете являются большим природным резервуаром CO_2 , постоянно удерживаемым и безопасно хранящимся благодаря природным геологическим процессам, происходящим в течение тысячелетий. К сожалению, такие вещества также являются основным источником получения MgO, применяемым в разных отраслях промышленности, в результате чего этот CO_2 возвращается назад в атмосферу и таким образом вносит вклад в глобальное потепление.

Существует потребность в технологиях, которые преодолеют по меньшей мере некоторые из недостатков известных способов получения оксида магния.

Краткое описание изобретения

В некоторых вариантах осуществления предложен способ получения оксида магния, включающий приведение CO_2 -содержащих выбросов в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния; подвергание карбонат магния обжигу с получением побочного продукта CO_2 и оксида магния; и повторное использование по меньшей мере одной порции побочного продукта CO_2 для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбонат магния.

В некоторых вариантах осуществления стадия приведения в контакт дополнительно включает получение магнийсодержащего вещества в водной взвеси и приведение CO_2 -содержащих выбросов и побочного продукта CO_2 в контакт с водной взвесью.

В некоторых вариантах осуществления способ включает: на стадии приведения в контакт получение насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты и по существу не содержащей осажденных карбонатов щелочноземельных металлов; разделение насыщенной карбонатами взвеси на водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты, и твердую фазу; осаждение карбонатов магния из водной фазы; и отделение карбонатов магния от водной фазы.

В некоторых вариантах осуществления CO_2 -содержащие выбросы содержат газообразные продукты горения из установки для получения оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления газообразные продукты горения образуются на стадии обжига. Газообразные продукты горения могут образовываться на стадии термической активации магнийсодержащего вещества до приведения в контакт с CO_2 -содержащими выбросами.

В некоторых вариантах осуществления CO_2 , применяемый для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом, получен исключительно из оборудования для получения оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления CO_2 -содержащие выбросы содержат выбросы из отдельного источника выбросов.

В некоторых вариантах осуществления способ включает предварительную термическую активацию магнийсодержащего вещества до приведения в контакт с CO_2 -содержащими выбросами.

В некоторых вариантах осуществления предварительную термическую активацию выполняют при температуре от приблизительно 600 до 700°C.

В некоторых вариантах осуществления предварительную термическую активацию выполняют в течение приблизительно 20-60 мин.

В некоторых вариантах осуществления CO_2 , полученный в ходе предварительной термической активации, подается на стадию приведения в контакт.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество контактирует с потоком подаваемого CO_2 , который включает множество исходных потоков CO_2 . Также способ может включать контроль относительного количества каждого исходного потока CO_2 в потоке подаваемого CO_2 . Контроль можно выполнить в соответствии с давлением, температурой и/или составом исходных потоков CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления поток подаваемого CO_2 дополнительно включает CO_2 , полученный от дополнительной технологической линии получения оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления дополнительная технологическая линия получения оксида магния включает обычную технологическую линию получения.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество включает серпентин или вещество, полученное из серпентинита или его вариантов.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество получают из природных минералов.

ральных веществ.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество получают по меньшей мере из одного из: базальта, перидотита, серпентизированного перидотита, офиолитовой породы, мафической породы, ультрамафических пород, перидота, пироксена, оливина, серпентина, содержащих оксид магния минералов и/или брусита.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество предварительно обрабатывают с получением магнийсодержащего дисперсного вещества до карбонизации, и имеет содержание магния от приблизительно 1 до приблизительно 35 мас. %.

В некоторых вариантах осуществления содержание магния составляет от приблизительно 10 до приблизительно 30 мас. %.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество получают из промышленного побочного продукта. Промышленный побочный продукт может включать сталеплавильный шлак и/или сталеплавильный отработанный кирпич из оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество получают из горнорудного остатка. Горнорудный остаток может включать остаток от добычи филлосиликата и/или остаток от добычи хризотила.

В некоторых вариантах осуществления стадия приведения в контакт включает приведение CO_2 в контакт с магнийсодержащим веществом по существу в сухой форме по меньшей мере в одной установке для карбонизации при температуре карбонизации от приблизительно 200 до приблизительно 500°C и давлении карбонизации от приблизительно 1 до приблизительно 20 бар для его карбонизации, чтобы получить карбонаты магния и газ, обедненный CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления способ включает уменьшение размера магнийсодержащего вещества и удаление магнитной фракции до карбонизации.

В некоторых вариантах осуществления способ включает измельчение исходного вещества для обеспечения размера частиц от приблизительно 200 до приблизительно 1000 мкм с получением вещества определенного размера; удаление магнитной фракции из вещества определенного размера с получением немагнитной фракции; и измельчение немагнитной фракции с получением магнийсодержащего вещества, имеющего размер частиц не более 75 мкм.

В некоторых вариантах осуществления обжиг проводят в установке для обжига с косвенным нагревом. Обжиг можно проводить в установке для обжига с прямым нагревом.

В некоторых вариантах осуществления способ включает контроль по меньшей мере одного свойства CO_2 -содержащего газа, приведенного в контакт с магнийсодержащим веществом. Контроль может включать регулирование относительных количеств CO_2 -содержащих выбросов и побочного продукта CO_2 , применяемых для контакта с магнийсодержащим веществом. Контроль можно осуществлять управлением давлением газа, температурой газа и/или содержанием CO_2 в CO_2 -содержащем газе, приводимом в контакт с магнийсодержащим веществом.

В некоторых вариантах осуществления вышеописанный способ включает один или более признаков любого из способов получения карбоната магния, как описано в данном изобретении.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ получения оксида магния, включающему: приведение CO_2 -содержащего газа в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния; подвергание карбоната магния обжигу с получением побочного продукта CO_2 и оксида магния; и повторное использование по меньшей мере одной порции побочного продукта CO_2 в качестве по меньшей мере одной порции CO_2 -содержащего газа для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния. Такой способ может включать один или более признаков, как описано выше или далее в данном изобретении.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ получения оксида магния, включающему: приведение CO_2 -содержащего газа в контакт с магнийсодержащим веществом в водной взвеси; извлечение осажденного карбоната магния из водной взвеси; и подвергание осажденного карбоната магния обжигу с получением побочного продукта CO_2 и оксида магния. Такой способ может включать один или более признаков, как описано выше или далее в данном изобретении.

В некоторых вариантах осуществления карбонат магния содержит или состоит из несквегонита.

В некоторых вариантах осуществления предложена система получения оксида магния, включающая:

- по меньшей мере одну установку для карбонизации, имеющую:
 - подвод газа для приема CO_2 -содержащего газа,
 - подвод взвеси для приема водной взвеси, содержащей магнийсодержащее вещество,
 - карбонизационный сосуд для карбонизации по меньшей мере одной порции магния в водной взвеси с CO_2 с получением газа, обедненного CO_2 , и насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния,
 - отвод взвеси для отведения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, и
 - отвод газа для отведения газа, обедненного CO_2 ;

сепарационную установку, имеющую:

подвод взвеси для приема насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, из отвода взвеси по меньшей мере одной установки для карбонизации,

разделительную камеру для разделения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, на твердую фазу и водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты магния, и

отвод жидкости для отведения водной фазы, и

установку для осаждения, имеющую:

подвод взвеси для приема водной фазы, включающей осаждаемые карбонаты магния, из отвода жидкости сепарационной установки,

осадительную камеру для осаждения карбонатов магния и образования осадочной взвеси, и

отвод жидкости для отведения осадочной взвеси;

установку для обжига для получения по меньшей мере одной порции карбонатов магния, дающую жженное вещество оксида магния и поток побочного продукта CO_2 .

В некоторых вариантах осуществления система включает систему сбора и подачи CO_2 для сбора потока побочного продукта CO_2 для подачи его же в качестве по меньшей мере одной порции CO_2 -содержащего газа в установку для карбонизации.

В некоторых вариантах осуществления система включает по меньшей мере один дополнительный признак любого из пунктов формулы изобретения 1-39, или как описано или проиллюстрировано в данном изобретении.

В некоторых вариантах осуществления предложено применение остатка от добычи филлосиликата для связывания диоксида углерода из промышленных выбросов и получения оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления предложено применение осажденного карбоната магния, полученного от связывания выбросов CO_2 магнийсодержащим веществом, для получения оксида магния посредством обжига.

В некоторых вариантах осуществления предложено применение осажденного несквегонита с получением оксида магния посредством обжига.

В некоторых вариантах осуществления предложенный способ получения оксида магния включает подачу карбоната магния, состоящего из осажденного несквегонита, в установку для обжига и обжиг осажденного несквегонита с получением оксида магния.

В некоторых вариантах осуществления предложен продукт оксида магния, полученный обжигом осажденного карбоната магния, полученного от приведения в контакт магнийсодержащего вещества во влажной или сухой форме с диоксидом углерода из промышленных выбросов в установке для карбонизации для образования насыщенной карбонатами взвеси и осаждения карбоната кальция или магния из насыщенной карбонатами взвеси в установке для осаждения.

В некоторых вариантах осуществления осажденный карбонат магния состоит из несквегонита.

В некоторых вариантах осуществления способ включает извлечение потока CO_2 -содержащего побочного продукта от обжига; и удаление воды из CO_2 -содержащего побочного продукта с получением потока обработанного побочного продукта CO_2 до приведения в контакт потока обработанного побочного продукта CO_2 с магнийсодержащим веществом.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество содержит эвапорит.

В некоторых вариантах осуществления эвапорит получают из испарительной установки.

В некоторых вариантах осуществления эвапорит содержит соль хлорид магния.

В некоторых вариантах осуществления эвапорит содержит соль сульфид магния.

В некоторых вариантах осуществления эвапорит содержит соль карбонат магния.

В некоторых вариантах осуществления эвапорит предварительно обрабатывают до карбонизации.

Следует отметить, что один или более признаков, описанных выше или далее в данном изобретении, можно объединить со способами, системами, применениями и/или продуктами, как описано выше или далее в данном изобретении.

Краткое описание графических материалов

Некоторые варианты осуществления, аспекты и варианты осуществления технологии представлены и будут дополнительно истолкованы вместе со следующими фигурами.

Фиг. 1 представляет собой схему технологического процесса влажной карбонизации.

Фиг. 2 представляет собой схему установки для карбонизации.

Фиг. 3 представляет собой схему технологического процесса влажной карбонизации.

Фиг. 4 представляет собой схему стадий процесса влажной карбонизации с вариантом повторного использования.

Фиг. 5 представляет собой график зависимости количества растворенного магния от температуры для влажной карбонизации для трех разных продолжительностей реакции.

Фиг. 6 представляет собой график зависимости количества растворенного магния от температуры для влажной карбонизации водной взвеси с тремя разными плотностями пульпы.

Фиг. 7 представляет собой график зависимости удаления CO_2 от соотношения газ/жидкость (СГЖ) для влажной карбонизации водной взвеси разных плотностей пульпы.

Фиг. 8 представляет собой график зависимости удаления CO_2 от времени для влажной карбонизации.

Фиг. 9 представляет собой график зависимости потока CO_2 от времени для влажной карбонизации в непрерывном режиме, показывающий эффективность удаления CO_2 при 3,4 бар и 42 мл/мин.

Фиг. 10 представляет собой график поверхности отклика, показывающий взаимное влияние температуры и давления на процент удаления CO_2 при прямой сухой карбонизации газ/твердое вещество.

Фиг. 11 представляет собой график зависимости давления от времени для карбонизации газ/твердое вещество при температуре 258°C и давлении 5,6 атм. в течение 10 мин.

Фиг. 12 представляет собой схематическое изображение способа получения MgO .

Фиг. 13 представляет собой схематическое изображение способа получения MgO и включения улавливания выбросов CO_2 из другого промышленного дымового газа.

Фиг. 14 представляет собой технологическую схему, иллюстрирующую способ получения MgO с двумя линиями, который можно применить, например, для возможного усовершенствования существующего установившегося для получения MgO .

Несмотря на то, что изобретение будет описано вместе с примерами вариантов осуществления, следует понимать, что эти варианты осуществления не предназначены для ограничения объема изобретения. Наоборот, они предназначены для охвата всех альтернативных вариантов, модификаций и эквивалентов, которые могут быть включены, как определено прилагаемой формулой изобретения.

Подробное описание изобретения

В данном изобретении описаны различные способы получения оксида магния и использования выбросов CO_2 и потоков побочных продуктов.

В некоторых вариантах осуществления способы облегчают получение оксида магния с низким содержанием диоксида углерода из серпентинита в ходе карбонизации магнийсодержащих веществ, таких как те, что получены из серпентинита.

Обзор получения оксида магния.

Что касается фиг. 12 и 13, то на них проиллюстрирован общий способ превращения серпентинита в оксид магния. Также можно применять другие магнийсодержащие вещества.

Серпентинит может быть получен из отходов или остатка или извлечен в виде руды. Осуществляют карбонизацию серпентинита, и она может включать один или более признаков, как описано дополнительно ниже, что дает поток карбоната магния относительно высокого качества, некоторые примеры которого могут называться в данном изобретении несквегонитом, для применения в процессе получения оксида магния. Следует отметить, что можно использовать различные формы магнезита, полученные при карбонизации серпентинита или подобных магнийсодержащих веществ, в качестве сырья для получения оксида магния, включая гидратированные формы магнезита, такие как дипингит ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), гидромагнезит ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), другие гидратированные формы карбоната магния, и их сочетания.

Несквегонит или другие магнезитовые вещества, полученные в ходе процесса карбонизации, можно использовать в качестве сырья для получения оксида магния путем обжига. В результате обжига образуется побочный продукт CO_2 , который можно использовать полностью или частично с получением дополнительного магнезита (например, несквегонита) и затем оксида магния.

Используемый на стадии карбонизации CO_2 можно получить в ходе отдельного промышленного процесса, в ходе процесса получения оксида магния в качестве CO_2 -содержащих выбросов (например, при горении углеводородов) и/или из по меньшей мере одной порции потока побочного продукта CO_2 на стадии обжига. Стадию карбонизации можно выполнять на участке получения оксида магния, особенно когда используемый для карбонизации CO_2 поступает исключительно с участка получения оксида магния. Альтернативно, стадию карбонизации можно выполнять вне участка при промышленном источнике выбросов, особенно когда используемый для карбонизации CO_2 поступает из источника выбросов.

Конечные продукты оксида магния могут изменяться в зависимости от желаемых характеристик и производственных условий, которые могут быть получены регулированием параметров обжига, такими как время и температура обжига.

