

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202191980 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.10.18

(51) Int. Cl. C04B 7/06 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.01.16

(54) РЕАКЦИОННЫЕ СХЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ КИСЛОТЫ И ОСНОВАНИЯ;
РЕАКТОРЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО ВАРИРУЮЩИЕСЯ
ГРАДИЕНТЫ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА; И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СИСТЕМЫ И
СПОСОБЫ

(31) 62/793,294; 62/800,220; 62/818,604;
62/887,143

(32) 2019.01.16; 2019.02.01; 2019.03.14;
2019.08.15

(33) US

(86) PCT/US2020/013837

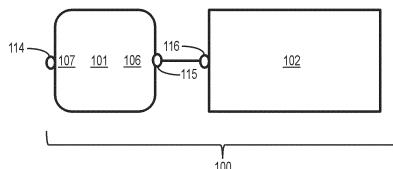
(87) WO 2020/150449 2020.07.23

(71) Заявитель:
МАССАЧУСЕТС ИНСТИТУТ ОФ
ТЕКНОЛОДЖИ (US)

(72) Изобретатель:
Чиан Ет-Мин (US), Эллис Лиа (CA),
Бадель Андреас (US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) В изобретении описываются реакционные схемы, включающие кислоты и основания; реакторы, включающие пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH), и связанные с ними системы и способы.



A1

202191980

202191980

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-569514ЕА/030

РЕАКЦИОННЫЕ СХЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ КИСЛОТЫ И ОСНОВАНИЯ; РЕАКТОРЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО ВАРЬИРУЮЩИЕСЯ ГРАДИЕНТЫ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА; И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ

РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

В данной заявке притязают на приоритет в соответствии с разделом 35 Кодекса США § 119(e) для предварительной патентной заявки США № 62/793,294, поданной 16 января 2019 года; предварительной патентной заявки США № 62/800,220, поданной 1 февраля 2019 года; и предварительной патентной заявки США № 62/818,604, поданной 14 марта 2019 года; все из которых во всей своей полноте посредством ссылки на них включаются в настоящий документ.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

В общем случае описываются реакционные схемы, включающие кислоты и основания; реакторы, включающие пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH), и связанные с ними системы и способы.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В общем случае описываются реакционные схемы, включающие кислоты и основания; реакторы, включающие пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH), и связанные с ними системы и способы. Также описываются изобретенные системы и способы формирования осадков в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). В пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH) может быть достигнуто формирование осадков, например, в результате растворения химического соединения (например, металлической соли) в первой области (например, кислотной области) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH) и сбора осадка, содержащего один или несколько элементов (например, металл) из химического соединения (например, металлической соли), во второй области (например, щелочной области) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). В определенных вариантах осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) находится в электрохимическом элементе и устанавливается и/или сохраняется в результате электролиза (например, электролиза воды). В соответствии с некоторыми вариантами осуществления после сбора осадка осадок нагревают в обжиговой печи для изготовления цемента, в том числе

портландцемента. Сущность предмета настоящего изобретения включает в некоторых случаях взаимосвязанные продукты, альтернативные решения для конкретной проблемы и/или множество различных вариантов использования одного или нескольких представителей, выбираемых из систем и/или изделий.

В одном аспекте предлагается реактор. Реактор включает в соответствии с определенными вариантами осуществления первый электрод; второй электрод; пространственно варьирующийся градиент химического состава между первым электродом и вторым электродом; впускное отверстие, соединенное с первой областью пространственно варьирующегося градиента значения pH; выпускное отверстие, соединенное со второй областью пространственно варьирующегося градиента значения pH; и где выпускное отверстие конфигурируют таким образом, чтобы твердые вещества могли бы быть вытолкнуты из реактора.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает первый электрод; второй электрод; пространственно варьирующийся градиент значения pH между первым электродом и вторым электродом; впускное отверстие, соединенное с кислотной областью пространственно варьирующегося градиента значения pH; и выпускное отверстие, соединенное с щелочной областью пространственно варьирующегося градиента значения pH.

В еще одном аспекте предлагается система. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система включает реактор, имеющий область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), при этом реактор включает впускное отверстие реактора, сконфигурированное для приема карбоната кальция, и выпускное отверстие реактора, сконфигурированное для выпуска твердого гидроксида кальция; и обжигательную печь, включающую впускное отверстие обжигательной печи, где: обжигательная печь располагается по ходу технологического потока ниже выпускного отверстия реактора, впускное отверстие обжигательной печи конфигурируют для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция; и обжигательную печь конфигурируют для нагревания твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция в качестве части технологического процесса производства цемента.

В еще одном аспекте предлагается способ. В соответствии с определенными вариантами осуществления способ включает производство кислоты и основания в результате электролиза; растворение металлической соли в кислоте; и осаждение гидроксида металла в основании. В некоторых таких вариантах осуществления металл металлической соли является тем же самым металлом, что и металл гидроксида металла. В некоторых таких вариантах осуществления электролиз включает гидролиз. В некоторых таких вариантах осуществления электролиз производит пространственно варьирующийся градиент химического состава в реакторе. В некоторых таких вариантах осуществления

электролиз производит пространственно варьирующийся градиент значения pH в реакторе. В некоторых таких вариантах осуществления способ, кроме того, включает сбор осадка. В некоторых таких вариантах осуществления металлическая соль включает карбонат металла. В некоторых таких вариантах осуществления металлическая соль включает карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля. В некоторых таких вариантах осуществления гидроксид металла включает гидроксид кальция, гидроксид магния и/или гидроксид никеля. В некоторых таких вариантах осуществления гидроксид металла включает гидроксид кальция.

В некоторых вариантах осуществления способ включает в соответствии с некоторыми вариантами осуществления установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент химического состава; транспортирование химического соединения в первую область пространственно варьирующегося градиента химического состава таким образом, чтобы химическое соединение растворялось и/или вступало бы в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава; сбор осадка из второй области пространственно варьирующегося градиента химического состава, где осадок содержит один или несколько элементов из химического соединения, растворенного и/или вступившего в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава.

В некоторых вариантах осуществления способ включает установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент значения pH; транспортирование металлической соли в кислотную область пространственно варьирующегося градиента значения pH таким образом, чтобы металлическая соль растворялась и/или вступала бы в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте значения pH; сбор осадка из щелочной области пространственно варьирующегося градиента значения pH, где осадок содержит металл из металлической соли, растворенной и/или вступившей в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте значения pH.

В еще одном аспекте предлагается способ изготовления цемента. В данном случае термин «цемент» включает нижеследующее, но не ограничивается только этим: смеси, содержащие оксид кальция и глинистые минералы и необязательно гипс, которые в общем случае известны под наименованием портландцемента или клинкера, а также смеси из портландцемента и заполнителей, которые в общем случае известны под наименованием бетона. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент значения pH; транспортирование карбоната кальция в кислотную область пространственно варьирующегося градиента значения pH таким образом, чтобы карбонат кальция растворялся и/или вступал бы в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте значения pH; сбор твердого гидроксида кальция из щелочной области пространственно варьирующегося градиента значения pH, где твердый гидроксид

кальция содержит кальций из карбоната кальция, растворенного и/или вступившего в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте значения pH; и нагревание твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция, в обжигательной печи для изготовления цемента.

Другие преимущества и новые признаки настоящего изобретения станут очевидными исходя из следующего далее подробного описания различных неограничивающих вариантов осуществления изобретения при их рассмотрении в связи с сопровождающими фигурами. В тех случаях, в которых настоящее описание изобретения и документ, включенный в результате ссылки на него, включают конфликтующее и/или несогласующееся раскрытие, силу должно иметь настоящее описание изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Неограничивающие варианты осуществления настоящего изобретения будут описываться в порядке примера при обращении к сопровождающим фигурам, которые являются схематическими и не предполагающими вычерчивание в масштабе. На фигурах каждый идентичный или почти что идентичный проиллюстрированный компонент в типичном случае описывается одним числом. Для целей ясности не каждый компонент маркируется на каждой фигуре, и не каждый компонент каждого варианта осуществления изобретения продемонстрирован там, где иллюстрация является необязательной для обеспечения понимания изобретения специалистами в соответствующей области техники. На фигурах:

ФИГУРА 1А в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, включающей реактор и обжигательную печь.