Относительно фиг. 12, то на стадии 1 серпентинит может быть раздроблен и измельчен для достижения размера частиц приблизительно 200-1000, 300-700, 400-600 или приблизительно 500 мкм. Затем магнитную фракцию можно удалить путем механической обработки(ок). Можно использовать различные методики магнитного разделения. Главным образом магнитная фракция состоит из гематита/магнетита/хромита и представляет собой продукт с добавленной стоимостью, который можно дополнительно обработать и продать. Немагнитную фракцию можно подвергнуть дополнительному уменьшению размера с получением магнийсодержащего дисперсного вещества, имеющего размер частиц не более 75, не более 50, не более 40 или не более 30 мкм. Вторая стадия уменьшения размера улучшает последующую стадию карбонизации.

На стадии 2 немагнитный серпентинит термически активируют. Термическую активацию можно выполнить при температуре приблизительно 600-700°C в течение приблизительно 20-60 мин. Выбросы

CO₂, связанные с термической активацией, можно собрать для использования на стадии 3.

Термически активированный серпентинит затем используют в качестве сырья для стадии карбонизации (стадия 3). На ней термически активированный серпентинит подвергают взаимодействию с потоками CO₂, которые могут быть газовыми потоками, поступающими как со стадии 2, так и со стадии 4 в некоторых вариантах. Состав газа CO₂ может меняться, например, от 5 до 30%. В зависимости от стадии способа (например, запуск, установившийся режим, выключение и т.п.) содержание CO₂ в газе, который подается в установку для карбонизации, может изменяться. Например, при запуске содержание CO₂ может соответствовать содержанию газообразных продуктов горения приблизительно от 5 до 7%, например, тогда как в ходе процессов в установившемся режиме содержание CO₂ может соответствовать смеси источников газа CO₂, которая включает как газообразные продукты горения, так и повторно используемый газ побочного продукта CO₂, и таким образом может быть выше в диапазоне от 25 до 30%. Также следует отметить, что в некоторых вариантах содержание газа CO₂ может быть намного выше, например, в диапазоне от 50 до 100%, в случае использования относительно чистого CO₂, что может происходить в определенных вариантах, которые будут дополнительно обсуждаться ниже.

Все еще рассматривая стадию 3, первый побочный продукт стадии 3 представляет собой аморфную силикатную фазу, которую можно использовать в качестве наполнителя. Вторым продуктом стадии 3 является карбонат магния, который может подаваться для последующей обработки.

На стадии 4 карбонат магния подвергают обжигу с получением оксида магния. В некоторых вариантах осуществления все выбросы побочных продуктов CO₂ от обжига отводят для подачи на стадию 3.

Обращаясь теперь к фиг. 13, получение оксида магния с низким CO₂ может быть связано с установкой по улавливанию CO₂ на промышленном участке. В этом случае второй участок карбонизации (стадия 5) добавляют к ранее обсуждаемому варианту. Следуя этому подходу, можно увеличить получение оксида магния и можно сократить выбросы CO₂ от другой промышленной установки.

В некоторых вариантах осуществления способ облегчает получение оксида магния с низким содержанием углерода, полученного из магнийсодержащих веществ, таких как породы на основе серпентина (Mg₃Si₂O₅(OH)₄). CO₂ преобразуется в карбонаты при взаимодействии с магнием, содержащимся в структуре минерала. Согласно недавнему исследованию был разработан способ с применением серпентинита для обработки промышленного дымового газа, экономически содействующий сокращению выбросов CO₂, а также получению несквегонита с очень высокой степенью чистоты. В свою очередь, такой несквегонит можно использовать в качестве сырья для дополнительной обработки, чтобы выгодно получать оксид магния путем обжига. Кроме того, как карбонизацию серпентинита, так и декарбонизацию магнезита можно выполнять на одном промышленном участке для компенсации выбросов CO₂, происходящих от прокаливании магнезита. Результатом является способ получения оксида магния, когда CO₂ повторно используется в циклическом процессе и не выделяется в атмосферу, что дает низкий углеродный след и продукт оксида магния высокой чистоты.

В одном аспекте способы, описанные в данном изобретении, могут облегчить получение оксида магния без больших выбросов CO₂ в атмосферу при использовании природного месторождения магнезита в качестве сырья.

В другом аспекте способы, описанные в данном изобретении, могут облегчить включение выбросов CO₂ от обжига магнезита, чтобы получить больше оксида магния от карбонизации серпентинита. В другом аспекте способы, описанные в данном изобретении, могут облегчить получение оксида магния из магнезита, который был получен карбонизацией серпентинита при использовании промышленного CO₂, выделяемого на другом промышленном участке.

Ссылаясь на фиг. 14, следует отметить, что оборудование для получения оксида магния может включать две или более технологических линий, каждая из которых дает выходной поток MgO. На фиг. 14 показаны две линии, одна из которых является обычной линией, в которую подается магнезит из природных месторождений для обжига, и вторая линия, которая может быть новой или модифицированной, как проиллюстрировано, включает серпентин или подобное вещество в качестве сырья для карбонизации-осаждения, и полученный в результате MgCO₃ подают на обжиг, получая серпентин-производный MgO. Различные потоки CO₂ образуются при таком способе с несколькими линиями, и следует отметить, что один или более потоков CO₂ можно использовать на стадии карбонизации.

Потоки CO₂ могут быть собраны с помощью системы сбора CO₂, которая может включать трубы, компрессоры (при необходимости, в зависимости от условий давления), сосуды, вентили, конденсаторы, фильтры для частиц, теплообменник(и) для нагрева или охлаждения газа и/или устройство контроля. В зависимости от доступности и свойств (например, давление, температура, содержание CO₂) разных CO₂-содержащих потоков система сбора и входное устройство для подачи CO₂ в установку для карбонизации могут регулироваться. Система сбора и подачи CO₂ также может быть относительно простой сборки, которая плавно соединяет отвод газа установки для обжига с подводом газа установки для карбонизации.

В некоторых вариантах CO₂-содержащий газ прямо подается в установку для карбонизации без каких-либо существенных промежуточных установок; в таких вариантах могут быть предусмотрены рабочие условия в установках для обжига и карбонизации, чтобы облегчить прямую подачу CO₂ между двумя установками. Кроме того, когда существует избыток возможного CO₂, могут быть установки для хране-

ния, в которых удерживается CO_2 из одного или более выбранных источников.

Система сбора и подачи CO_2 может иметь различные конфигурации.

В некоторых вариантах система сбора и подачи CO_2 газонепроницаема, чтобы предотвратить утечки CO_2 . Система сбора и подачи CO_2 может включать линии сбора, гидравлически соединенные с установкой для обжига, и линию подачи CO_2 , гидравлически соединенную с установкой для карбонизации. Кроме того, может быть один или более компрессоров и/или теплообменников как часть системы сбора и подачи CO_2 для подачи CO_2 в установку для карбонизации при требуемых температурах и давлениях.

В некоторых вариантах осуществления установка для обжига представляет собой либо установку для обжига с прямым нагревом, либо установку для обжига с косвенным нагревом. При обжиге с прямым нагревом полученный в результате поток CO_2 -содержащего побочного продукта представляет собой поток газовой смеси, который включает CO_2 как от декарбонизации магнезита, так и горения топлива, а также другие газовые компоненты. Поток побочного продукта CO_2 из установки для обжига с прямым нагревом может иметь содержание CO_2 выше, чем выбросы от горения, и таким образом, может быть предпочтительнее по сравнению с выбросами CO_2 для подачи в установку для карбонизации. При обжиге с косвенным нагревом потоком CO_2 -содержащего побочного продукта является преимущественно CO_2 от декарбонизации магнезита, и вследствие высокого содержания CO_2 в нем вплоть до 100% он может быть предпочтительнее по сравнению с другими потоками CO_2 (например, выбросы CO_2 , поток CO_2 -содержащего побочного продукта от обжига с прямым нагревом из другой линии и т.п.) для подачи в установку для карбонизации, чтобы обеспечить большую движущую силу для реакций карбонизации и меньший размер оборудования (например, сосуд, трубы и т.п.).

Более того, CO_2 -содержащий поток, который используют в установке для карбонизации, можно выбрать, исходя из более высоких давлений, чтобы активировать реакцию карбонизации. Потоки CO_2 из источников выбросов горения могут иметь относительно низкие давления, тогда как поток CO_2 от обжига может иметь более высокие давления и, таким образом, может избирательно использоваться для стадии карбонизации. Например, так как процесс переходит от запуска в штатные режимы, возрастающее количество CO_2 от обжига можно использовать для карбонизации.

В некоторых вариантах осуществления сырье на основе карбоната магния, которое подается для обжига, состоит из несквегонита, который был получен согласно способу карбонизации-осаждения, описанному в данном изобретении. Обеспечивая несквегонит, имеющий предварительно определенное состояние гидратации, для обжига, можно улучшить контроль и обработку в ходе стадии обжига. Например, при подаче несквегонита на обжиг можно заранее определить нагрев, исходя из известного состояния гидратации несквегонита, тогда как карбонат магния, полученный из природных месторождений, может включать сложную смесь гидратированных веществ, для которой сложно достоверно определить энтальпию дегидратации.

Возможные способы связывания CO_2 при получении карбоната магния и объединения с получением магнезии.

Разные возможные способы могут быть использованы в сочетании с вышеописанными вариантами осуществления получения оксида магния для связывания диоксида углерода и получения карбонатов щелочноземельных металлов для применения в получении оксида магния.

В одном аспекте в сочетании со способом получения MgO предложен способ химического связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода, посредством получения карбонатов щелочноземельных металлов. Содержащий диоксид углерода газ может быть получен из промышленных выбросов, и он имеет различные концентрации диоксида углерода в соответствии с процессом получения, от которого получают выбросы.

В некоторых возможных аспектах в сочетании со способом получения MgO предложен способ химического связывания диоксида углерода из промышленных выбросов, которые содержат диоксид углерода, в ходе карбонизации при использовании силиката магния или кальция, предпочтительно силиката магния, или других магнийсодержащих веществ, являющихся источником магния. В некоторых аспектах можно осуществить аналогичный технологический процесс для получения CaO , применяя химическое связывание диоксида углерода из промышленных выбросов, которые содержат диоксид углерода, в ходе карбонизации кальцийсодержащих веществ.

Большая часть исследований до этого момента проводилась с использованием газов, содержащих 100 % CO_2 , что означает, что диоксид углерода из дымовой трубы промышленного оборудования сначала должен быть сконцентрирован при использовании отдельных технологий перед тем, как он будет подвергнут карбонизации. Это означает более дорогостоящий способ. В 2011 году опытная установка по улавливанию и связыванию углерода (CCS, carbon capture and sequestration) была открыта на углестигающем заводе в Соединенном Королевстве. Специалисты установили, что от 16 до 40% вырабатываемой энергии в итоге могло бы использоваться для улавливания и хранения углерода. Это соответствует 100 миллионам долларов установки, производящей электроэнергию стоимостью от 16 до 40 миллионов долларов.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут позволить увеличить экономическую эффективность, обеспечивая прибыль или затраты от нуля до 10% от стоимости произведенной энергии.

В некоторых возможных аспектах содержащий диоксид углерода газ преимущественно может представлять собой газовые выбросы, которые используются сразу же, как были получены из установки. Например, для цементного завода можно использовать газ, содержащий 18,2% CO_2 , 4,11% O_2 и 77,69% N_2 . Необязательно содержащий диоксид углерода газ, полученный из промышленных выбросов, может иметь концентрацию диоксида углерода от приблизительно 1 до приблизительно 30%.

Варианты осуществления настоящего изобретения также могут позволить получить ценные карбонаты щелочноземельных металлов из вещества, содержащего щелочноземельный металл.

Следует понимать, что вещество, содержащее щелочноземельный металл, может быть природным веществом, которое может включать, но не ограничиваясь этим, минералы, содержащие щелочноземельный металл, и породы, содержащие щелочноземельный металл. Например, вещество, содержащее щелочноземельный металл, может включать серпентин или серпентинит. Необязательно вещество, содержащее щелочноземельный металл, может включать породы, содержащие щелочноземельный металл, такие как песчаник, гранит, анортозит, базальт, серпентинит, перидотит, серпентизированный перидотит, офиолитовые породы, мафические и ультрамафические породы (содержащие минералы Mg и Fe), породы, содержащие более 10% пироксена и перидота, или их сочетание. Необязательно вещество, содержащее щелочноземельный металл, может также включать филлосиликат. Дополнительно необязательно вещество, содержащее щелочноземельный металл, может включать минералы, содержащие щелочноземельный металл, такие как силикат кальция, силикат магния, полевошпат, плагиоклазовый полевошпат (андезин), перидот (оливиновый песок), пироксен (энстатит оливиновый песок), оливин, серпентин (как в минеральной группе, содержащей антигорит, хризотил, лизардит), волластонит, оксид кальция (CaO), оксид магния или периклаз (MgO), брусит ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), мафические и ультрамафические минералы (содержащие Mg и Fe), или их сочетание.

В некоторых вариантах осуществления магнийсодержащее вещество, которое используется в качестве сырья, может включать магнийсодержащий эвапорит. Эвапорит представляет собой осадочное месторождение осажденных минералов, образующееся при испарении водного раствора. В некоторых случаях эвапоритовые вещества могут содержать повышенные концентрации магния. Эвапорит может включать магнийсодержащее дисперсное вещество, которое находится в относительно реакционноспособном состоянии отчасти благодаря малому размеру его частиц. Эвапорит можно получить в испарительных установках, используемых в различных отраслях промышленности. С другой стороны, эвапорит можно получить из природных пород, образующихся при испарении прежних морей или соленых озер. Эвапориты могут включать магний в форме различных магниевых солей хлоридов, сульфатов и/или карбонатов, таких как карналлит ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), каинит ($\text{KMg}(\text{SO}_4)\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), кизерит ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), лангбейнит ($\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$), полигалит ($\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и магнезит (MgCO_3). В зависимости от химической природы и физической структуры эвапоритового вещества его можно предварительно обработать, используя термические и/или химические стадии, для образования предварительно обработанного магнийсодержащего вещества для использования на стадии карбонизации.

Вещество, содержащее щелочноземельный металл, также может быть получено из различных промышленных отходов или остатков, таких как шлак, цементные отходы, отходы горнодобывающей промышленности и отходы от переработки полезных ископаемых, которые доступны без необходимости добычи из геологических образований. Необязательно шлак может включать сталеплавильный шлак, сталеплавильный отработанный кирпич MgO или их сочетание. Необязательно цементные отходы могут включать пыль из вращающейся печи (СКД, cement kiln dust - пыль из цементной печи, LKD, lime kiln dust - пыль из печи для обжига извести), бракованный цемент, бракованный бетон, отходы строительства и демонтажа, бетон с заполнителями, бетонный камень, бетон, красный кирпич или их сочетание. Необязательно отходы от добычи и переработки полезных ископаемых могут включать остаток от добычи филлосиликата, остаток от добычи хризотила, серпентин (как в скелете породы, содержащей руду) или их сочетание.

Относительно фиг. 1, в некоторых вариантах осуществления способ включает стадию подачи газа 2, содержащего диоксид углерода, и водную взвесь 4, включающую содержащее щелочноземельный металл вещество 6 и воду 8, в установку для карбонизации 10. Установка для карбонизации 10 может включать подвод газа 12 для приема газа 2, содержащего диоксид углерода, и подвод взвеси 14 для приема водной взвеси 4. Затем способ включает стадию приведения в контакт газа 2, содержащего диоксид углерода, с водной взвесью 4 в установке для карбонизации 10 для карбонизации по меньшей мере одной порции щелочноземельного металла. Получают газ 16, обедненный диоксидом углерода, и частично насыщенную карбонатами взвесь 18, содержащую осаждаемые карбонаты. Также способ может включать стадию удаления газа 16, обедненного диоксидом углерода, из установки для карбонизации 10 через отвод газа 17 и насыщенную карбонатами взвесь 18 через отвод взвеси 19. В некоторых вариантах осуществления насыщенная карбонатами взвесь содержит по существу неосажденные карбонаты, и как есть выводится из установки для карбонизации 10. Затем насыщенную карбонатами взвесь 18 разделяют в сепарационной установке 20 на твердую фазу 24 и водную фазу 28, содержащую осаждаемые карбонаты, которые соответственно выводятся из сепарационной установки 20 через отвод для твердого вещества 26

и отвод для жидкости 30. В некоторых вариантах осуществления водная фаза 28 содержит по существу неосажденные карбонаты, и как есть выводится из сепарационной установки 20. Затем водную фазу 28 можно подать в установку для осаждения 32 через подвод жидкости 33. Способ может включать осаждение по меньшей мере одной порции осаждаемых карбонатов водной фазы 28 в виде карбонатов щелочноземельных металлов в установке для осаждения 32, тем самым образуя осадочную взвесь 38, включающую карбонаты щелочноземельных металлов, которая выводится из установки для осаждения 32 через отвод взвеси 40.

Следует понимать, что водная взвесь 4, содержащая вещество, содержащее щелочноземельный металл, 6, может образовываться до подачи в установку для карбонизации 10, как показано на фиг. 2, но также может образовываться непосредственно в установке для карбонизации 10 в ходе подачи по отдельности вещества, содержащего щелочноземельный металл, 6 и воды 8 в установку для карбонизации 10.

В некоторых возможных аспектах способ может дополнительно включать стадию, на которой перемешивают водную взвесь в установке для карбонизации, чтобы увеличить контакт между содержащим диоксид углерода газом и веществом, содержащим щелочноземельный металл. Перемешивание можно обеспечить перемешивающим устройством, таким как мешалка, имеющая скорость вращения от приблизительно 400 до приблизительно 800 об/мин, необязательно от приблизительно 500 до приблизительно 650 об/мин. Следует понимать, что стадия перемешивания не ограничивается механическим перемешиванием и может включать различные известные и подходящие способы перемешивания, такие как псевдооживление газа.

В некоторых возможных аспектах способ также может включать перемешивание водной фазы в установке для осаждения для усиления осаждения карбонатов щелочноземельных металлов.

В некоторых возможных аспектах вещество, содержащее щелочноземельный металл, может быть смешано с водой для получения водной взвеси, имеющей плотность пульпы (также называемой массовой концентрацией общего количества твердых веществ на литр взвеси) от 25 до 300 г/л. Низкая плотность пульпы может способствовать растворению щелочноземельного металла в водной взвеси. Влияние плотности водной взвеси на эффективность удаления диоксида углерода показано в примере 2.

В некоторых возможных аспектах способ может включать термическую предварительную обработку вещества, содержащего щелочноземельный металл, для выполнения дегидроксилирования. Действительно вещество, содержащее щелочноземельный металл действительно может включать нежелательную воду, которую по меньшей мере частично удаляют с помощью термической предварительной обработки. В ходе термической предварительной обработки вода испаряется, и кристаллическая структура вещества, содержащего щелочноземельный металл, можно изменить на химически более активную структуру, что позволяет лучше растворить щелочноземельный металл в водной фазе. Необязательно способ может включать нагрев вещества, содержащего щелочноземельный металл, при температуре предварительной обработки от приблизительно 500 до приблизительно 800°C в течение времени предварительной обработки от приблизительно 10 до приблизительно 60 минутами. Необязательно температура предварительной обработки может находиться от приблизительно 600 до приблизительно 700°C, и время предварительной обработки может составлять от приблизительно 15 до приблизительно 40 мин. Необязательно температура предварительной обработки может быть достаточно низкой во избежание перекристаллизации вещества, содержащего щелочноземельный металл. Влияние термической предварительной обработки на эффективность удаления диоксида углерода показано в примере 3.

В некоторых возможных аспектах способ может включать дробление и/или измельчение вещества, содержащего щелочноземельный металл, для увеличения поверхности, доступной для контакта с содержащим диоксид углерода газом, и способствования карбонизации щелочноземельного металла. Необязательно вещество, содержащее щелочноземельный металл, можно дробить и/или измельчать таким образом, чтобы средний размер частиц вещества составлял от приблизительно 10 до приблизительно 45 мкм, и таким образом, чтобы по меньшей мере приблизительно 90% твердых частиц имело размер от приблизительно 0 до приблизительно 75 мкм. Необязательно стадию дробления и/или измельчения можно выполнять перед стадией термической предварительной обработки, поскольку дегидроксилированию может способствовать использование частиц вещества уменьшенного размера.

Относительно фиг. 3, способ может включать дробление и/или измельчение вещества, содержащего щелочноземельный металл, 6 в дробильной/измельчающей установке 42 для уменьшения размера частиц вещества, содержащего щелочноземельный металл. Затем раздробленное и/или растертое вещество 6 подается в установку для термической предварительной обработки 44 для его дегидроксилирования, как упомянуто выше. Воду 8 и предварительно обработанное вещество 6 можно подать в установку для карбонизации 10 по отдельности, чтобы образовалась водная взвесь внутри установки для карбонизации 10 для контакта с подаваемым газом 2, содержащим диоксид углерода, с образованием водной взвеси 18, содержащей осаждаемые карбонаты, и газ 16, обедненный диоксидом углерода. Водную взвесь 18 подают в сепарационную установку 20 для разделения ее на водную фазу 28, содержащей осаждаемые карбонаты, и твердую фазу 24. По меньшей мере одна порция 25 твердой фазы 24 может быть повторно использована в качестве по меньшей мере одной порции вещества щелочноземельного металла 6 в дро-

бильной/измельчающей установке 42. По меньшей мере часть водной фазы 28, содержащей осаждаемые карбонаты, подают в установку для осаждения 32 для осаждения карбонатов щелочноземельных металлов и получения осадочной взвеси 38. Осадочную взвесь 38 можно подать во вторую сепарационную установку 46 для разделения на поток карбонатов щелочноземельных металлов 50 и поток жидкости 48. По меньшей мере одна порция потока жидкости 48 может быть повторно использована в качестве по меньшей мере одной порции воды 8 в установке для карбонизации 10.

В некоторых возможных аспектах стадию осаждения карбонатов щелочноземельных металлов можно выполнить при температуре осаждения от приблизительно 20 до приблизительно 80°C, и времени осаждения от приблизительно 0,5 до приблизительно 12 часами с или без перемешивания.

В некоторых возможных аспектах осадки карбонатов щелочноземельных металлов, полученные согласно настоящему способу, имеют чистоту от 90 до 99,9%.

В некоторых возможных аспектах содержащий диоксид углерода газ можно непрерывно подавать в установку для карбонизации, сохраняя при этом определенную или требуемую эффективность удаления диоксида углерода (см. пример 5). Необязательно способом можно управлять в соответствии с рядом периодических процессов, включая обратные потоки для увеличения скорости карбонизации твердых веществ (см. пример 6). Например, вариант способа повторного использования можно выполнять таким образом, что одна и та же порция содержащего щелочноземельный металл вещества будет приводиться в контакт с несколькими порциями газа, содержащего диоксид углерода, до осаждения в виде карбонатов щелочноземельных металлов.

В некоторых возможных аспектах способ может включать повторное использование твердой фазы, отделенной от насыщенной карбонатами взвеси с получением новой порции водной взвеси для приведения в контакт с газом, содержащим диоксид углерода, в установке для карбонизации. Следует отметить, что повторное использование также может называться в данном изобретении рециркуляцией.

Фиг. 4 демонстрирует схему способа с разными стадиями, связанными с повторным использованием различных потоков жидкостей и твердых веществ согласно возможным вариантам осуществления настоящего изобретения. Множество потоков действительно может повторно использоваться в установке для карбонизации, при этом газ, содержащий диоксид углерода, подается непрерывно или в периодическом режиме в установку для карбонизации.

Подача газа в периодическом режиме.

В некоторых возможных аспектах газ, содержащий диоксид углерода, можно подавать в установку для карбонизации порциями газа, содержащего диоксид углерода.

Стадия 1.

Первую порцию газа, содержащего диоксид углерода, называемого "газ 1", приводят в контакт в установке для карбонизации в течение определенного времени с водной взвесью, полученной в результате сочетания "твердого вещества 1" и "жидкости". Например, водная взвесь может иметь массовую концентрацию вещества, содержащего щелочноземельный металл, 150 г/л, и водная взвесь может контактировать с каждой порцией газа, содержащего диоксид углерода, в течение 30 мин.

После каждой 30-минутной стадии приведения в контакт полученную насыщенную карбонатами взвесь разделяют на твердую фазу и водную фазу. Следует отметить, что первую порцию газа "газ 1" можно представить в виде двух подпорций, например чтобы удовлетворить ограничениям давления. Следовательно, две подпорции газа, каждая из которых контактирует с твердым веществом в течение 15 минут, можно подавать в установку для карбонизации последовательно.

Баланс масс между газом, содержащим диоксид углерода, и газом, обедненным диоксидом углерода, показал, что максимум 5,91 г CO₂/л газа (1,64 г С/л газа) обрабатывалось после каждой 30-минутной стадии приведения в контакт.

Стадия 2.

Затем водную фазу подают в установку для осаждения и после того, как в достаточной мере карбонаты щелочноземельных металлов выпадут в осадок, осадочную взвесь разделяют на поток твердых веществ и водный поток.

Стадия 3.

Затем водный поток повторно используют в качестве "жидкости" в установке для карбонизации.

Три вышеупомянутых стадии 1-3 повторяют еще два раза для приведения в контакт со второй и третьей порциями газа, содержащего диоксид углерода, называемыми "газ 2" и "газ 3".

После приведения в контакт с "газом 2" и "газом 3" твердую фазу "твердое вещество 1" сушат, измельчают и нагревают в установке для предварительной обработки, как описано ранее.

Стадии 1-3 выполняют еще три раза с измельченной и нагретой твердой фазой "твердое вещество 1" для приведения в контакт последовательно с "газом 4", "газом 5" и "газом 6". После приведения в контакт с шестью порциями газа, содержащего диоксид углерода ("газ 1" до "газ 6") твердая фаза достигает пределов своей реакционной способности.

Все вышеописанные стадии способа можно затем повторить с новой порцией вещества, содержащего щелочноземельный металл.

Подача газа в непрерывном режиме.

В некоторых других возможных аспектах поток газа, содержащего диоксид углерода, может подаваться непрерывно в установку для карбонизации. При периодическом режиме контролируемым ключевым параметром было время контактирования порции газа, содержащего диоксид углерода. С другой стороны, при непрерывном режиме контролируемым ключевым параметром является количество растворенного диоксида углерода в водной взвеси.

Согласно вышеприведенному примеру процесса в периодическом режиме максимум 5,91 г $\text{CO}_2/\text{л}$ газа (1,64 г $\text{C}/\text{л}$ газа) обрабатывают после каждой 30-минутной стадии приведения в контакт. С учетом того, что весь обрабатываемый диоксид углерода растворяется в водной взвеси, максимальная концентрация растворенного диоксида углерода не должна превышать приблизительно 5,0 г $\text{C}/\text{л}$. При значениях, выше этого, может происходить осаждение внутри реактора.

Следовательно, в непрерывном режиме после того, как измерена концентрация растворенного диоксида углерода 5,0 г $\text{C}/\text{л}$ в водной взвеси, водную взвесь удаляют из установки для карбонизации и разделяют на твердую фазу и водную фазу. Затем водную фазу подают в установку для осаждения.

Необязательно в зависимости от скорости осаждения карбонатов щелочноземельных металлов в установке для осаждения определенный объем воды может подаваться в водную фазу для поддержания низкой концентрации растворенного диоксида углерода в рециркулируемой водной фазе по ходу стадий.

Например, после того, как суммарное количество обработанного диоксида углерода достигает 16,04 г $\text{CO}_2/\text{л}$ газа (4,4 г $\text{C}/\text{л}$ газа), отделенную твердую фазу можно высушить, измельчить и нагреть перед дополнительным повторным использованием.

Следовательно, стадии 1-3 можно выполнить снова последовательно, следуя тому же варианту, что описан выше, чтобы достигнуть суммарного количества обработанного диоксида углерода приблизительно 27,28 г $\text{CO}_2/\text{л}$ газ (7,47 г $\text{C}/\text{л}$ газ) для общей серии из трех стадий 1-3. Затем, можно использовать новую порцию твердого вещества, содержащего щелочноземельный металл.

Следует понимать, что любой из вышеупомянутых аспектов каждого способа, способа, системы, применения и вещества можно объединить с любым другим аспектом, если только два аспекта явно не могут быть объединены из-за их взаимной исключительности. Например, различные рабочие стадии способов, описанных в данном изобретении выше, в данном изобретении ниже и/или в прилагаемых фигурах, можно объединить с любым способом, системой или описаниями применений, встречающимися в данном изобретении и/или согласно прилагаемой формуле изобретения.

Также следует понимать, что различные значения параметров, полученные и/или описанные в любом из примеров, таблиц и описании в данном изобретении, могут рассматриваться как максимальные, минимальные или промежуточные значения, и что различные диапазоны могут быть получены из этих максимальных, минимальных или промежуточных значений, как описано в данном изобретении или в прилагаемых фигурах и формуле изобретения.