ФИГУРА 1В в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, включающей реактор, нагреватель и обжигательную печь.

ФИГУРА 1С в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, включающей реактор и обжигательную печь.

ФИГУРА 1D в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, включающей реактор и обжигательную печь.

ФИГУРА 2А в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора.

ФИГУРА 2В в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора в Н-элементе, включающем отдельную камеру между двумя мембранами, селективно проницаемыми для ионов.

ФИГУРА 3А в соответствии с определенными вариантами осуществления

представляет собой фотографию для реактора после электролиза воды, но до добавления химического соединения.

ФИГУРА 3В в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой фотографию для реактора с **ФИГУРЫ 3А** по истечении десяти часов после добавления химического соединения (карбоната никеля в данном случае).

ФИГУРА 4А в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой фотографию для осадка (гидроксида кальция в данном случае), сформированного в электрохимическом элементе из химического соединения (карбоната кальция в данном случае).

ФИГУРА 4В в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой фотографию для осадка (гидроксида кальция в данном случае) с **ФИГУРЫ 4А** после его сбора и смешивания при молярном соотношении 3 : 1 с SiO_2 и водой для получения негидравлического цемента.

ФИГУРА 4С в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой рентгеновскую дифрактограмму (РСА) для гидроксидного осадка (гидроксида кальция в данном случае) с **ФИГУРЫ 4А**.

ФИГУРА 5 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора.

ФИГУРА 6 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора.

ФИГУРА 7 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора.

ФИГУРА 8 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора.

ФИГУРА 9 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для реактора в Н-элементе, включающем отдельную камеру между двумя мембранами, селективно проницаемыми для ионов.

ФИГУРА 10 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой фотографию для реактора с **ФИГУРЫ 3А** после добавления химического соединения (карбоната никеля в данном случае).

ФИГУРА 11 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой блок-схему, сопоставляющую технологический процесс производства цемента, описанный в настоящем документе, с обычным производством цемента при использовании только тепловой энергии.

ФИГУРА 12 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схему низкоэмиссионного цементного агрегата на электрохимической основе.

ФИГУРА 13 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой декарбонизационный элемент на основе электролизера.

ФИГУРЫ 14А - 14J представляют собой полученные в результате ускоренной съемки снимки для декарбонизационных Н-элементов, использующих платиновые электроды и раствор NaNO_3 в деионизированной воде при 1 моль/л в качестве электролита в соответствии с определенными вариантами осуществления.

ФИГУРЫ 15А - 15F демонстрируют порошок $\text{Ca}(\text{OH})_2$, произведенный при использовании декарбонизационного реактора в соответствии с определенными вариантами осуществления.

ФИГУРА 16 демонстрирует кулоновскую эффективность для декарбонизационного реактора в соответствии с определенными вариантами осуществления согласно измерению исходя из тринадцати экспериментов, при этом каждый из них начинается со свежесобранного Н-элемента, относящегося к типу на ФИГУРЕ 13.

ФИГУРЫ 17А - 17F демонстрируют синтезирование алита $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ при использовании вещества $\text{Ca}(\text{OH})_2$, произведенного в декарбонизационном реакторе в соответствии с определенными вариантами осуществления.

ФИГУРЫ 18А - 18F демонстрируют синтезирование алита при использовании CaCO_3 и SiO_2 .

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В общем случае описываются реакционные схемы, включающие кислоты и основания; реакторы, включающие пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH), и связанные с ними системы и способы. В некоторых вариантах осуществления способ включает производство кислоты и основания в результате электролиза (например, гидролиза). В определенных вариантах осуществления способ включает растворение металлической соли (например, карбоната металла, такого как карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля) в кислоте. В некоторых случаях способ включает осаждение гидроксида металла (например, гидроксида кальция, гидроксида магния и/или гидроксида никеля) в основании. В некоторых вариантах осуществления способ включает сбор осажденного гидроксида металла. В определенных таких вариантах осуществления электролиз производит пространственно варьирующийся градиент химического состава в реакторе (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH в реакторе).

В некоторых вариантах осуществления электрохимические реакторы включают пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH). В определенных вариантах осуществления формируются осадки при использовании пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). В некоторых вариантах осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) растворяют в первой области (например, кислотной области) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH), а осадок,

содержащий один или несколько элементов (например, металл) из химического соединения (например, металлической соли), формируется во второй области (например, щелочной области) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH).

Некоторые варианты осуществления относятся к композициям, способам и конструкциям реакторов, в которых используют электролитическую реакцию для производства градиента химического состава между положительным и отрицательным электродами электрохимического элемента. После этого в некоторых вариантах осуществления используют упомянутый электролитически произведенный градиент состава для проведения желательной химической реакции в результате подачи реагента в химическую окружающую среду поблизости от одного электрода и использования электролитически произведенного химического градиента для производства продукта из упомянутого реагента, поскольку реагент или его компоненты диффундируют в направлении другого электрода. В одном варианте осуществления такой реактор направлен на производство разложившейся минеральной или металлической соли при использовании электрохимических и химических средств. В одном варианте осуществления в результате использования такого реактора вместо традиционного термического прокаливания, которое включает нагревание минеральных или металлических солей для их разложения, уменьшается или избегается использование ископаемых топлив для производства тепловой энергии и связанное с этим производство парниковых газов или газов, которые представляют собой атмосферные загрязнители. В некоторых вариантах осуществления минеральная или металлическая соль включает карбонат металла, а произведенные парниковые газы представляют собой, по меньшей мере, частично, диоксид углерода. В еще одном варианте осуществления химический реактор, работающий по электролитическому механизму, запитывается электричеством из возобновляемых источников, таких как солнечное фотоэлектричество или ветровая энергия, и, тем самым, уменьшает использование источников энергии, производящих парниковые газы, при проведении реакции прокаливания или разложения.

Некоторые варианты осуществления относятся к технологическому процессу производства цемента, такого как портландцемент. Бетон на сегодняшний день представляет собой наиболее широко используемый искусственный материал в мире. Производство цемента также представляет собой второй по величине источник промышленных выбросов CO_2 в мире, формируя приблизительно 8% глобальных выбросов CO_2 . Традиционные способы промышленного производства цемента включают прокаливание CaCO_3 при использовании термических средств. При современном изготовлении цемента приблизительно 60% выбросов CO_2 представляют собой результат прокаливания CaCO_3 , а приблизительно 40% выбросов CO_2 представляют собой результат сжигания ископаемых топлив для осуществления технологических процессов прокаливания и спекания. Таким образом, существует большая потребность в технологических процессах производства цемента, которые приводят к выбросам

меньшего количества CO_2 . Некоторые варианты осуществления относятся к технологическому процессу производства цемента, при котором термическое прокаливание заменяют описанными в настоящем документе электрохимическими технологическими процессами, которые производят меньшее количество CO_2 при расчете на количество произведенного цемента, чем современное изготовление.

В общем случае описываются системы для производства цемента, включающие электрохимические реакторы, и соответствующие способы. Определенные варианты осуществления относятся к изобретенным системам для производства цемента, включающим электрохимический реактор и обжигательную печь. В определенных вариантах осуществления электрохимический реактор конфигурируют для приема CaCO_3 . В некоторых вариантах осуществления электрохимический реактор включает первое выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки Ca(OH)_2 и/или негашеной извести. В определенных случаях электрохимический реактор включает второе выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки CO_2 , O_2 и/или H_2 в газообразном состоянии. В соответствии с определенными вариантами осуществления обжигательную печь конфигурируют для нагревания Ca(OH)_2 и/или негашеной извести (и/или продукта их реакции) в качестве части технологического процесса изготовления цемента.

В некоторых вариантах осуществления система запитывается, по меньшей мере, частично (например, на, по меньшей мере, 10%, по меньшей мере, 25%, по меньшей мере, 50%, по меньшей мере, 75%, по меньшей мере, 90% или, по меньшей мере, 100%), электричеством из возобновляемых источников (например, солнечной энергии и/или ветровой энергии). В определенных случаях система характеризуется меньшими результирующими выбросами углерода (например, на, по меньшей мере, 10% меньшими, по меньшей мере, 25% меньшими, по меньшей мере, 50% меньшими, по меньшей мере, 75% меньшими или, по меньшей мере, 90% меньшими), чем по существу подобные системы, в которых используется традиционное термическое прокаливание вместо электрохимического реактора. В некоторых случаях система характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода.

Определенные варианты осуществления относятся к изобретенным способам, при которых Ca(OH)_2 и/или негашеную известь производят в электрохимическом реакторе. В некоторых вариантах осуществления после этого Ca(OH)_2 и/или негашеную известь из электрохимического реактора транспортируют в обжигательную печь, которая нагревает Ca(OH)_2 и/или негашеную известь (и/или продукт их реакции) в качестве части технологического процесса изготовления цемента. В некоторых вариантах осуществления электрохимический реактор также производит CO_2 , O_2 и/или H_2 в газообразном состоянии. В соответствии с определенными вариантами осуществления CO_2 хранят, используют в жидком топливе, используют в кислородно-топливной смеси, используют в методах повышения нефтеотдачи, используют для производства сухого льда и/или используют в качестве ингредиента в напитке. В определенных случаях O_2 можно хранить, использовать в кислородно-топливной смеси, использовать в области

применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи. В определенных случаях H_2 можно хранить и/или использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе и/или для нагревания системы). В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере, часть (например, по меньшей мере, 10%, по меньшей мере, 25%, по меньшей мере, 50%, по меньшей мере, 75%, по меньшей мере, 90% или все количество) CO_2 , O_2 и/или H_2 , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь.

Как это отмечалось выше, определенные аспекты относятся к реакторам. Неограничивающие примеры таких реакторов демонстрируются на ФИГУРАХ 1А - 3В и 5-10.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает пару противоположащих электродов. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реактор включает концентрическую электродную конструкцию. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реактор включает Н-элемент (такой как соответствующий элемент, продемонстрированный на ФИГУРАХ 3А, 3В и 10). В определенных вариантах осуществления реактор включает первый электрод. В некоторых вариантах осуществления первый электрод включает катод. Например, на ФИГУРЕ 2В реактор 101 включает катод 104. В определенных вариантах осуществления первый электрод выбирают в виде электронного проводника, который является устойчивым в относительно щелочных условиях. В определенных вариантах осуществления первый электрод включает металлический электрод, такой как платина, золото, никель, иридий, медь, железо, сталь, нержавеющая сталь, марганец и цинк, или углерод, такой как графит или неупорядоченные разновидности углерода, или карбид металла, такой как карбид кремния, карбид титана или карбид вольфрама. В определенных вариантах осуществления первый электрод включает металлический сплав (например, сплав никеля-хрома-железа, сплав никеля-молибдена-кадмия), оксид металла (например, оксид иридия, оксид никеля-железа-кобальта, оксид никеля-кобальта, оксид лития-кобальта, оксид лантана-стронция-кобальта, оксид бария-стронция-двухвалентного железа, оксид марганца-молибдена, диоксид рутения, оксид иридия-рутения-тантала), металлоорганическую каркасную конструкцию или сульфид металла (например, сульфид молибдена). В определенных вариантах осуществления электрокатализатор или электродный материал диспергируют на проводящем носителе или наносят на него в виде покрытия.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает второй электрод. В некоторых вариантах осуществления второй электрод включает анод. Например, на ФИГУРЕ 2В реактор 101 включает анод 105. В определенных вариантах осуществления второй электрод выбирают в виде электродного проводника, который является устойчивым в относительно кислотных условиях. В определенных вариантах осуществления второй электрод включает металлический электрод, такой как платина, палладий, свинец или олово, или оксид металла, такой как оксид переходного металла. В определенных вариантах осуществления первый электрод и/или второй электрод содержат катализаторы. В некоторых вариантах осуществления катодный катализатор выбирают

устойчивым в щелочных условиях, таким как никель, железо, сульфид переходного металла, такой как сульфид молибдена, или оксид переходного металла, такой как MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , оксид никеля, гидроксид никеля, оксид железа, гидроксид железа, оксид кобальта, смешанный оксид переходных металлов, относящийся к типу шпинели, такой как MnCo_2O_4 , CoMn_2O_4 , MnFe_2O_4 , ZnCoMnO_4 и тому подобное. В некоторых вариантах осуществления анодный катализатор выбирают устойчивым в кислотных условиях, таким как платина или иридий, или их оксиды.

В соответствии с определенными вариантами осуществления реактор включает пространственно варьирующийся градиент химического состава между первым электродом и вторым электродом. В некоторых вариантах осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава включает пространственно варьирующийся градиент значения pH. Например, на ФИГУРЕ 2В реактор 101 имеет вторую область (например, щелочную область) 106 поблизости от катода 104 и первую область (например, кислотную область) 107 поблизости от анода 105; таким образом, реактор 101 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) между первым электродом и вторым электродом. В некоторых вариантах осуществления первая область включает кислотную область. В определенных вариантах осуществления вторая область включает щелочную область. В других вариантах осуществления первая область включает щелочную область, а вторая область включает кислотную область.

В некоторых вариантах осуществления реактор конфигурируют таким образом, чтобы пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) был бы установлен и/или сохранен, по меньшей мере, частично, в результате электролиза. Например, на ФИГУРЕ 2В реактор 101 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107. В некоторых таких вариантах осуществления данный пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) устанавливают и/или сохраняют в результате электролиза. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления электролиз нейтрального электролита может производить пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) между электродами, такими как катод 104 и анод 105. В некоторых вариантах осуществления для производства градиента химического состава между положительным и отрицательным электродами электрохимического элемента используют реакцию электролиза. В соответствии с определенными вариантами осуществления электролитически произведенный градиент химического состава может быть использован для проведения желательной химической реакции в результате подачи реагента в химическую окружающую среду поблизости от одного электрода и использования

электролитически произведенного градиента химического состава для производства продукта из упомянутого реагента по мере диффундирования реагента или его компонентов в направлении другого электрода.

В некоторых вариантах осуществления электролиз включает гидролиз. В соответствии с использованием в настоящем документе термин «гидролиз» относится к электролизу воды. Например, в некоторых вариантах осуществления реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы H_2O и 2 электрона в H_2 и 2 OH^- , в то время как реакция, протекающая в аноде, превращает 2 молекулы H_2O в 4 электрона, O_2 и 4 протона. В некоторых вариантах осуществления образование гидроксидных ионов на катоде 104 или поблизости от него обеспечивает установление и/или сохранение щелочного значения pH на катоде 104 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя вторую область (например, щелочную область) 106, в то время как образование протонов на аноде 105 или поблизости от него обеспечивает установление кислотного значения pH на аноде 105 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя первую область (например, кислотную область) 107. Таким образом, в определенных вариантах осуществления реактор конфигурируют таким образом, чтобы пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) был бы установлен и/или сохранен, по меньшей мере, частично, в результате гидролиза.

В соответствии с определенными вариантами осуществления реактор включает впускное отверстие, соединенное с первой областью (например, кислотной областью) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). Например, на ФИГУРЕ 1В реактор 101 включает впускное отверстие реактора 114, соединенное с первой областью (например, кислотной областью) 107 пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH).