В некоторых вариантах осуществления способ получения MgO включает предшествующий способ получения карбоната магния и связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода. Способ может включать: приведение газа, содержащего диоксид углерода, в контакт с водной взвесью, содержащей вещество, содержащее щелочноземельный металл, в установке для карбонизации для карбонизации по меньшей мере одной порции щелочноземельного металла с получением газа, обедненного диоксидом углерода, и насыщенной карбонатами взвеси, включающей осаждаемые карбонаты и по существу без осажденных карбонатов щелочноземельных металлов; удаление насыщенной карбонатами взвеси из установки для карбонизации и разделение насыщенной карбонатами взвеси на водную фазу, содержащую карбонаты, и твердую фазу; и подачу водной фазы в установку для осаждения и осаждение карбонатов щелочноземельных металлов в установке для осаждения с получением осадочной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления водная фаза может содержать осаждаемые карбонаты и может быть по существу не содержать осажденных карбонатов щелочноземельных металлов.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать стадию, на которой перемешивают водную взвесь, содержащую вещество, содержащее щелочноземельный металл, на стадии приведения в контакт в установке для карбонизации. Необязательно способ также может включать стадию, на которой перемешивают водную фазу на стадии осаждения карбонатов щелочноземельных металлов в установке для осаждения.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать стадию, на которой смешивают вещество, содержащее щелочноземельный металл, с водой до стадии приведения в контакт для растворения ионов щелочноземельного металла в водной фазе и образования водной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать стадию, на которой смешивают вещество, содержащее щелочноземельный металл, с водой одновременно со стадией приведения в контакт для растворения ионов щелочноземельного металла в водной фазе и образования водной взвеси внутри установки для карбонизации.

Необязательно стадию смешивания можно выполнять таким образом, чтобы образовывалась водная взвесь, имеющая массовую концентрацию от 25 до 300 г/л в граммах от общего количества твердых веществ на литр водной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать разделение осадоч-

ной взвеси на поток твердых веществ, содержащий карбонаты щелочноземельных металлов, и водный поток.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать сушку потока твердых веществ, содержащего карбонаты щелочноземельных металлов.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать повторное использование по меньшей мере одной порции водного потока в установке для карбонизации.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать повторное использование по меньшей мере одной порции твердой фазы в установке для карбонизации в качестве по меньшей мере одной порции вещества, содержащего щелочноземельный металл, для контакта с газом, содержащим диоксид углерода.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать термическую предварительную обработку вещества, содержащего щелочноземельный металл, для его дегидроксилирования с получением предварительно обработанного вещества, содержащего щелочноземельный металл, для контакта с газом, содержащим диоксид углерода. Необязательно стадия термической предварительной обработки вещества, содержащего щелочноземельный металл, может включать нагрев вещества, содержащего щелочноземельный металл, при температуре от приблизительно 500 до приблизительно 800°C во время предварительной обработки, составляющей приблизительно от 10 до приблизительно 60 минут. Необязательно температура может составлять от приблизительно 600 до приблизительно 700°C, и время предварительной обработки может составлять от приблизительно 15 до приблизительно 40 мин.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать дробление и/или измельчение вещества, содержащего щелочноземельный металл, до стадии приведения в контакт с газом, содержащим диоксид углерода. Необязательно стадию дробления и/или измельчения можно выполнять до стадии термической предварительной обработки вещества, содержащего щелочноземельный металл. Дополнительно необязательно стадию дробления и/или измельчения можно выполнить для получения твердых частиц, имеющих медианный размер от приблизительно 10 до приблизительно 45 мкм, и таким образом для получения 90% твердых частиц, имеющих размер от приблизительно 0 до приблизительно 75 мкм.

В некоторых вариантах осуществления газ, содержащий диоксид углерода, может быть получен из промышленных выбросов и может иметь концентрацию диоксида углерода от 1 до 30%.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать контроль по меньшей мере либо температуры карбонизации, либо скорости перемешивания, либо давления карбонизации в установке для карбонизации.

Необязательно стадию приведения в контакт в установке для карбонизации можно выполнять при температуре карбонизации от приблизительно 10 до приблизительно 40°C. Необязательно температура карбонизации может находиться от приблизительно 20 до приблизительно 30°C.

Необязательно стадию приведения в контакт в установке для карбонизации можно выполнять при давлении карбонизации от приблизительно 1 до приблизительно 20 бар. Необязательно давление карбонизации может составлять от приблизительно 2 до приблизительно 12 бар.

Необязательно скорость перемешивания в установке для карбонизации может составлять от приблизительно 400 до приблизительно 800 об/мин, и дополнительно необязательно от приблизительно 500 до приблизительно 650 об/мин.

В некоторых вариантах осуществления стадию осаждения можно выполнять при температуре осаждения от приблизительно 20 до приблизительно 80°C в течение времени осаждения от приблизительно 0,5 до приблизительно 12 часами. Необязательно стадия осаждения может включать перемешивание водной фазы.

В некоторых вариантах осуществления вещество, содержащее щелочноземельный металл, может включать по меньшей мере одно из: песчаника, гранита, анортозита, базальта, серпентинита, перидотита, серпентинизованного перидотита, офиолитовых пород, мафических и ультрамафических пород, пород, содержащих более 10% пироксена и перидота, силиката кальция, силиката магния, полевого шпата, плагиоклазового полевого шпата, перидота, пироксена, оливина, серпентина, волластонита, оксида кальция, оксида магния, брусита, мафического и ультрамафических минералов, сталеплавильного шлака, сталеплавильного отработанного кирпича MgO, пыли из вращающейся печи (СКД, LKD), бракованного цемента, бракованного бетона, отхода строительства и демонтажа, бетона с заполнителями, бетонного камня, бетона, красного кирпича, остатка от добычи филлосиликата и/или остатка от добычи хризотила.

В некоторых вариантах осуществления щелочноземельный металл может включать кальций или магний.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать непрерывную подачу газа, содержащего диоксид углерода, в установку для карбонизации. Необязательно способ может включать контроль или регулирование максимального количества растворенного диоксида углерода в насыщенной карбонатами взвеси, получаемой в установке для карбонизации, максимальное количество растворенного диоксида углерода выбирается для уменьшения или предотвращения осаждения карбонатов щелочноземельных металлов в установке для карбонизации. Необязательно максимальное количест-

во растворенного диоксида углерода может составлять не более 5 г/л.

В некоторых вариантах осуществления газ, содержащий диоксид углерода, может включать множество порций газа, содержащего диоксид углерода, способ включает: подачу по меньшей мере одной порции газа, содержащего диоксид углерода, в установку для карбонизации; приведение водной взвеси в контакт с по меньшей мере одной порцией газа, содержащего диоксид углерода, в установке для карбонизации для получения насыщенной карбонатами взвеси; удаление насыщенной карбонатами взвеси из установки для карбонизации и разделение насыщенной карбонатами взвеси на водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты, и твердую фазу; и повторное использование твердой фазы в установке для карбонизации и подачу воды в установку для карбонизации для образования новой порции водной взвеси; приведение новой порции водной взвеси в контакт с другой порцией газа, содержащего диоксид углерода, для получения насыщенной карбонатами взвеси.

В некоторых вариантах осуществления газ, содержащий диоксид углерода, можно подавать в установку для карбонизации в виде множества порций газа, содержащего диоксид углерода, способ включает: приведение водной взвеси в контакт с по меньшей мере одной порцией газа, содержащего диоксид углерода, в установке для карбонизации для получения насыщенной карбонатами взвеси; удаление насыщенной карбонатами взвеси из установки для карбонизации и разделение насыщенной карбонатами взвеси на водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты, и твердую фазу; и подачу водной фазы, содержащей осаждаемые карбонаты, в установку для осаждения, осаждение карбонатов щелочноземельных металлов в установке для осаждения с получением осадочной взвеси, и разделение осадочной взвеси на поток твердых веществ, содержащий карбонаты щелочноземельных металлов, и водный поток; повторное использование твердой фазы и водного потока в установке для карбонизации с получением новой порции водной взвеси, и приведение новой порции водной взвеси в контакт с другой порцией газа, содержащего диоксид углерода, для получения насыщенной карбонатами взвеси.

Необязательно способ может включать подачу воды в установку для карбонизации в качестве добавочного потока новой порции водной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления стадию приведения в контакт в установке для карбонизации можно выполнять в течение максимального времени контактирования с газом, максимальное время контактирования с газом контролируют или регулируют для снижения или предотвращения осаждения карбонатов щелочноземельных металлов в установке для карбонизации. Необязательно максимальное время контактирования с газом может составлять от приблизительно 1 до приблизительно 60 мин.

В некоторых вариантах осуществления способ также может включать дробление и/или измельчение твердой фазы до стадии повторного использования в установке для карбонизации с получением новой порции водной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода. Способ включает: приведение газа, содержащего диоксид углерода, в контакт с водной взвесью, содержащей магнезийское вещество, в установке для карбонизации при температуре карбонизации от приблизительно 10 до приблизительно 40°C и давлении карбонизации от приблизительно 1 до приблизительно 20 бар, для карбонизации по меньшей мере одной порции магнезия с получением газа, обедненного диоксидом углерода, и насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты и по существу не содержащей осажденные карбонаты магнезия.

В некоторых вариантах осуществления способ может включать: удаление насыщенной карбонатами взвеси из установки для карбонизации и разделение насыщенной карбонатами взвеси на твердую фазу и водную фазу, включающую осаждаемые карбонаты и по существу не содержащую осажденные карбонаты магнезия; и подачу водной фазы в установку для осаждения и осаждение карбонатов магнезия в установке для осаждения с получением осадочной взвеси, включающей осажденные карбонаты магнезия.

В некоторых вариантах осуществления способ может дополнительно включать разделение осадочной взвеси на поток твердых веществ, содержащий осажденные карбонаты магнезия, и водный поток.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода, согласно которому приводят в контакт газ, содержащий диоксид углерода, с веществом, содержащим щелочноземельный металл, по существу в сухой форме по меньшей мере в одной установке для карбонизации при температуре карбонизации от приблизительно 200 до приблизительно 500°C и давлении карбонизации от приблизительно 1 до приблизительно 20 бар для его карбонизации с получением карбонатов и газом, обедненного диоксидом углерода.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ связывания диоксида углерода из промышленных выбросов, согласно которому приводят в контакт промышленные выбросы с веществом силиката магнезия во влажной или сухой форме с получением газа, обедненного диоксидом углерода и карбонизированного вещества силиката магнезия.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ изготовления карбонатов щелочноземельных металлов, включающий: стадию приведения в контакт, на которой промышленные выбросы, содержащие диоксид углерода, приводят в контакт с водной взвесью, содержащей вещество, содержащее щелочноземельный металл для получения газа, обедненного диоксидом углерода, и поток карбонатов щелочноземельных металлов по существу не содержащий осажденные карбонаты щелочноземельных

металлов; стадию осаждения, на которой карбонаты щелочноземельных металлов осаждают из потока карбонатов щелочноземельных металлов, тем самым получая осадочную взвесь; и стадию разделения, на которой осадочную взвесь разделяют на осажденные карбонаты щелочноземельных металлов и водную фазу.

В некоторых вариантах осуществления предложен способ изготовления карбонатов щелочноземельных металлов, включающий: стадию приведения в контакт, на которой промышленные выбросы, содержащие диоксид углерода, приводят в контакт с водной взвесью, содержащей вещество, содержащее щелочноземельный металл для получения газа, обедненного диоксидом углерода, и поток карбонатов щелочноземельных металлов, содержащий осаждаемые карбонаты и по существу не содержащий осажденные карбонаты щелочноземельных металлов; первую стадию разделения, на которой поток карбонатов щелочноземельных металлов разделяют на твердую фазу и водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты и по существу не содержащую осажденных карбонатов щелочноземельных металлов; стадию повторного использования, на которой твердую фазу повторно используют на стадии карбонизации в качестве по меньшей мере одной порции вещества, содержащего щелочноземельный металл; стадию осаждения, на которой карбонаты щелочноземельных металлов осаждают из водной фазы, тем самым получая осадочную взвесь, содержащую осажденные карбонаты щелочноземельных металлов; и стадию разделения, на которой осадочную взвесь разделяют на осажденные карбонаты щелочноземельных металлов и водную фазу.

В некоторых вариантах осуществления предложена система связывания диоксида углерода для связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода. Система включает: по меньшей мере одну установку для карбонизации, имеющую: подвод газа для приема газа, содержащего диоксид углерода, подвод взвеси для приема водной взвеси, содержащей вещество, содержащее щелочноземельный металл, карбонизационный сосуд для карбонизации по меньшей мере одной порции щелочноземельного металла водной взвеси с диоксидом углерода с получением газа, обедненного диоксидом углерода, и насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты и по существу не содержащей осажденных карбонатов щелочноземельных металлов, отвод взвеси для отведения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты, и отвод газа для отведения газа, обедненного диоксидом углерода, сепарационную установку, имеющую: подвод взвеси для приема насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты, из отвода взвеси по меньшей мере одной установки для карбонизации, разделительную камеру для разделения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты, на твердую фазу и водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты и по существу не содержащую осажденных карбонатов щелочноземельных металлов, отвод жидкости для отведения водной фазы, и отвод твердых веществ для отведения твердой фазы; и установку для осаждения, имеющую: подвод взвеси для приема водной фазы, содержащей осаждаемые карбонаты, из отвода жидкости сепарационной установки, осадительную камеру для осаждения карбонатов щелочноземельных металлов и образования осадочной взвеси, и отвод жидкости для отведения осадочной взвеси.

В некоторых вариантах осуществления предложено применение магнийсодержащего вещества в форме водной взвеси для приведения в контакт и связывания диоксида углерода из газа, содержащего диоксид углерода, при температуре от приблизительно 20 до приблизительно 30°C и давлении от приблизительно 2 до приблизительно 12 бар для образования карбонатов магния.

В некоторых вариантах осуществления предложено применение остатка от добычи филлосиликата для связывания диоксида углерода из промышленных выбросов и получения карбонатов магния. Необязательно остаток от добычи филлосиликата включает по меньшей мере одно вещество из лизардита, антигорита, брусита, оксида железа, оксида хрома и хризотила.

В некоторых вариантах осуществления предложен осажденный карбонат кальция или магния (ОКК или ОКМ), полученный в результате приведения в контакт вещества, содержащего кальций или магний, во влажной форме с диоксидом углерода из промышленных выбросов в установке для карбонизации для образования насыщенной карбонатами взвеси, и осаждении карбоната кальция или магния из насыщенной карбонатами взвеси в установке для осаждения.

В некоторых вариантах осуществления предложен осажденный карбонат кальция или магния (ОКК или ОКМ), содержащий по меньшей мере 95 мас.% карбоната кальция или магния в сухой форме или гидратированной форме.