В соответствии с определенными вариантами осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 6 и менее, 5 и менее, 4 и менее, 3 и менее или 2 и менее. В некоторых вариантах осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим, по меньшей мере, 0, по меньшей мере, 1, по меньшей мере, 2, по меньшей мере, 3 или, по меньшей мере, 4. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 0 до 6, включительно).

В определенных вариантах осуществления электрохимический реактор конфигурируют для приема CaCO_3 .

В некоторых вариантах осуществления реактор включает выпускное отверстие, соединенное со второй областью (например, щелочной областью) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). Например, на ФИГУРЕ 1В реактор 101

включает выпускное отверстие реактора 115, соединенное со второй областью (например, щелочной областью) 106 пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 8 и более, 9 и более, 10 и более, 11 и более или 12 и более. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 14 и менее, 13 и менее, 12 и менее, 11 и менее или 10 и менее. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 8 до 14, включительно).

В определенных вариантах осуществления выпускное отверстие конфигурируют таким образом, чтобы твердые вещества могли бы быть вытолкнуты из реактора. Например, на ФИГУРЕ 1A реактор 101 включает выпускное отверстие реактора 115, которое конфигурируют таким образом, чтобы твердое вещество могло бы быть вытолкнуто из реактора 101. В некоторых вариантах осуществления реактор включает аппарат для манипулирования с твердым веществом, связанный с выпускным отверстием и сконфигурированный для удаления твердого вещества из реактора. Например, в некоторых вариантах осуществления аппарат для манипулирования с твердым веществом 117 конфигурируют для удаления твердого вещества (такого как твердые гидроксиды металлов, такие как твердый гидроксид никеля, твердый гидроксид кальция или твердый гидроксид магния) из реактора 101. Примеры аппаратов для манипулирования с твердым веществом включают нижеследующее, но не ограничиваются только этим: ленточные транспортеры, шнековые транспортеры, насосы, спускные желоба или любое другое устройство, способное транспортировать твердые вещества из реактора. В некоторых вариантах осуществления аппарат для манипулирования с твердыми веществами отделяет твердое вещество от жидкости при использовании одного или комбинации из вариантов, выбираемых из течения текучей среды, фильтрации, осаждения, центробежной силы, электрофореза, диэлектрофореза или магнитного разделения.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает выпускное отверстие реактора. Например, на ФИГУРЕ 1C система 100 включает реактор 101, который включает выпускное отверстие реактора 115. В некоторых вариантах осуществления выпускное отверстие реактора конфигурируют для выгрузки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает более, чем одно выпускное отверстие реактора (например, по меньшей мере, 1, по меньшей мере, 2, по меньшей мере, 3, по меньшей мере, 4, менее, чем или ровно 5, менее, чем или ровно 4, менее, чем или ровно 3 или менее, чем или ровно 2; также возможными являются и комбинации из данных диапазонов). В определенных вариантах осуществления реактор включает второе выпускное отверстие. Например, на ФИГУРЕ 1C реактор 101 включает второе выпускное отверстие 190.

В определенных вариантах осуществления второе выпускное отверстие

конфигурируют для выгрузки CO_2 , O_2 и/или H_2 . В некоторых вариантах осуществления CO_2 необходимо хранить, использовать в жидком топливе, использовать в кислородно-топливной смеси, использовать в методах повышения нефтеотдачи, использовать для производства сухого льда и/или использовать в качестве ингредиента в напитке. В некоторых вариантах осуществления O_2 необходимо хранить, использовать в форме кислородно-топливной смеси, использовать в области применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи. В определенных случаях H_2 необходимо хранить и/или использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе и/или для нагревания системы). В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере, часть (например, по меньшей мере, 10%, по меньшей мере, 25%, по меньшей мере, 50%, по меньшей мере, 75%, по меньшей мере, 90% или все количество) CO_2 , O_2 и/или H_2 , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие. Например, на ФИГУРЕ 1D реактор 100 включает третье выпускное отверстие 195 и четвертое выпускное отверстие 196. В некоторых случаях второе выпускное отверстие, третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 , O_2 и/или H_2 . Например, в некоторых случаях второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 и O_2 в то время, как третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 . В определенных случаях второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 , третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки O_2 , а четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 .

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реактор, кроме того, включает одну или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, между первым электродом и вторым электродом. В определенных вариантах осуществления одна или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, включают две мембраны, селективно проницаемые для ионов. Например, на ФИГУРЕ 2B реактор 101 включает две мембраны, селективно проницаемые для ионов, (мембрану 110a и мембрану 110b) между катодом 104 и катодом 105, при этом между мембранами, селективно проницаемыми для ионов, (мембраной 110a и мембраной 110b) формируют отдельную камеру 113. В некоторых вариантах осуществления две мембраны, селективно проницаемые для ионов, являются идентичными друг другу. В определенных вариантах осуществления две мембраны, селективно проницаемые для ионов, являются отличными друг от друга.

В некоторых вариантах осуществления одну или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, конфигурируют для предотвращения осаждения твердого вещества на первом электроде, предотвращения пассивирования твердым веществом первого электрода и/или предотвращения загрязнения двумя различными твердыми веществами друг друга.

В соответствии с определенными вариантами осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, делает возможным сквозное прохождение ионов при

одновременном ограничении (или исключении) прохождения твердого вещества. Например, на ФИГУРАХ 3А и 3В мембраны, селективно проницаемые для ионов, (мембрана 110a и мембрана 110b) могут содержать пористый волокнистый материал, такой как фильтровальная бумага, который делает возможным сквозное прохождение ионов при одновременном ограничении (или исключении) прохождения твердых веществ. Например, в некоторых вариантах осуществления ион металла (например, Ca^{2+}) может проходить насквозь, в то время как сквозное прохождение твердой металлической соли (например, твердого карбоната металла, такого как CaCO_3 в твердом состоянии) или осадка (например, твердого гидроксида металла, такого как Ca(OH)_2 в твердом состоянии) ограничивается (или совершенно не допускается).

В некоторых вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, делает возможным сквозное прохождение ионов, но ограничивает (или исключает) прохождение неионных соединений. В определенных вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, делает возможным сквозное прохождение ионов при первой скорости и делает возможным сквозное прохождение неионных соединений при второй скорости, которая является меньшей, чем первая скорость. В некоторых вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, делает возможным сквозное прохождение определенных ионов, но ограничивает (или исключает) прохождение других ионов. В определенных вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, делает возможным сквозное прохождение определенных ионов при первой скорости и делает возможным сквозное прохождение других ионов при второй скорости, которая является меньшей, чем первая скорость. В некоторых вариантах осуществления мембраны, селективно проницаемые для ионов, могут сделать возможным сквозное прохождение определенных ионов металлов, но ограничивают (или исключают) прохождение других (или делают возможным более быстрое сквозное прохождение определенных ионов металлов, чем других), могут сделать возможным сквозное прохождение H^+ , но ограничивают (или исключают) прохождение OH^- (или делают возможным более быстрое сквозное прохождение H^+ , чем OH^-), могут сделать возможным сквозное прохождение OH^- , но ограничивают (или исключают) прохождение H^+ (или делают возможным более быстрое сквозное прохождение OH^- , чем H^+), могут сделать возможным сквозное прохождение ионов металлов, но ограничивают (или исключают) прохождение H^+ и/или OH^- (или делают возможным более быстрое сквозное прохождение ионов металлов, чем H^+ и/или OH^-) и/или могут сделать возможным сквозное прохождение H^+ и/или OH^- , но ограничивают (или исключают) прохождение ионов металлов (или делают возможным более быстрое сквозное прохождение H^+ и/или OH^- , чем ионов металлов).

Например, в некоторых вариантах осуществления мембрана 110a является селективно проницаемой для ионов, например, мембрана 110a может быть проницаемой для ионов OH^- , но относительно менее проницаемой для ионов Ca^{2+} , в то время как мембрана 110b также является селективно проницаемой для ионов, но, например, может

быть проницаемой для ионов Ca^{2+} , но относительно менее проницаемой для ионов OH^- . В данном примере Ca^{2+} из первой области (например, кислотной области) 107 могли бы диффундировать через мембрану 110b, которая является селективно проницаемой для ионов, в отдельную камеру 113, но не могли бы диффундировать через мембрану 110a, которая является селективно проницаемой для различных ионов, во вторую область (например, щелочную область) 106. В дополнение к этому, в данном примере ионы OH^- из второй области (например, щелочной области) 106 могли бы диффундировать через мембрану 110a, которая является селективно проницаемой для ионов, в отдельную камеру 113, но не могли бы диффундировать через мембрану 110b, которая является селективно проницаемой для других ионов. Таким образом, в данном примере Ca^{2+} и OH^- были бы только способны вступать в реакцию, образуя $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии, в отдельной камере 113, предотвращая образование $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии на катоде 104 или аноде 105. В соответствии с этим, в некоторых вариантах осуществления одна или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, могли бы предотвратить осаждение твердого вещества (например, твердого гидроксида металла, такого как $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии) на первом электроде (например, катоде), предотвратить пассивирование твердым веществом (например, твердым гидроксидом металла, таким как $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии) первого электрода (например, катода); и/или предотвратить загрязнение двумя различными твердыми веществами - химическим соединением (например, металлической солью, такой как твердый карбонат металла, такой как твердый карбонат кальция) и осадком (например, твердым гидроксидом, таким как твердый гидроксид металла, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии) - друг друга.

В определенных вариантах осуществления реактор направлен на производство прокаленной или разложившейся минеральной или металлической соли (например, карбоната металла) при использовании электрохимических и химических средств. В некоторых вариантах осуществления в результате использования такого реактора вместо традиционного термического прокаливания, которое включает нагревание минеральных или металлических солей для их разложения, уменьшается или избегается использование ископаемых топлив для производства тепловой энергии и связанное с этим производство парниковых газов (например, CO_2) или газов, которые представляют собой атмосферные загрязнители.

Определенные аспекты относятся к системам для производства цемента. Неограничивающие примеры таких систем демонстрируются на ФИГУРАХ 1A - D.

В некоторых вариантах осуществления система включает реактор. Например, на ФИГУРЕ 1C система 100 включает реактор 101.

В определенных вариантах осуществления реактор включает любой из вариантов осуществления, раскрытых выше или в других местах в настоящем документе, или их комбинации.

В соответствии с определенными вариантами осуществления реактор имеет область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава

(например, пространственно варьирующийся градиент значения pH). В некоторых вариантах осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) имеет первую область (например, кислотную область) и вторую область (например, щелочную область). Например, на ФИГУРЕ 1А система 100 включает реактор 101, который включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107.

В соответствии с определенными вариантами осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 6 и менее, 5 и менее, 4 и менее, 3 и менее или 2 и менее. В некоторых вариантах осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим, по меньшей мере, 0, по меньшей мере, 1, по меньшей мере, 2, по меньшей мере, 3 или, по меньшей мере, 4. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 0 до 6, включительно).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 8 и более, 9 и более, 10 и более, 11 и более или 12 и более. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 14 и менее, 13 и менее, 12 и менее, 11 и менее или 10 и менее. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 8 до 14, включительно).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реактор конфигурируют таким образом, чтобы пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) был бы установлен и/или сохранен, по меньшей мере, частично, в результате электролиза. Например, на ФИГУРЕ 2А реактор 101 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107, и данный пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) устанавливали и/или сохраняли в результате электролиза. Электролиз нейтрального электролита в соответствии с некоторыми вариантами осуществления приводит к получению пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH) между электродами, такими как катод 104 и анод 105. В некоторых вариантах осуществления электролиз включает гидролиз. В соответствии с использованием в настоящем документе термин «гидролиз» относится к электролизу воды. Например, в некоторых вариантах осуществления реакция, протекающая на катоде, представляет собой $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$, в то время как реакция, протекающая на аноде, представляет собой $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$. В некоторых вариантах осуществления образование гидроксидных ионов на катоде 104 или поблизости

от него устанавливает и/или сохраняет щелочное значение pH на катоде 104 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя вторую область (например, щелочную область) 106, в то время как образование протонов на аноде 105 или поблизости от него устанавливает кислотное значение pH на аноде 105 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя первую область (например, кислотную область) 107.

В определенных вариантах осуществления реактор включает впускное отверстие реактора, сконфигурированное для приема карбоната кальция. Например, на ФИГУРЕ 1А система 100 включает реактор 101, который включает впускное отверстие реактора 114, и впускное отверстие реактора 144 конфигурируют для приема карбоната кальция.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает выпускное отверстие реактора. Например, на ФИГУРЕ 1С система 100 включает реактор 101, который включает выпускное отверстие реактора 115. В некоторых вариантах осуществления выпускное отверстие реактора конфигурируют для выгрузки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает более, чем одно выпускное отверстие реактора (например, по меньшей мере, 1, по меньшей мере, 2, по меньшей мере, 3, по меньшей мере, 4, менее, чем или ровно 5, менее, чем или ровно 4, менее, чем или ровно 3 или менее, чем или ровно 2; также возможными являются и комбинации из данных диапазонов). В определенных вариантах осуществления реактор включает второе выпускное отверстие. Например, на ФИГУРЕ 1С реактор 101 включает второе выпускное отверстие 190.

В определенных вариантах осуществления второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 , O_2 и/или H_2 . В некоторых случаях CO_2 необходимо хранить, использовать в жидком топливе, использовать в кислородно-топливной смеси, использовать в методах повышения нефтеотдачи, использовать для производства сухого льда и/или использовать в качестве ингредиента в напитке. В некоторых вариантах осуществления O_2 необходимо хранить, использовать в форме кислородно-топливной смеси, использовать в области применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи. В определенных случаях H_2 необходимо хранить и/или использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе и/или для нагревания системы). В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере, часть (например, по меньшей мере, 10%, по меньшей мере, 25%, по меньшей мере, 50%, по меньшей мере, 75%, по меньшей мере, 90% или все количество) CO_2 , O_2 и/или H_2 , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие. Например, на ФИГУРЕ 1D реактор 100 включает третье выпускное отверстие 195 и четвертое выпускное отверстие 196. В некоторых случаях второе выпускное отверстие, третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 , O_2 и/или H_2 . Например, в некоторых случаях второе выпускное отверстие конфигурируют для

выгрузки CO_2 и O_2 в то время, как третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 . В определенных случаях второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки CO_2 , третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки O_2 , а четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 .

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления систему конфигурируют для сбора побочного продукта, отличного от твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция. В некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает CO_2 , O_2 и/или H_2 . Например, на ФИГУРЕ 2А побочный продукт 108 образуется на катоде 104, а побочный продукт 109 образуется на аноде 105. В некоторых вариантах осуществления побочный продукт 108 включает H_2 (г.). В некоторых вариантах осуществления побочный продукт 109 включает O_2 (г.) и/или CO_2 (г.). Например, в некоторых вариантах осуществления в реакторе 101 проводят гидролиз, и реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы H_2O и 2 электрона в H_2 (г.) (побочный продукт 108) и 2 OH^- , в то время как реакция, протекающая в аноде, превращает две молекулы H_2O в O_2 (г.) (побочный продукт 109), 4 электрона, и 4 протона. В определенных вариантах осуществления в первую область (например, кислотную область) 107 добавляют химическое соединение (например, металлическую соль) 111 (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция), и химическое соединение (например, металлическая соль) 111 вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) 107 таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) 111 растворялось бы, образуя один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}). Например, в некоторых вариантах осуществления результирующая реакция между CaCO_3 и двумя протонами в результате приводит к образованию H_2O , Ca^{2+} и CO_2 (г.) (побочный продукт 109).