Также замечено, что более высокое содержание CO_2 в отработанном газе обжига предпочтительно для реакции карбонизации и увеличит эффективность способа в целом. Обжиг можно отрегулировать для получения более высокого содержания CO_2 , в некоторых случаях, например, при работе установки для обжига при определенных рабочих условиях и использовании определенных реагентов. Например, в некоторых вариантах осуществления установку для обжига можно отрегулировать для увеличения концентрации CO_2 в выбросах, обеспечивая полное сгорание природного газа или другого используемого горючего вещества, что может включать подачу избыточного предварительно нагретого воздуха, что содействует полному сгоранию и снижению потребления горючего вещества. Скоростью подачи воздуха можно контролировать таким образом и установку для обжига можно закрыть подходящим образом, чтобы свести к минимуму введение других газов, которые могли бы разбавить систему. Кроме того, ус-

тановку для обжига можно отрегулировать, увеличивая содержание кислорода в газопроводе, тем самым снижая концентрацию других газовых компонентов, которые могут находиться в воздухе. Можно обеспечить уровень кислорода и/или установку для обжига можно иным образом отрегулировать, чтобы полученные в результате выбросы имели содержание CO_2 выше, чем содержание CO_2 в дымовом газе, подаваемом в установку для карбонизации. Таким образом, повторное использование CO_2 от обжига обратно на стадии карбонизации может увеличить концентрацию CO_2 и тем самым повысить общую эффективность. В некоторых примерах концентрация CO_2 в повторно используемых выбросах может быть по меньшей мере на 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 или 50% больше, чем концентрация CO_2 в дымовом газе.

В некоторых вариантах осуществления способ включает приведение CO_2 -содержащего потока в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния; обжиг карбоната магния с получением CO_2 -содержащего газового побочного продукта и магнезии, CO_2 -содержащий газовый побочный продукт имеет более высокую концентрацию CO_2 , чем CO_2 -содержащий поток; и повторное использование по меньшей мере одной порции CO_2 -содержащего газового побочного продукта для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом с получением карбоната магния. CO_2 -содержащий поток может быть из первого источника выбросов и может представлять собой дымовой газ (например, от электрической станции или другого источника). CO_2 -содержащий поток может иметь, например, содержание CO_2 от 10 до 20 мас.%. CO_2 -содержащий газовый побочный продукт может иметь более высокое содержание CO_2 , которое может быть на несколько процентных пунктов выше (например, от 12 до 22 мас.% CO_2) или может быть существенно выше (например, 30, 40, 50 мас.% или даже близко к 100 мас.% CO_2).

Замечено, что предпочтительный процесс состоит в обеспечении CO_2 -содержащего газового побочного продукта с содержанием CO_2 , которое на определенную долю (например, от 10 до 50%) больше, чем содержание CO_2 в CO_2 -содержащем потоке. Например, CO_2 -содержащий поток может иметь содержание CO_2 приблизительно 15 мас.%, тогда как CO_2 -содержащий газовый побочный продукт может иметь содержание CO_2 приблизительно 18 мас.% (что на 20% выше). Этого можно достигнуть без дополнительных расходов на использование установки для обжига с чистым кислородом, а скорее с использованием контроля над рабочими параметрами установки для обжига.

Тем не менее следует отметить, что в альтернативных вариантах осуществления можно выполнить процесс так, что повторно используемый CO_2 -содержащий газовый побочный продукт имеет более низкую концентрацию CO_2 по сравнению с изначальным CO_2 -содержащим дымовым газом, подаваемым на стадию карбонизации, или обычно сходное содержание CO_2 . При относительно непостоянных содержаниях CO_2 в двух газовых потоках относительные доли могут быть модифицированы для получения постоянного содержания CO_2 , подаваемого в установку для карбонизации, или два потока можно подавать на карбонизацию без контроля концентрации, что дает в результате переменное содержание CO_2 в реагирующем газе. Также замечено, что два CO_2 -содержащих потока можно подавать в один и тот же карбонизационный сосуд через разные загрузочные подводы или один и тот же загрузочный подвод, или их можно подавать в разные карбонизационные сосуды, или их сочетание.

Примеры и эксперименты

Исследование 1. Влажная карбонизация остатков от добычи хризотила.

Первую серию экспериментов проводят, используя остатки от добычи хризотила, состоящие из lizardita, антигорита, брусита, оксидов железа, оксидов хрома и низкого содержания хризотила, чтобы оптимизировать условия влажной карбонизации на образце размером приблизительно 7 г с размером гранул ниже 75 мкм и плотностью пульпы 15% (масса 150 г твердого вещества на литр жидкости). Стабильно поддерживают температуру и продолжительность реакции 25°C и 6 часов, соответственно. Переменными параметрами являются давление, содержание NaCl и NaHCO_3 и термически обработанный образец или нет. Их оптимизируют, исходя из процента удаления CO_2 и процента образовавшегося твердого карбоната (зависимые переменные). В табл. 1 приведены разные условия и полученные результаты.

Из этой таблицы видно, что удаление CO_2 вплоть до 87% можно достигнуть при давлении 10,2 атм. и для термически обработанного образца. Видимо удаление CO_2 не зависит от содержания NaCl и слабо зависит от содержания NaHCO_3 в растворе, хотя требуется термическая предварительная обработка. За 6 ч при этих условиях 24% образца было карбонизировано.

Таблица 1

Матрица Бокса-Бенкена для первой группы анализов и результатов ($T=25^{\circ}\text{C}$, $t=6$ ч)

Опыт	Давление (атм.)	NaCl (M)	NaHCO ₃ (M)	Термическая предварительная обработка	Удаление CO ₂ (%)	Образование твёрдого карбоната (%)
1	45,9	0,5	0,32	Да	30	0
2	10,2	0,5	0,64	Да	78	5,43
3	10,2	1	0,32	Нет	49	2,24
4	10,2	0,5	0	Да	79	19,13
5	45,9	1	0	Нет	21	0
6	45,9	0,5	0,32	Нет	27	0,4
7	81,7	1	0,32	Нет	23	0,16
8	81,7	0,5	0,64	Нет	10	0,91
9	10,2	0	0,32	Нет	44	0,72
10	45,9	0,5	0,32	Нет	15	0,4
11	81,7	1	0,32	Да	31	0,19
12	45,9	0,5	0,32	Да	35	0,66
13	45,9	0	0	Да	28	0
14	45,9	0,5	0,32	Нет	15	0,68
15	45,9	0,5	0,32	Нет	13	0,33
16	45,9	1	0,64	Нет	19	0,87
17	45,9	0,5	0,32	Да	45	0
18	10,2	1	0,32	Да	84	37,06
19	45,9	1	0,64	Да	31	1,22
20	45,9	1	0	Да	29	0
21	45,9	0	0,64	Нет	20	0,88
22	45,9	0,5	0,32	Нет	31	0,52
23	10,2	0,5	0	Нет	46	0
24	81,7	0	0,32	Да	32	1,21
25	45,9	0,5	0,32	Да	32	0,36
26	10,2	0,5	0,64	Нет	42	2,88
27	45,9	0	0,64	Да	38	0,6
28	81,7	0	0,32	Нет	13	0,57
29	81,7	0,5	0	Да	32	0
30	81,7	0,5	0,64	Да	37	1,25
31	45,9	0,5	0,32	Да	36	0
32	45,9	0	0	Нет	20	0
33	81,7	0,5	0	Нет	10	0
34	10,2	0	0,32	Да	87	40,01

Продолжительность в 6 ч для карбонизации в оптимальных условиях очень большая, анализы карбонизации проводят в течение более короткого времени реакции для проверки временной зависимости скорости влажной карбонизации. Условия и результаты экспериментов представлены в табл. 2. Температура сохраняется постоянной в 25°C , и плотность пульпы сохраняется постоянной в 15%.

Таблица 2

Экспериментальные условия и результаты влажной карбонизации термически обработанного образца в течение 30 мин

На входе						
	Время (мин)	Объем жидкости (мл)	Вес образца (г)	Давление (атм.)	Удаление CO ₂ (%)	P CO ₂ (атм.)
A	30	50	7,02	11,2	18,2	2,03
B	30	50	6,90	10,3	18,2	1,87
C	30	50	6,87	10,8	18,2	1,96
На выходе						
	Потеря CO ₂ (%)	Конечный объем жидкости (мл)	Конечный вес образца (г)	Конечное давление (атм.)	Конечное удаление CO ₂ (%)	P CO ₂ (атм.)
A	83	45	6,81	9,05	3,9	0,35
B	82	45	6,84	8,64	4,0	0,35
C	82	43	6,80	8,57	4,1	0,35

Удаление 82% CO₂ было достигнуто после 30-минутного времени реакции.

Исследование 2. Влажная карбонизация серпентинита.

Данный эксперимент описывает применимость способа для обработки партии газа, содержащего 18,2% диоксида углерода, в течение 15 мин. Соотношение газ/жидкость (СГЖ) фиксируют при 300%, что соответствует объему содержащего диоксид углерода газа 225 мл и объему воды 75 мл. Полученная в результате водная взвесь имела концентрацию твердого вещества 15 мас.%. Температуру реакции задают равной температуре окружающей среды (18-25°C). Применяют давление 10,5 бар, что соответствует количеству 0,78 г CO₂ при 20°C. После достижения давления все клапаны реактора закрывают, и реакция протекает 15 мин. Затем полученный в результате газ, обедненный диоксидом углерода, отбирают посредством мешка. Концентрацию диоксида углерода в газе, обедненном диоксидом углерода, измеряют с помощью анализатора CO₂. Полученную в результате водную взвесь фильтруют и отбирают образцы для анализа.

Реакция при температуре окружающей среды при 10,5 бар в течение 15 минут показала эффективность удаления CO₂ 88±1%, как видно из табл. 3.

Таблица 3

Баланс массы диоксида углерода в течение 15-минутной реакции при 10,5 бар (количество анализов равно 3)

	Вход	Выход	Обработанный CO ₂	Эффективность
CO ₂ (гCO ₂)	0,80	0,09	0,71	88
	±0,02	±0,01	±0,02	±1 %

Исследование 3. Оптимизация термической предварительной обработки серпентинита перед влажной карбонизацией.

Проводят другую серию экспериментов для демонстрации того, что термическая предварительная обработка вещества, содержащего щелочноземельный металл, способствует хорошему удалению диоксида углерода из содержащего диоксид углерода газа.

Остаток от добычи на основе серпентинита используют в качестве вещества, содержащего щелочноземельный металл. Сначала в зависимости от размера гранул остаток дробят и затем измельчают. Наилучшие результаты получают с образцами с размером частиц менее 45 мкм (медианный размер 10 мкм). Для получения химически реакционноспособного вещества остаток от добычи на основе серпентинита следовало дополнительно предварительно обработать для дегидроксилирования серпентинита. Посредством удаления воды из разных кристаллических структур минералов химическая структура образца изменяется и таким образом снижает связанную энергию. Хорошо известно, что термическая активация гидратированных силикатов способствует химической активации до выщелачивания [Nagamori et al. (1980) Activation of magnesia in serpentine by calcination and the chemical utilization of asbestos tailings - A review. CIM Bulletin 73, стр. 144-156].

Оптимизацию термической предварительной обработки проводят с учетом концентрации магния после выщелачивания, растворяя в воде (стакан). Что касается фиг. 5 и 6, изучают влияние температуры и времени предварительной обработки, и плотности пульпы в ходе экстракции в течение 30 мин в воде с перемешиванием 600 об/мин. Согласно термогравиметрическому анализу основная потеря массы изучаемого образца наблюдается при 650°C. Опыты по термической активации показали, что наилучшие результаты получали после 30-минутной обработки при 650°C с потерей массы приблизительно 10%.

Исследование 4. Оптимизация параметров реакции для влажной карбонизации.

Проводят другую серию экспериментов для оптимизации параметров реакции, включая давление карбонизации, время реакции, соотношение газ/жидкость (СГЖ) и плотность пульпы водной взвеси. Для повышения растворимости газообразного диоксида углерода в воде температуру реакции задают равной комнатной температуре (18-25°C), так как растворимость увеличивалась при более низких температурах. Давление является ключевым параметром способа, так как оно влияет на количество диоксида углерода, введенного в реактор.

Эксперименты проводят с газом, содержащим диоксид углерода, характеристики которого сопоставимы с дымовым газом цементного завода. Соответственно состав представляет собой 18,2% CO₂, 4,11% O₂ и 77,69% N₂. Реакции выполняют в 300 мл реакторе с мешалкой от Parr Instrument Company, Молин, Иллинойс, США.

Давление.

Тесты на влияние давления показали, что работа при низком давлении не влияла на эффективность реакции. В действительности понижающееся давление приводит к введению небольшого количества диоксида углерода в реактор. Для экспериментов в периодическом режиме для поддержания определенного количества диоксида углерода, вводимого в реактор, задают давление 10,5 бар.

СГЖ и плотность пульпы.

Параметры, такие как соотношение газ/жидкость (СГЖ) и плотность пульпы, определяют в ходе набора экспериментов со временем реакции, составляющей 30 мин. Уменьшение СГЖ не влияло на удаление диоксида углерода из дымового газа, но уменьшало количество диоксида углерода, вводимого в реактор. С другой стороны, количество обработанного дымового газа было ниже, когда плотность пульпы задавали равной 5%. Для увеличения количества обработанного газа эксперименты по СГЖ и плотности пульпы выполняют с последующей порцией газа.

Поскольку цель состоит в образовании карбонатов щелочноземельных металлов с возможностью перепродажи, важно иметь как можно более чистый конечный продукт. Эксперименты с СГЖ 100% и плотностью пульпы 15% показали, что значительное количество карбонатов выпало в осадок внутри реактора. Однако может потребоваться осадить карбонаты вне реактора, чтобы легко отделить осаждаемые карбонаты и получить после этого карбонаты с высокой чистотой приблизительно 95%. На фиг. 7 показано, что хорошие выходы удаления CO₂ и высокая концентрация магния в растворе имеют место с водной взвесью с плотностью пульпы 15% и СГЖ 300%.

Как только основные параметры реакции были отрегулированы, время реакции было сокращено.

Время реакции.

Проводят серию экспериментов для сокращения времени реакции. На фиг. 8 показаны результаты по удалению диоксида углерода. Удаление составляло 56% для времени реакции, составляющей 5 мин и 83% для времени реакции, составляющей 10 мин. Такая же эффективность, как наблюдалась для 30 мин, была достигнута через 15 мин. Однако количество магния, присутствующего в растворе, умножается на 1,45, соответственно, 341 мг/л для 30 минут по сравнению с 495 мг/л для 15 мин. 15-минутное время нахождения является приемлемым для промышленного применения и обеспечивает лучшую эффективность растворимости магния.