В некоторых вариантах осуществления сбор побочного продукта включает сбор любого из побочных продуктов. Например, в некоторых вариантах осуществления сбор побочного продукта включает сбор каждого представителя, выбираемого из CO_2 , O_2 и H_2 ; сбор только CO_2 ; сбор только O_2 ; сбор только H_2 ; сбор CO_2 и O_2 ; сбор CO_2 и H_2 или сбор O_2 и H_2 . Например, в некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает CO_2 , а сбор побочного продукта включает хранение CO_2 .

В определенных вариантах осуществления система включает обжигательную печь. Например, на ФИГУРЕ 1С система 100 включает обжигательную печь 102. В некоторых вариантах осуществления обжигательная печь включает выпускное отверстие обжигательной печи. Например, на ФИГУРЕ 1А обжигательная печь 102 включает выпускное отверстие обжигательной печи 116. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления обжигательная печь располагается по ходу технологического потока ниже выпускного отверстия реактора. Например, на ФИГУРЕ 1А обжигательная печь 102 располагается по ходу технологического потока ниже выпускного отверстия реактора 115.

В соответствии с определенными вариантами осуществления система, кроме того, включает нагреватель между выпускным отверстием реактора и впускным отверстием

обжигательной печи. Например, на ФИГУРЕ 1В нагреватель 103 располагается между выпускным отверстием реактора 115 и впускным отверстием обжигательной печи 116. Примеры нагревателей включают устройства, которые нагревают или дегидратируют вещество, расположенное внутри него. Например, нагреватель 103 мог бы нагревать или дегидратировать осадок (например, металлсодержащий осадок, такой как гидроксид металла, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$) до образования его оксида (например, CaO), частично или полностью. В некоторых вариантах осуществления выпускное отверстие реактора скрепляют непосредственно с впускным отверстием обжигательной печи. Например, на ФИГУРЕ 1А выпускное отверстие реактора 115 скрепляют непосредственно с впускным отверстием обжигательной печи 116.

В соответствии с использованием в настоящем документе непосредственное скрепление между первой установкой и второй установкой (и две установки называются «непосредственно скрепленными» друг с другом) существует тогда, когда они соединяются друг с другом, и состав материала, переносимого между установками, существенно не меняется (то есть, никакой компонент не изменяется по относительному уровню содержания на более, чем 5%) по мере его транспортирования из первой установки во вторую установку. В качестве одного иллюстративного примера канал, который соединяет первую и вторую установки, и в котором давление и температуру содержимого канала подстраивают, но состав содержимого не изменяют, будет называться непосредственно скрепляющим первую и вторую установки. С другой стороны, в случае проведения стадии разделения и/или проведения химической реакции, которая существенно изменяет состав содержимого канала во время его прохождения от первой установки до второй установки, канал не будет называться непосредственно соединяющим первую и вторую установки. В некоторых вариантах осуществления две установки, которые непосредственно скрепляются друг с другом, конфигурируют таким образом, чтобы не было бы какого-либо фазового изменения материала по мере его транспортирования из первой установки во вторую установку.

В определенных вариантах осуществления впускное отверстие обжигательной печи конфигурируют для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция. Например, в некоторых вариантах осуществления гидроксид кальция собирают из выпускного отверстия реактора 115, а выпускное отверстие реактора 115 непосредственно скрепляют с впускным отверстием обжигательной печи 116 таким образом, чтобы впускное отверстие обжигательной печи 116 было бы сконфигурировано для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция. В определенных вариантах осуществления гидроксид кальция собирают из выпускного отверстия реактора 115 и транспортируют в нагреватель 103. В некоторых вариантах осуществления нагреватель 103 превращает гидроксид кальция в оксид кальция, полностью или частично. В некоторых вариантах осуществления впускное отверстие обжигательной печи 116 конфигурируют для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция и/или

твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция, из нагревателя 103.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления обжигательную печь конфигурируют для нагревания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести (например, твердого оксида кальция) и/или продукта их реакции в качестве части технологического процесса изготовления цемента. В некоторых вариантах осуществления нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в качестве части технологического процесса изготовления цемента включает нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в обжигательной печи совместно с другими соединениями. Например, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеная известь могли бы быть нагреты в обжигательной печи совместно с SiO_2 или другими минералами.

В определенных случаях система характеризуется меньшими результирующими выбросами углерода (например, на, по меньшей мере, 10% меньшими, по меньшей мере, 25% меньшими, по меньшей мере, 50% меньшими, по меньшей мере, 75% меньшими или, по меньшей мере, 90% меньшими), чем по существу подобные системы, в которых используется традиционное термическое прокаливание вместо электрохимического реактора. В некоторых случаях система характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода.

Определенные аспекты относятся к способам. Определенные аспекты относятся к способам производства кислоты и основания в результате электролиза. Один неограничивающий пример одного такого способа может быть описан по отношению к вариантам осуществления, продемонстрированным на ФИГУРЕ 1А.

В некоторых вариантах осуществления способ включает производство кислоты и основания в результате электролиза (например, гидролиза). Например, в определенных вариантах осуществления кислоту производят в первой области (например, кислотной области) 107, а основание производят во второй области (например, щелочной области) 106 на ФИГУРЕ 1А. В определенных вариантах осуществления способ включает растворение металлической соли (например, карбоната металла, такого как карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля) в кислоте. Например, в некоторых случаях металлическая соль может быть добавлена через впускное отверстие реактора 114 на ФИГУРЕ 1А в первую область (например, кислотную область) 107, где ее растворяют в кислоте. В некоторых случаях способ включает осаждение гидроксида металла (например, гидроксида кальция, гидроксида магния и/или гидроксида никеля) в основании. Например, в определенных случаях гидроксид металла может быть осажден во второй области (например, щелочной области) 106 на ФИГУРЕ 1А. В некоторых вариантах осуществления способ включает сбор осажденного гидроксида металла. Например, в определенных вариантах осуществления осажденный гидроксид металла может быть собран из выпускного отверстия реактора 115 на ФИГУРЕ 1А. В некоторых случаях электролиз производит пространственно варьирующийся градиент химического состава в реакторе (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH в реакторе).

Например, в некоторых случаях электролиз производит пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107 в реакторе 101 на ФИГУРЕ 1А.

Определенные аспекты относятся к способам формирования осадков в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). Один неограничивающий пример одного такого способа может быть описан в отношении вариантов осуществления, продемонстрированных на ФИГУРАХ 2А и 2В.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ осуществляют в реакторе и/или системе в соответствии с описанием изобретения в связи с любым из вариантов осуществления, раскрытых выше или других местах в настоящем документе, или их комбинациями.

В определенных вариантах осуществления способ включает установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент химического состава. В некоторых вариантах осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава включает пространственно варьирующийся градиент значения pH. Например, на ФИГУРЕ 2А реактор 101 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107. В определенных вариантах осуществления первая область включает кислотную область. В некоторых вариантах осуществления вторая область включает щелочную область.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), включает проведение электролиза. Например, на ФИГУРЕ 2А реактор 101 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), имеющий вторую область (например, щелочную область) 106 и первую область (например, кислотную область) 107, и данный пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) устанавливали и/или сохраняли в результате электролиза. Электролиз нейтрального электролита может производить в соответствии с некоторыми вариантами осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) между электродами, такими как катод 104 и анод 105. В некоторых вариантах осуществления электролиз включает гидролиз. В соответствии с использованием в настоящем документе термин «гидролиз» относится к электролизу воды. Например, в некоторых вариантах осуществления реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы H_2O и 2 электрона в H_2 и 2 OH^- , в то время как реакция,

протекающая в аноде, превращает 2 молекулы H_2O в O_2 , 4 электрона и 4 протона. В некоторых вариантах осуществления образование гидроксидных ионов на катоде 104 или поблизости от него обеспечивает установление и/или сохранение щелочного значения pH на катоде 104 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя вторую область (например, щелочную область) 106, в то время как образование протонов на аноде 105 или поблизости от него обеспечивает установление кислотного значения pH на аноде 105 или поблизости от него, устанавливая и/или сохраняя первую область (например, кислотную область) 107.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает транспортирование химического соединения (например, металлической соли) в первую область (например, кислотную область) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). В определенных вариантах осуществления металлическая соль включает карбонат металла. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления карбонат металла включает карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля. Например, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает транспортирование карбоната кальция в первую область (например, кислотную область) пространственно варьирующегося градиента значения pH. Например, на ФИГУРЕ 2А химическое соединение (например, металлическую соль) 111 (например, карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область) 107 пространственно варьирующегося градиента значения pH.