Исследование 5. Влажная карбонизация серпентинита при непрерывной работе.

Эксперимент проводят в условиях непрерывной работы. Целью было подтверждение возможности реакции в мягких условиях давления и температуры. Поток содержащего диоксид углерода газа регулируют с помощью регулятора массового расхода. Давлением в реакторе контролируют с помощью клапана манометра, установленного на требуемом давлении. Эксперимент проводят при 3,4 бар с потоком газа, содержащего диоксид углерода, 42 мл/мин (7,64 мл CO₂/мин). Что касается фиг. 9, после фазы равновесия примерно в 50 мин было отмечено, что эффективность удаления диоксида углерода оставалась постоянной и составляла более 98% в течение 130 мин. Затем эффективность снижалась линейным образом. В итоге суммарное количество прореагировавшего диоксида углерода составляло 2,61 г CO₂ из 3,19 г введенного CO₂. По сравнению с начальным содержанием магния в веществе, вводимом в реактор, суммарное выщелачивание магния составило 50,8%.

Исследование 6. Вариант повторного использования.

Вариант повторного использования основывается на обработке множества "партий" газа, содержащего диоксид углерода, рециркулирующими потоками твердых веществ и потоками жидкости. Эксперименты проводят для серии из 6 партий газа при тех же самых условиях, что определены в примере 2. В данном изобретении термин "партия" определен как 225 мл газа (0,78 г CO₂) при 10,5 бар, реагирующих в течение 15 минут при перемешивании 600 об/мин.

Водную взвесь, которая состоит из 15% твердого вещества в 75 мл воды, приводят в контакт с двумя партиями содержащего диоксид углерода газа перед фильтрацией на твердую фазу и водную фазу. Ту же самую отфильтрованную твердую фазу снова смешивают с 75 мл "новой" воды (или рециркулирующей воды) для приведения в контакт с еще двумя партиями газа, содержащего диоксид углерода. Процесс повторяют всего с 6 партиями газа, содержащего диоксид углерода. После каждой фильтрации отфильтрованный водный поток, который богат растворенным магнием и диоксидом углерода, подают в

осадитель для осаждения карбонатов магния.

Задают условия осаждения 40°C при перемешивании 300 об/мин. Отфильтрованную твердую фазу после приведения в контакт с 6 партиями газа, содержащего диоксид углерода, измельчают и нагревают для улучшения дополнительного выщелачивания магния. Затем обработанную твердую фазу повторно используют в реакторе для контакта еще с 6 партиями газа, содержащего диоксид углерода.

Следовательно, всего 12 партий газа, содержащего диоксид углерода, обрабатывают одной и той же твердой фазой. Водную фазу фильтруют после приведения в контакт с двумя партиями содержащего диоксид углерода газа, и используют свежую воду после приведения в контакт с двумя партиями газа, содержащего диоксид углерода.

Результаты обобщены в табл. 4. Карбонизация твердого вещества составляет 64% после контактирования с 12 партиями при допущении, что весь магний, содержащийся в водной фазе, выпал в осадок.

Таблица 4

Количество обработанного CO₂ (гCO₂), эффективность удаления CO₂ и выщелачивание Mg за 12 партий в течение 15 мин.

	Партия 1	Партия 2	Партия 3	Партия 4	Партия 5	Партия 6	Партия 7	Партия 8	Партия 9	Партия 10	Партия 11	Партия 12	Суммарно
Обработанный газ	0,68	0,69	0,67	0,61	0,56	0,41	0,44	0,59	0,53	0,42	0,27	0,29	6,14 гCO ₂
Эффективность	86 %	87 %	87 %	77 %	72 %	51 %	75 %	65 %	53 %	34 %	37 %	21 %	62 %
Выщелоченный Mg		14 %		14 %		11 %		15 %		7 %		4 %	64 %

Исследование 7. Сухая карбонизация газ-твердое вещество.

В примере 7 описаны эксперименты по сухой карбонизации газ-твердое вещество согласно возможным вариантам осуществления настоящего изобретения.

В этой серии экспериментов вещество, содержащее щелочноземельный металл, представляло собой остаток от добычи хризотила из региона Тетфор Мин непосредственно на выходе из конвейера остатков. Остаток хризотила дробят и измельчают до размера мини-частиц приблизительно 50 мкм. Реакция происходила в настольном мини-реакторе 4560 от Parr Instrument Company. После реакции газ отбирают в мешки Tedlar на 3,8 л, оснащенные двухпозиционным клапаном. Измеряют концентрацию диоксида углерода в отходящем газе с помощью анализатора CO₂, Quantek Instruments, модель 906.

Оптимизацию разных параметров, которые могут оказывать значительное влияние на прямую сухую карбонизацию газ-твердое вещество, проводят как общепринятым способом с одной переменной в момент времени, так и со статистической методологией поверхности отклика.

Оптимизация параметров с использованием общепринятого способа с одной переменной

Проводят серию экспериментов для оптимизации наиболее подходящих условий прямой сухой карбонизации газ-твердое вещество с общепринятой вариацией одной переменной в момент времени. Эффективность карбонизации при разных температурах и давлениях оптимизируют на основании процента удаления CO₂ (зависимая переменная). Оптимальные условия оценивали для сырого, немагнитного (Немаг) и термически обработанного образцов. Оптимальные условия для каждого типа образца приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оптимальные условия прямой сухой карбонизации газ-твердое вещество с разными типами образцов

Тип образца	Размер образца (г)	Термическая обработка (°C, мин)	Температура (°C)	Давление (атм.)	Время (ч)	Среднее удаление CO ₂ (%)
Сырой	25	Нет	200	5	6	27,7±0,6
Немаг	25	Нет	200	5	6	28,9±0,6
Сырой	25	630, 30	200	5	6	36,8±2,4

Оптимальными рабочими условиями прямой сухой карбонизации были давление в 5 атм. и температура 200°C в течение 6 ч. Максимальное удаление CO₂ 36,8% было получено с сырым термически обработанным (при 630°C в течение 30 мин и измельченным) образцом.

Оптимизация параметров с использованием плана Бокс-Бенкена.

Выбранными независимыми переменными являются температура (X1), давление (X2) и время (X3) и выбранными независимыми переменными отклика являются удаление CO₂, Y1 (%), и изменение давления, Y2 (кПа). Поскольку удаление CO₂ является ключевым фактором в данном эксперименте, настоящее исследование было сосредоточено на проценте удаления CO₂. Таким образом, процент удаления CO₂ был выбран в качестве основной поверхности отклика в данной модели. Термически обработанный (630°C в течение 30 мин) образец весом 25 г используют во всех опытах.

На фиг. 10 показан график поверхности отклика для удаления CO₂ (%), и из указанной Фигуры яс-

но, что удаление CO_2 (%) находится в своем максимальном значении в диапазоне низкого давления и более высокой температуры. Оптимальные условия и подтверждение оптимизированного значения представлены в табл. 6. Дисперсионный анализ параметра квадратической регрессии для прогнозируемой поверхности отклика удаления CO_2 (%) анализировали с помощью ANOVA (analysis of variance - дисперсионный анализ).

Модельная F-величина 30,56 и низкое значение вероятности "Вер > F" менее 0,050 означают, что модель является значимой. Значение коэффициентов множественной регрессии ($R^2=0,9752$) показывает, что только 2,5% от полной вариации невозможно объяснить эмпирической моделью. Данная модель может объяснить 97,5% изменчивости отклика. Было установлено, что значение R^2 (0,9752) для удаления CO_2 (%) приемлемо согласуется со скорректированным значением R^2 (0,9433). Прогнозируемый R^2 (0,70) находится в приемлемом согласии со скорректированным R^2 .

Оптимальные условия прямой сухой карбонизации газ-твердое вещество с использованием плана Бокс-Бенкена были получены при 258°C, 5,6 атм. в течение 310 мин. Удаление CO_2 40,1% было спрогнозировано при вышеприведенных условиях.

Проверка модели показывает 37% удаления CO_2 , что близко к прогнозируемому значению.

Таблица 6

Подтверждающие эксперименты модели поверхности отклика (МПО)				
Эксперименты (№)	Температура (°C)	Давление (атм.)	Время (мин)	Удаление CO_2 (%)
Модель МПО	258*	5,53*	310*	40,1**
A	258	5,53	310	37,9
B	258	5,53	310	36,2
C	258	5,53	310	37,4
Среднее				37,1±0,8

*Оптимальные значения переменных, выбранных моделью.

**Прогнозируемые значения для каждого отклика согласно модели.

Также изучения карбонизации проводят с сырым и немагнитным образцом при оптимальных условиях, полученных из методологии поверхности отклика. Эксперименты и результаты приведены в табл. 7, и это показывает, что при оптимальных условиях удаление CO_2 (%) для трех типов образцов находится в близком диапазоне. Это указывает на то, что предварительная обработка образца не оказывает значительного влияния на удаление CO_2 (%).

Таблица 7

Экспериментальные условия и результаты прямой сухой карбонизации газ-твердое вещество для разных типов образцов при оптимальных условиях, установленных с помощью методологии поверхности отклика				
Тип образца	Температура (°C)	Давление (атм.)	Время (мин)	Удаление CO_2 (%)
Сырой	258	3,95	310	35,7±1,1
Немаг	258	2,96	310	35,7
Термически обработанный	258	1,97	310	37,1±0,8

Поскольку продолжительность карбонизации в оптимальных условиях, по-видимому, очень велика, 310 мин, анализы карбонизации проводят за более короткое время реакции, чтобы проверить временную зависимость скорости сухой карбонизации. Эксперименты и результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Экспериментальные условия и результаты прямой сухой карбонизации сырого образца при оптимизированных температуре и давлении в течение 15 мин				
Опыт	Температура (°C)	Давление (атм.)	Время (мин)	Удаление CO_2 (%)
A	258	3,95	15	36,3
B	258	2,96	15	39,0
C	258	1,97	15	33,5
Среднее				36,3±2,7

Исходя из результатов, установлено, что основная доля реакции происходит на начальной стадии реакции карбонизации. В ходе реакции было достигнуто приблизительно 36% удаления CO_2 при 258°C, 5,53 атм. в течение 15 мин. Из этого можно предположить, что основная доля карбонизации происходит

за ограниченное время, после которого реакция может стать менее важной. Кривая изменения давления, приведенная на фиг. 11, подтверждает вышеизложенное утверждение. Внезапное снижение давления на начальных минутах указывает на то, что реакция происходит быстро в начале, и затем снижение давления, становящееся очень медленным или постоянным, указывает на то, что карбонизация происходит очень медленно или достигла равновесия. Увеличение давления и температуры сразу после добавления газовой смеси CO_2 может быть обусловлено экзотермическим характером реакции. Снижение скорости реакции после определенного времени может быть обусловлено образованием слоя продукта, который может дополнительно затруднять диффузию CO_2 вовнутрь и диффузию воды наружу. Также небольшая скорость обновления поверхности может снизить скорость карбонизации, которая может быть повышена за счет увеличения скорости трения и истирания частиц путем тщательного перемешивания.

Исследование 8. Сравнение эффективностей удаления CO_2 .

Проводят эксперименты для сравнения эффективности удаления CO_2 для влажной и сухой карбонизации различных веществ, содержащих щелочноземельный металл.

Результаты влажной карбонизации показаны в табл. 9, и результаты сухой карбонизации показаны в табл. 10.

Таблица 9
Влажная карбонизация 150 г/л твердого вещества в течение 15 минут
при температуре окружающей среды, $P=10,5$ бар

Тестовый образец	Термическая предварительная обработка	Средний CO_2 на входе (г)	Средний CO_2 на выходе (г)	Средний % поглощения CO_2	Стандартное отклонение
каменный карьер Bignel (Сент-Урбен) - анортозит	нет	0,78	0,52	34,51	2,47
каменный карьер Bouchard (Сент-Урбен)-анортозит	нет	0,78	0,43	44,37	10,18
старый каменный карьер Gen.electrique (Сент-Урбен)-анортозит	нет	0,76	0,45	40,51	15,49
андезин (каменный карьер ВМЛ в Шарльбуре)	нет	0,78	0,47	39,77	7,66
бетонный камень	нет	0,76	0,34	55,64	11,85
бетон с заполнителями	нет	0,79	0,29	63,41	2,59
бетон	нет	0,78	0,17	78,44	1,21
сталеплавильный шлак	нет	0,76	0,12	84,51	4,23

красный кирпич	нет	0,78	0,43	44,71	9,60
антигорит (каменный карьер в Тетфор Мин)	да	0,78	0,32	58,89	2,94
песчаник (каменный карьер в Монманьи)	нет	0,79	0,40	49,35	2,47
отработанный кирпич MgO (сталеплавильный)	нет	0,77	0,43	44,62	2,23
волластонит (каменный карьер Черного озера)	нет	0,78	0,46	40,80	2,04
оливиновый песок	нет	0,77	0,47	38,78	1,94
гранит (каменный карьер в Агуанише)	нет	0,77	0,49	37,06	1,85
богатый магнием базальт (каменный карьер в Сен-Жозеф-де-Бос)	нет	0,80	0,54	32,90	1,64
богатый кальцием базальт Ca_2SiO_4 (каменный карьер в Сент-Флави)	нет	0,77	0,55	28,68	1,43
гранит (каменный карьер в Агуанише)	да	0,77	0,57	25,12	1,26
пыль CaO из вращающейся печи	нет	0,77	0,04	95,38	4,77
пыль MgO из вращающейся печи	нет	0,75	0,05	93,20	4,66

Таблица 10

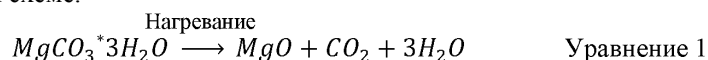
Сухая карбонизация 1,5 г твердого вещества в течение 30 мин при T=258°C, P=4 бар

Тестовый образец	Термическая	Средний	Средний	Среднее	Стандартное
	предварительная обработка	CO ₂ на входе (г)	CO ₂ на выходе (г)	поглощение CO ₂ (%)	отклонение
каменный карьер Vignel (Сент-Урбен) - анортозит	нет	0,17	0,09	43,37	6,74
бетон	нет	0,16	0,02	74,83	1,58
бетонный камень	нет	0,17	0,04	74,79	6,63
бетон с заполнителями	нет	0,16	0,07	58,03	4,66
каменный карьер Vouchard (Сент- Урбен)-анортозит	нет	0,17	0,09	46,98	5,44
старый Gen.electrique (Сент- Урбен)	нет	0,18	0,03	81,14	2,95
андезин (каменный карьер BML в Шарльбуре)	нет	0,17	0,10	39,90	10,30
красный кирпич	нет	0,18	0,10	41,07	12,56
сталеплавильный шлак	нет	0,18	0,09	47,18	16,72
отработанный кирпич MgO (сталеплавильный)	нет	0,18	0,05	70,67	0,40
пыль СаО из вращающейся печи	нет	0,16	0,10	37,99	
песчаник (каменный карьер в Монманьи)	нет	0,22	0,14	34,08	0,78
богатый кальцием базальт RayCaг (каменный карьер в Сент-Флави)	нет	0,22	0,13	38,75	1,92

богатый магнием базальт (каменный карьер в Сен-Жозеф-де-Бос)	нет	0,22	0,13	40,38	0,39
гранит (каменный карьер в Агуанише)	нет	0,22	0,13	40,10	0,78
гранит (каменный карьер в Агуанише)	да	0,22	0,13	41,48	1,95
оливиновый песок	нет	0,22	0,12	43,13	1,17
волластонит (каменный карьер Черного озера)	нет	0,22	0,12	43,13	1,17
антигорит (каменный карьер в Тетфор Мин)	да	0,22	0,13	42,31	0,78
Серпентинит (Черное озеро)	нет	0,22	0,13	42,05	5,07
Серпентинит (Черное озеро)	да	0,22	0,14	23,2	5,82
пыль MgO из вращающейся печи	нет	0,22	0,14	37,34	

Исследование 8. Получение оксида магния.