В соответствии с определенными вариантами осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 6 и менее, 5 и менее, 4 и менее, 3 и менее или 2 и менее. В некоторых вариантах осуществления кислотная область характеризуется значением pH, составляющим, по меньшей мере, 0, по меньшей мере, 1, по меньшей мере, 2, по меньшей мере, 3 или, по меньшей мере, 4. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 0 до 6, включительно).

В соответствии с определенными вариантами осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) растворяют и/или вводят в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). Неограничивающие примеры жидкостей включают неводные или водные растворы. Примеры неводных растворов включают растворы, содержащие неводный растворитель и соль электролита, и/или растворы, содержащие ионную жидкость. Примеры водных растворов включают растворы, содержащие воду и соль электролита. Примеры солей электролита включают NaSO_4 и NaClO_4 . В некоторых вариантах осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) растворяют и вводят в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). Например, в некоторых

вариантах осуществления карбонат кальция растворяют и/или вводят в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). В некоторых вариантах осуществления карбонат кальция растворяют и вводят в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). Например, на ФИГУРЕ 2А химическое соединение (например, металлическую соль) 111 (например, карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область) 107, и химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат кальция) вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) 107 таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат кальция) растворялось бы, образуя один или несколько элементов, таких как металл (например, образуя Ca^{2+} и HCO_3^- или Ca^{2+} и H_2CO_3). В некоторых вариантах осуществления один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}) перемещаются во вторую область (например, щелочную область) 106, где они вступают в реакцию с гидроксидными ионами во второй области (например, щелочной области) 106, формируя осадок 112 (например, металлсодержащий осадок, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$). В некоторых вариантах осуществления первая область включает кислотную область. В определенных вариантах осуществления вторая область включает щелочную область. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) растворяют в кислотной области, и один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}) вступают в реакцию в щелочной области. В других вариантах осуществления первая область включает щелочную область. В некоторых вариантах осуществления вторая область включает кислотную область. В соответствии с определенными вариантами осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) растворяют в щелочной области, а один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}) вступают в реакцию в кислотной области.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает сбор осадка из второй области (например, щелочной области) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). В определенных вариантах осуществления осадок включает металлсодержащий осадок, такой как гидроксид металла. Неограничивающие примеры гидроксидов металлов включают гидроксид никеля, гидроксид кальция и гидроксид магния. Например, в примере, представленном выше, один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}) перемещаются во вторую область (например, щелочную область) 106, где они вступают в реакцию с гидроксидными ионами во второй области (например, щелочной области), формируя осадок 112 (например, металлсодержащий осадок, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$). В соответствии с этим, в некоторых вариантах осуществления способ включает сбор твердого гидроксида кальция из щелочной области пространственно варьирующегося градиента химического

состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). Неограничивающие примеры вариантов, по которым один или несколько элементов (например, металл) могут перемещаться во вторую область (например, щелочную область) 106, включают диффундирование, транспортирование в результате конвекции и/или транспортирование в результате течения.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 8 и более, 9 и более, 10 и более, 11 и более или 12 и более. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 14 и менее, 13 и менее, 12 и менее, 11 и менее или 10 и менее. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, значение pH в диапазоне от 8 до 14, включительно).

В соответствии с определенными вариантами осуществления осадок содержит один или несколько элементов (например, металл) из химического соединения (например, металлической соли), растворенного и/или вступившего в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). В некоторых вариантах осуществления один или несколько элементов включают элементарный металл. Термин «металл» в данном контексте относится к металлу в металлической форме или иону металла. В некоторых вариантах осуществления осадок содержит катион металла из металлической соли, которая была растворена и/или введена в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH), и данный катион металла ионно связывается с анионом в осадке. Например, в определенных вариантах осуществления твердый гидроксид кальция содержит кальций из карбоната кальция, растворенного и/или введенного в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH). В качестве одного неограничивающего примера на ФИГУРЕ 2А в соответствии с представленным выше обсуждением изобретения химическое соединение (например, металлическую соль) 111 (например, карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область) 107, и химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат кальция) вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) 107 таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат кальция) растворялось бы, образуя один или несколько элементов, таких как металл, (например, образуя Ca^{2+} и HCO_3^- или Ca^{2+} и H_2CO_3). В некоторых вариантах осуществления один или несколько элементов (например, металл, такой как Ca^{2+}) перемещаются во вторую область (например, щелочную область) 106, где они вступают в реакцию с гидроксидными ионами во второй области (например, щелочной области) 106, формируя осадок 112 (например, металлсодержащий осадок, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Таким образом, осадок 112 (например, металлсодержащий осадок, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$) содержит один или несколько элементов (например, металл) от химического соединения (например,

металлической соли) 111 (например, карбоната кальция), растворенного и введенного в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения pH).

В соответствии с определенными вариантами осуществления способом является способ изготовления цемента.

В соответствии с определенными вариантами осуществления способ включает нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести (например, твердого оксида кальция) и/или продукта их реакции в обжигательной печи для изготовления цемента. В качестве одного неограничивающего примера на ФИГУРЕ 1А после сбора гидроксида кальция из реактора 101 гидроксид кальция может быть нагрет в обжигательной печи 102 для изготовления цемента. В некоторых вариантах осуществления это включает отвод гидроксида кальция из реактора и расположение его непосредственно в обжигательной печи. В альтернативном варианте, в определенных вариантах осуществления имеют место стадии в промежутке между сбором гидроксида кальция и нагреванием в обжигательной печи. Например, на ФИГУРЕ 1В после сбора гидроксида кальция из реактора 101 он переходит в нагреватель 103. В некоторых вариантах осуществления нагреватель 103 превращает гидроксид кальция в его оксид кальция, а после этого гидроксид кальция и/или оксид кальция нагревают в обжигательной печи 102. В некоторых вариантах осуществления нагреватель 103 превращает 100% (масс.) гидроксида кальция в его оксид кальция, и только оксид кальция нагревают в обжигательной печи 102. В других вариантах осуществления нагреватель 103 превращает 10% и более, 20% и более, 30% и более, 40% и более, 50% и более, вплоть до 90%, вплоть до 95% или вплоть до 99% (масс.) гидроксида кальция в оксид кальция. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, от 10% до 100% (масс.), включительно). В некоторых вариантах осуществления в обжигательной печи 102 нагревают как гидроксид кальция, так и оксид кальция. Примеры нагревателей включают устройства, которые нагревают или дегидратируют вещество, расположенное внутри них.

В некоторых вариантах осуществления нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести (например, твердого оксида кальция) и/или продукта их реакции в обжигательной печи для изготовления цемента включает нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести (например, твердого оксида кальция) и/или продукта их реакции в обжигательной печи совместно с другими соединениями. Например, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердый гидроксид кальция) и/или негашеную известь (например, твердый оксид кальция) и/или продукт их реакции могли бы быть нагреты в обжигательной печи совместно с SiO_2 или другими минералами.