Следующие результаты иллюстрируют преимущества описанного в данном изобретении способа получения оксида магния по сравнению с обычным способом. Следующие данные были получены на основе технических моделирований, выполненных с использованием экспериментальных данных, полученных в результате способа карбонизации серпентинита. Было сделано допущение о нулевой потере CO₂ в ходе общего способа обжига MgCO₃. Выбросы побочного продукта CO₂ от обжига вычисляют, исходя из полного потребления энергии способа (карбонизация + обжиг = 1139 кВт.ч./тонна твердого вещества) и используя стехиометрическое уравнение 1. Выбросы, эквивалентные CO₂ (от других парниковых газов), не рассматривают, а учитывают выбросы CO₂, так как они представляют собой основные выбросы в настоящей схеме.



На основе случая 2 получение 179000 тонн MgO в год позволяет обрабатывать 184000 тонны CO₂ из промышленного источника и может давать в результате 87000 тонн выбросов CO₂. Для сравнения подобное получение MgO согласно обычному способу давало бы 263000 тонны CO₂. Таким образом, снижение выбросов CO₂ составляет 176000 тонн CO₂, (263000-87000), что дает общую экономию 360000 тонн CO₂ (176000 + 184000) в год.

Определение 9. Сравнение выбросов.

Выбросы CO₂, полученные в результате способа обжига MgCO₃, могут включать от 10 до 23% CO₂. Описанными в данном изобретении способами, в которых используют силикаты Mg для получения MgCO₃ из дымового газа (например, 18,2% CO₂), подтверждается применимость выбросов CO₂, связанных с получением MgO, как описано. Например, выбросы от обжига могут включать похожее содержание CO₂ по сравнению с дымовым газом, и таким образом на стадии карбонизации можно использовать как дымовой газ, так и выбросы от обжига в качестве источника CO₂ с достаточным постоянством для эксплуатационных характеристик.

Исследование 10. Обжиг карбонатов.

Это относится к обжигу несквегонита (MgCO₃·3H₂O), полученному описанными в данном изобретении способами, до оксида магния (MgO) при 950°C. MgCO₃·3H₂O получают на стадии осаждения (стадия 32). Эксперименты проводят во вращающейся печи с электрическим подогревом в лабораторном масштабе. Печь имела внутренний диаметр и длину 44,45 и 1000 мм, соответственно. Обжиг выполняли при нагревании 5,0 г вещества, подаваемого при постоянной скорости 0,18 г/мин. Панелью управления была задана скорость печи 3 об/мин. Потеря массы, вызванная нагреванием, составила 68%. Это подчеркивает разложение несквегонита на MgO с потерей CO₂ и H₂O.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения оксида магния, включающий:
 - получение карбоната магния путем обеспечения магнийсодержащего вещества в водной взвеси и приведение CO_2 -содержащего газа с указанной водной взвесью с получением насыщенной карбонатами взвеси;
 - отделение карбоната магния от насыщенной карбонатами взвеси; и
 - подвергание карбоната магния обжигу с получением побочного продукта CO_2 и оксида магния;
 - причем получение карбоната магния дополнительно включает повторное использование по меньшей мере одной порции побочного продукта CO_2 в качестве повторно используемого побочного продукта CO_2 и приведение указанной водной взвеси в контакт с указанным повторно используемым побочным продуктом CO_2 , при этом повторно используемый побочный продукт CO_2 имеет более высокую концентрацию CO_2 , чем указанный CO_2 -содержащий газ.
2. Способ по п.1, дополнительно включающий:
 - на стадии приведения в контакт получение насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты и по существу не содержащей осажденных карбонатов щелочноземельных металлов;
 - разделение насыщенной карбонатами взвеси на водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты, и твердую фазу;
 - осаждение карбонатов магния из водной фазы; и
 - отделение карбонатов магния от водной фазы.
3. Способ по п.1 или 2, где CO_2 -содержащий газ включает CO_2 -содержащие выбросы, которые используют сразу же, как они были получены из установки.
4. Способ по п.3, где CO_2 -содержащие выбросы получают на стадии термической активации магнийсодержащего вещества до приведения в контакт с CO_2 -содержащими выбросами.
5. Способ по п.3, где CO_2 -содержащие выбросы включают выбросы из отдельного источника выбросов.
6. Способ по любому из пп.1-4, где CO_2 -содержащий газ, используемый для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом, получают исключительно из установки для получения оксида магния.
7. Способ по любому из пп.1-6, дополнительно включающий:
 - подвергание магнийсодержащего вещества дегидроксилированию для снижения содержания воды в магнийсодержащем веществе и для получения термически активированного вещества; и
 - приведение термически активированного вещества в контакт с CO_2 -содержащим газом.
8. Способ по п.7, где дегидроксилирование выполняют при температуре приблизительно от 600 до 700°C.
9. Способ по п.8, где дегидроксилирование выполняют приблизительно в течение 20-60 мин.
10. Способ по любому из пп.1-9, где магнийсодержащее вещество приводят в контакт с потоком подаваемого CO_2 , который включает множество исходных потоков CO_2 .
11. Способ по п.10, дополнительно включающий контроль относительного количества каждого исходного потока CO_2 в потоке подаваемого CO_2 .
12. Способ по п.11, где контроль выполняют в соответствии с давлением, температурой и/или составом исходных потоков CO_2 .
13. Способ по любому из пп.10-12, где поток подаваемого CO_2 дополнительно содержит CO_2 , полученный от дополнительной технологической линии получения оксида магния.
14. Способ по п.13, где дополнительная технологическая линия получения оксида магния включает обычную технологическую линию получения.
15. Способ по любому из пп.1-14, где магнийсодержащее вещество включает серпентин, или его получают из серпентинита или его вариантов.
16. Способ по любому из пп.1-15, где магнийсодержащее вещество получают по меньшей мере из одного из: базальта, перидотита, серпентинизированного перидотита, офиолитовой породы, мафической породы, ультрамафических пород, перидота, пироксена, оливина, серпентина, минералов, содержащих оксид магния, и/или брусита.
17. Способ по п.15 или 16, где магнийсодержащее вещество представляет собой магнийсодержащее дисперсное вещество, которое имеет содержание магния приблизительно от 1 и приблизительно до 35 мас.%.
 - 18. Способ по п.17, где содержание магния составляет приблизительно от 10 и до приблизительно 30 мас.%.
 - 19. Способ по любому из пп.1-18, где магнийсодержащее вещество получают из горнорудного остатка.
 - 20. Способ по п.19, где горнорудный остаток включает остаток от добычи филлосиликата и/или остаток от добычи хризотила.
 - 21. Способ по любому из пп.1-20, дополнительно включающий:

подвергание магнийсодержащего вещества уменьшению размера и удалению магнитной фракции до карбонизации.

22. Способ по п.21, дополнительно включающий:

измельчение исходного вещества с получением размера частиц от приблизительно 200 до приблизительно 1000 мкм для получения вещества требуемого размера;

удаление магнитной фракции из измельченного вещества с получением немагнитной фракции; и

измельчение немагнитной фракции с получением магнийсодержащего вещества, имеющего размер частиц не более 75 мкм.

23. Способ по любому из пп.1-22, где обжиг проводят в установке для обжига с косвенным нагревом.

24. Способ по любому из пп.1-22, где обжиг проводят в установке для обжига с прямым нагревом.

25. Способ по любому из пп.1-24, где водную взвесь приводят в контакт с потоком подаваемого CO_2 , включающим CO_2 -содержащий газ и повторно используемый побочный продукт CO_2 , причем способ дополнительно включает контроль по меньшей мере одного свойства потока подаваемого CO_2 .

26. Способ по п.25, где контроль включает регулирование относительных количеств CO_2 -содержащего газа и повторно используемого побочного продукта CO_2 , которые используют для приведения в контакт с магнийсодержащим веществом.

27. Способ по п.25 или 26, где контролируют давление газа, температуру газа и/или содержание CO_2 в потоке подаваемого CO_2 , приводимом в контакт с магнийсодержащим веществом.

28. Способ по любому из пп.1-27, дополнительно включающий:

извлечение потока CO_2 -содержащего побочного продукта из процесса обжига; и

удаление воды из CO_2 -содержащего побочного продукта с получением потока обработанного побочного продукта CO_2 до повторного использования по меньшей мере одной порции обработанного потока побочного продукта CO_2 в качестве повторно используемого побочного продукта CO_2 .

29. Способ по любому из пп.1-28, где магнийсодержащее вещество включает эвапорит.

30. Способ по п.29, где эвапорит получают из испарительной установки.

31. Способ по п.29, где эвапорит содержит соль хлорид магния.

32. Способ по п.29, где эвапорит содержит соль сульфид магния.

33. Способ по п.29, где эвапорит содержит соль карбонат магния.

34. Способ по любому из пп.1-33, где содержание CO_2 в повторно используемом побочном продукте CO_2 по меньшей мере на 10% больше, чем в CO_2 -содержащем газе.

35. Способ по п.34, где содержание CO_2 в повторно используемом побочном продукте CO_2 по меньшей мере на 20% больше, чем в CO_2 -содержащем газе.

36. Способ по п.34, где содержание CO_2 в повторно используемом побочном продукте CO_2 по меньшей мере на 50% больше, чем в CO_2 -содержащем газе.

37. Способ по любому из пп.1-34, где содержание CO_2 в порции повторно используемого побочного продукта CO_2 составляет от 15 до 25 мас.%, и содержание CO_2 в CO_2 -содержащем газе составляет от 10 до 20 мас.%.
38. Система получения оксида магния, включающая:

по меньшей мере одну установку для карбонизации, имеющую:

подвод газа для приема CO_2 -содержащего газа,

подвод взвеси для приема водной взвеси, содержащей магнийсодержащее вещество,

карбонизационный сосуд для карбонизации по меньшей мере одной порции магния в водной взвеси с CO_2 с получением обедненного CO_2 газа и насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния,

отвод взвеси для отведения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, и

отвод газа для отведения обедненного CO_2 газа;

сепарационную установку;

подвод взвеси для приема насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, из отвода взвеси по меньшей мере одной установки для карбонизации,

разделительную камеру для разделения насыщенной карбонатами взвеси, содержащей осаждаемые карбонаты магния, на твердую фазу и водную фазу, содержащую осаждаемые карбонаты магния, и

отвод жидкости для отведения водной фазы, и

установку для осаждения, имеющую:

подвод взвеси для приема водной фазы, содержащей осаждаемые карбонаты магния, из отвода жидкости сепарационной установки,

осадительную камеру для осаждения карбонатов магния и образования осадочной взвеси, и

отвод жидкости для отведения осадочной взвеси;

установку для обжига для приема по меньшей мере одной порции карбонатов магния, производящую обожженный оксид магния и поток побочного продукта CO_2 ; и

систему сбора и подачи CO_2 для сбора потока побочного продукта CO_2 и прямой подачи по мень-

шей мере одной порции потока побочного продукта CO_2 в качестве повторно используемого побочного продукта CO_2 в установку для карбонизации, при этом повторно используемый побочный продукт CO_2 имеет более высокую концентрацию CO_2 , чем указанный CO_2 -содержащий газ.

39. Система по п.38, дополнительно включающая по меньшей мере один дополнительный признак любого из пп.1-37.

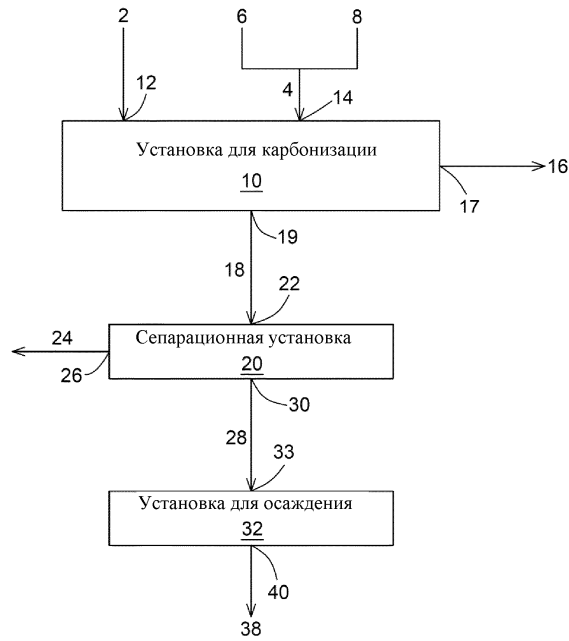
40. Система по п.38 или 39, где магнийсодержащее вещество включает эвапорит.

41. Система по п.40, где эвапорит получают из испарительной установки.

42. Система по п.40, где эвапорит содержит соль хлорид магния.

43. Система по п.40, где эвапорит содержит соль сульфид магния.

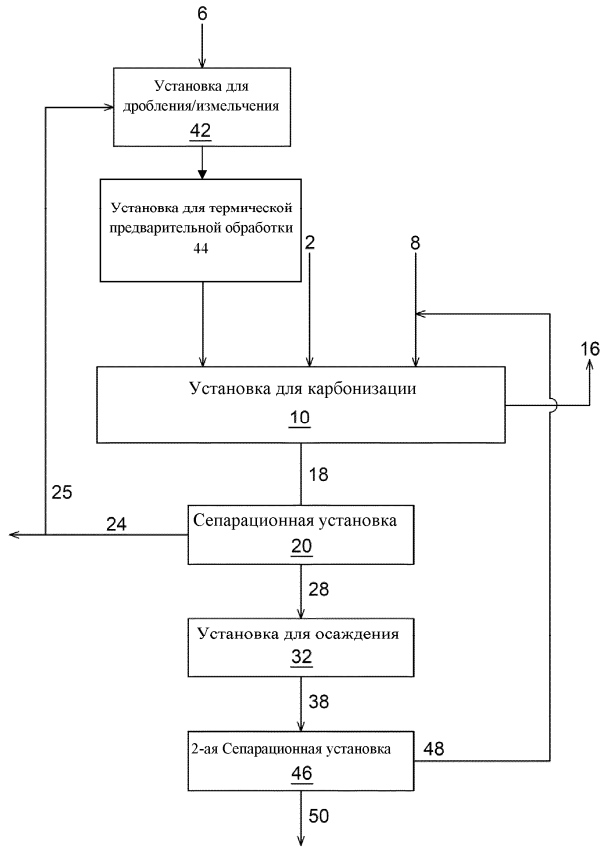
44. Система по п.40, где эвапорит содержит соль карбонат магния.



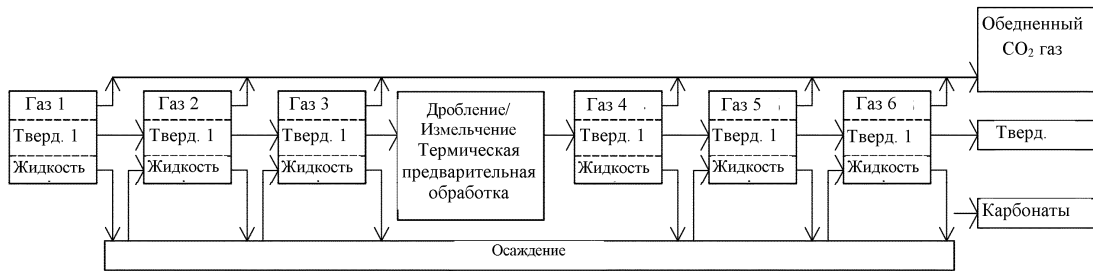
Фиг. 1



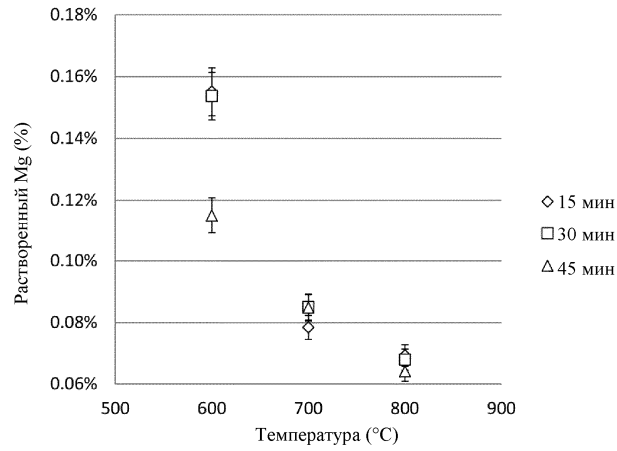
Фиг. 2



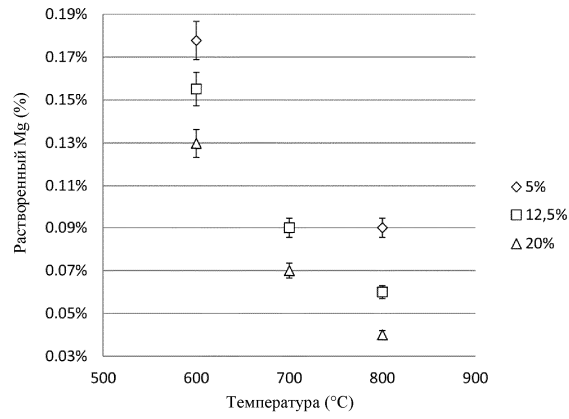
Фиг. 3



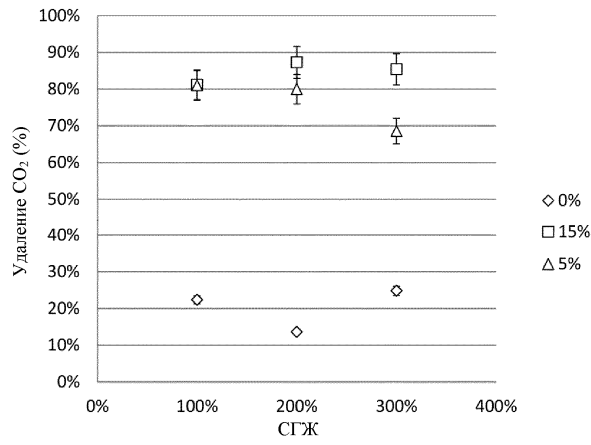
Фиг. 4



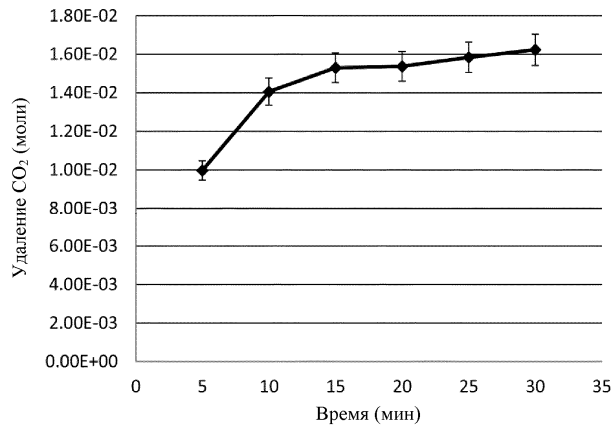
Фиг. 5



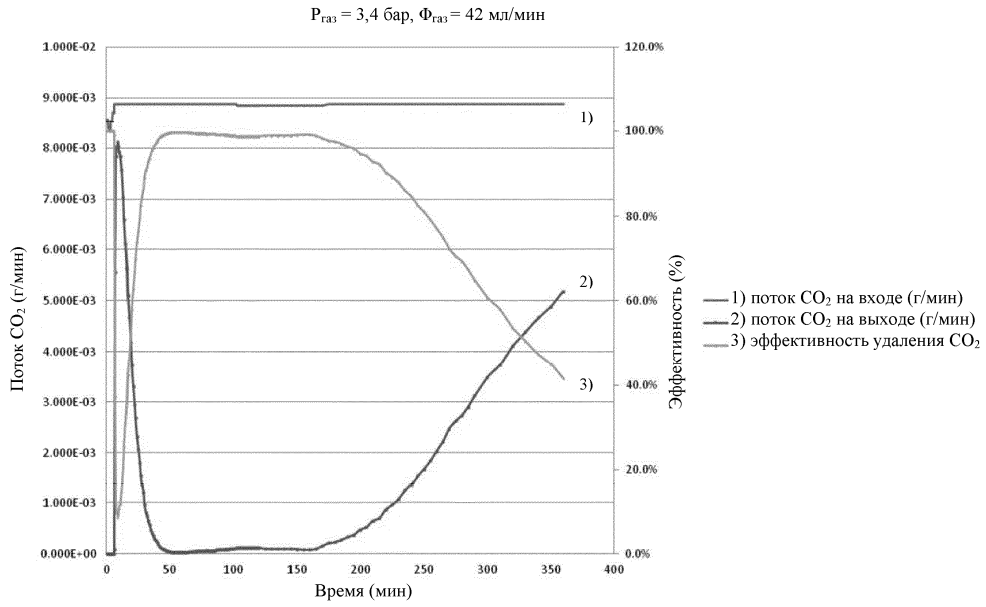
Фиг. 6



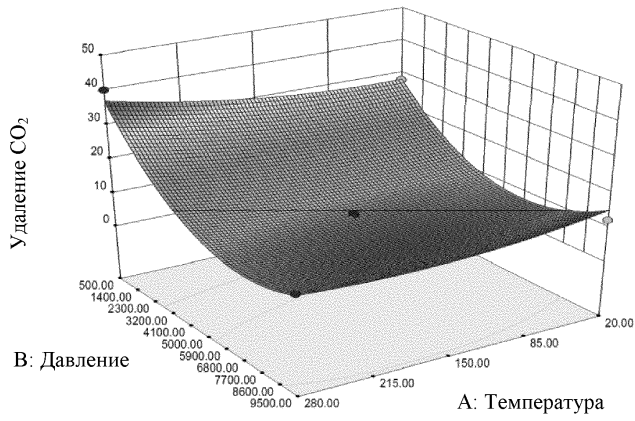
Фиг. 7



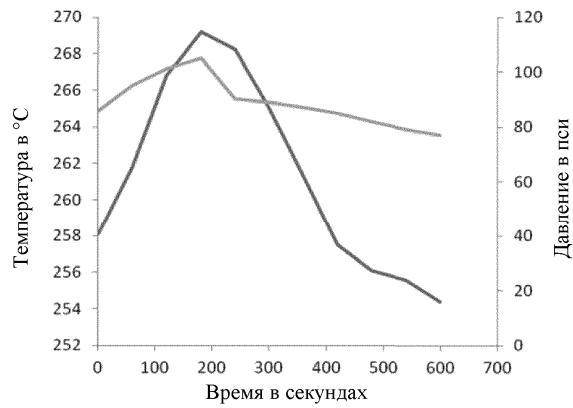
Фиг. 8



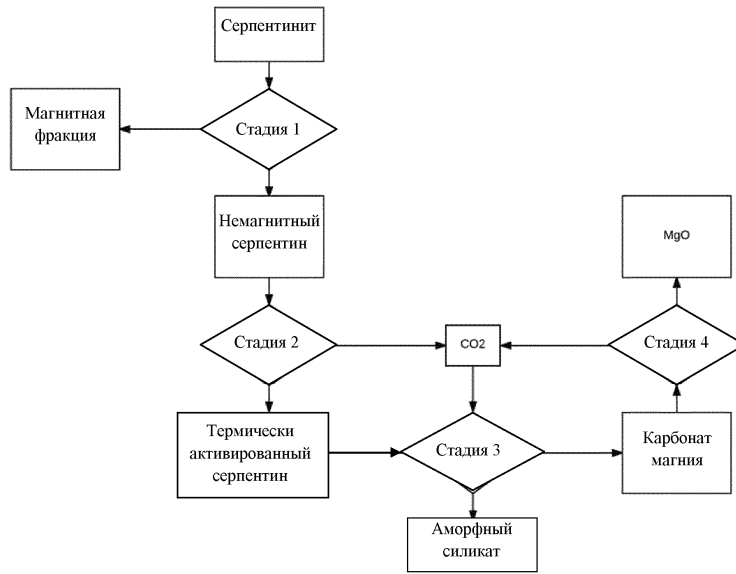
Фиг. 9



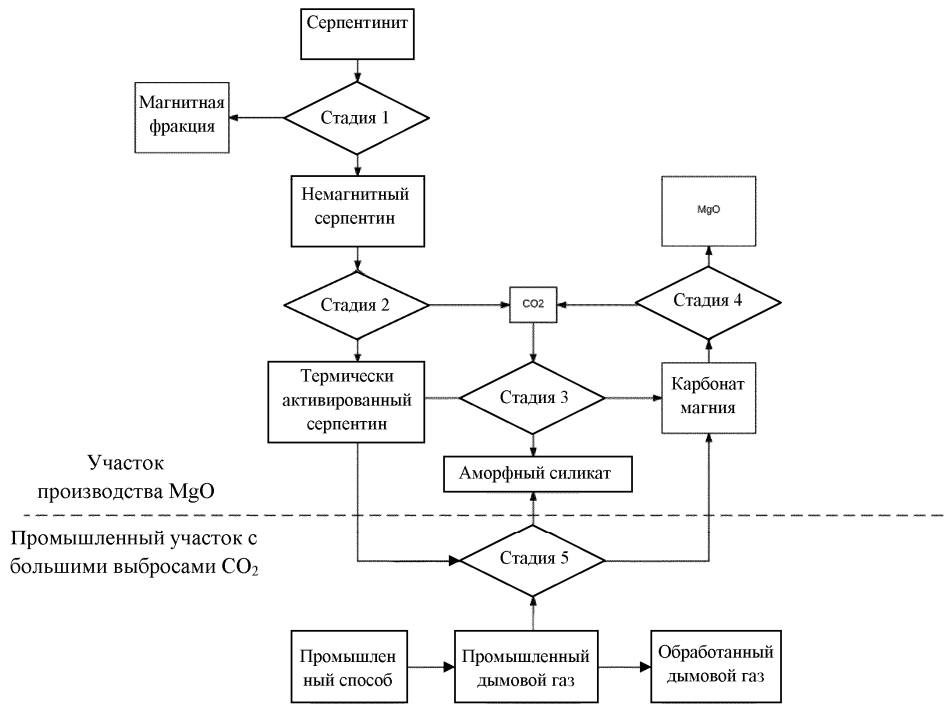
Фиг. 10



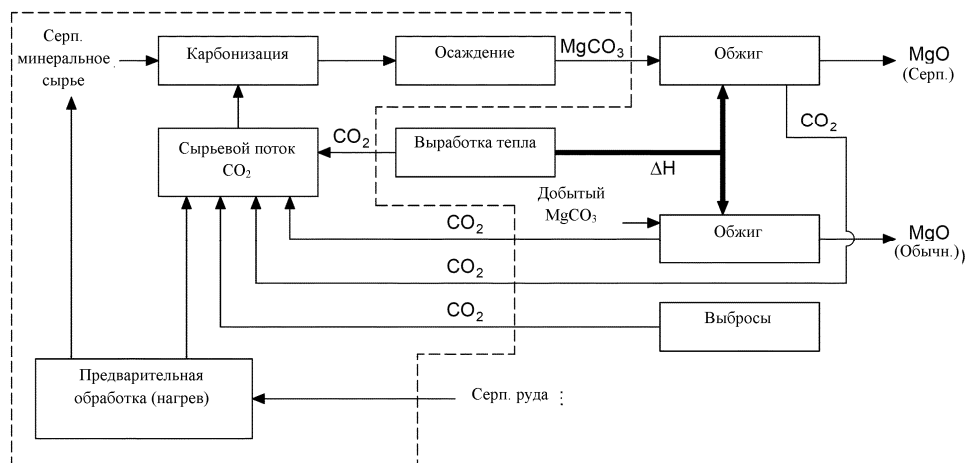
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