В определенных вариантах осуществления имеются последующие стадии после нагревания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести (например, твердого оксида кальция) и/или продукта их реакции в обжигательной печи до изготовления цемента. Например, в определенных вариантах осуществления после

обжигательной печи имеет место стадия охлаждения.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ представляет собой часть периодического технологического процесса. В определенных вариантах осуществления осадок (например, гидроксид металла, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$) периодически собирают из реактора. В соответствии с определенными вариантами осуществления способ осуществляют непрерывно. В некоторых вариантах осуществления химическое соединение (например, металлическую соль, такую как карбонат металла, такой как CaCO_3) добавляют непрерывно или периодически на аноде и/или в первой области (например, кислотной области). В определенных вариантах осуществления осадок (например, гидроксид металла, такой как $\text{Ca}(\text{OH})_2$) собирают непрерывно или периодически. Неограничивающие примеры сбора осадка (например, гидроксида металла, такого как $\text{Ca}(\text{OH})_2$) включают сбор его под воздействием струйного течения и/или обеспечение его выпадения в осадок на поверхности, с которой его непрерывно или периодически собирают.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ производит побочный продукт, отличный от осадка. Например, в некоторых вариантах осуществления способ производит побочный продукт, отличный от твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция. В некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает CO_2 , O_2 и/или H_2 . Например, на ФИГУРЕ 2А побочный продукт 108 образуется на катоде 104, а побочный продукт 109 образуется на аноде 105. В некоторых вариантах осуществления побочный продукт 108 включает H_2 (г.). В некоторых вариантах осуществления побочный продукт 109 включает O_2 (г.) и/или CO_2 (г.). Например, в некоторых вариантах осуществления в реакторе 101 проводят гидролиз, и реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы H_2O и 2 электрона в H_2 (г.) (побочный продукт 108) и 2 OH^- , в то время как реакция, протекающая в аноде, превращает две молекулы H_2O в O_2 (г.) (побочный продукт 109), 4 электрона, и 4 протона. В определенных вариантах осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) 111 (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область) 107, и химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) 107 таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) 111 (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) растворялось бы, образуя один или несколько элементов (например, металл). В некоторых вариантах осуществления результирующая реакция между CaCO_3 и двумя протонами в результате приводит к образованию H_2O , Ca^{2+} и CO_2 (г.) (побочный продукт 109).

В соответствии с определенными вариантами осуществления способ, кроме того, включает сбор побочного продукта. Например, в некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает CO_2 , O_2 и H_2 . В определенных вариантах осуществления сбор побочного продукта включает сбор каждого представителя, выбираемого из CO_2 , O_2 и H_2 ;

сбор только CO_2 ; сбор только O_2 ; сбор только H_2 ; сбор CO_2 и O_2 ; сбор CO_2 и H_2 или сбор O_2 и H_2 . Например, в некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает CO_2 , а сбор побочного продукта включает хранение CO_2 .

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления побочный продукт используют в качестве топлива. В некоторых вариантах осуществления H_2 можно использовать в качестве топлива. Неограничивающие примеры включают непосредственное сжигание H_2 или использование его вместе с топливом, таким как природный газ. В некоторых вариантах осуществления O_2 и CO_2 используют для поддержания сгорания топлива, такого как ископаемое топливо. В некоторых вариантах осуществления побочные продукты используют в качестве топлива для обжигательной печи. Например, в некоторых вариантах осуществления O_2 и CO_2 подают в обжигательную печь для поддержания сгорания топлива, такого как ископаемое топливо. В определенных вариантах осуществления H_2 , O_2 и CO_2 вводят в реакцию в топливном элементе, таком как твердый оксидный топливный элемент. В определенных вариантах осуществления H_2 и O_2 вводят в реакцию в топливном элементе для производства электрической энергии.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реакторы, системы и способы, описанные в настоящем документе, отображают одно или несколько выгодных свойств и характеризуются одной или несколькими областями применения. Например, некоторые варианты осуществления реакторов, систем и способов, описанных в настоящем документе, могут быть использованы для производства цемента (например, портландцемента). Например, в некоторых вариантах осуществления реактор используют вместо прокаливания в традиционном технологическом процессе производства цемента.

Помимо этого, определенные варианты осуществления реакторов, систем и способов, описанные в настоящем документе, могут быть использованы для производства цемента при меньшем производстве атмосферных загрязнителей или парниковых газов, таких как CO_2 , чем в традиционных технологических процессах производства цемента. Традиционные технологические процессы производства цемента включают прокаливание CaCO_3 при использовании термических средств, что отвечает за приблизительно 60% выбросов CO_2 в то время, как приблизительно 40% выбросов CO_2 представляют собой результат сжигания ископаемых топлив для осуществления технологических процессов прокаливания и спекания.

В некоторых вариантах осуществления вещество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, произведенное при использовании способов, реакторов и/или систем, описанных в настоящем документе, можно использовать в целях производства CaO для изготовления цемента вместо традиционного прокаливания CaCO_3 для получения CaO . Термическая дегидратация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием CaO характеризуется на 25% меньшей минимальной потребностью в энергии (71,2 кДж/моль), чем термическое прокаливание CaCO_3 для получения CaO (97,0 кДж/моль).

В соответствии с определенными вариантами осуществления реактор и/или

система запитывается, частично или полностью, электричеством из возобновляемых источников (например, солнечной энергии, ветровой энергии и/или гидроэлектрической энергии).

В соответствии с определенными вариантами осуществления образуются побочные продукты, такие как CO_2 , H_2 и/или O_2 , которые демонстрируют множество возможных вариантов использования, включающих кислородно-топливное сгорание, улучшенную производительность обжигательной печи, уменьшенные выбросы NO_x и/или в качестве дымовых газов, подходящих для использования при улавливании и хранении углерода (CCS). Таким образом, в некоторых вариантах осуществления побочные продукты могли бы быть проданы или использованы.

В одном варианте осуществления химический реактор, работающий по электролитическому механизму, включает электролизный элемент для электролиза воды. Как это продемонстрировано на фигуре 5, такой элемент при проведении электролиза производит высокое значение pH на катоде, где протекает реакция выделения водорода (РВВ) при производстве OH^- , и производит низкое значение pH на аноде, где протекает реакция выделения кислорода (РВК) при производстве H^+ . Поэтому в соответствии с определенными вариантами осуществления между катодом и анодом производится градиент значения pH. В других таких электролитических элементах может быть произведен градиент по другим частицам в зависимости от природы реакции электролиза.

В одном варианте осуществления упомянутый градиент значения pH используют для растворения карбоната металла при низком значении pH в окрестности анода и для осаждения гидроксида металла по мере диффундирования иона металла в направлении окружающей среды на катоде, характеризующейся увеличенным значением pH. В некоторых таких вариантах осуществления по мере растворения карбоната металла поблизости от анода производится CO_2 в газообразном состоянии, как это продемонстрировано на фигуре 6, и катионы металлов карбоната производятся в растворе. После этого они диффундируют в соответствии с некоторыми такими вариантами осуществления или необязательно транспортируются под воздействием конвекции или течения в направлении характеризующейся высоким значением pH окружающей среды, произведенной в результате реакции РВВ на катоде. Как это продемонстрировано на фигуре 7, и в соответствии с некоторыми вариантами осуществления реакция между ионом металла и ионами OH^- , произведенными на катоде, в результате приводит к осаждению гидроксида металла. Электрохимические и химические реакции, протекающие на каждом электроде, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления и совокупная реакция демонстрируются на фигуре 8. Почти что любой карбонат металла или смеси из карбонатов металлов могут быть превращены в свои гидроксид или гидроксиды при использовании такого технологического процесса, при этом неограничивающие примеры карбонатов металлов включают CaCO_3 , MgCO_3 и NiCO_3 . В некоторых таких вариантах осуществления одновременно с производством гидроксида металла из исходного карбоната металла на катоде высвобождается газообразный

водород, а на аноде высвобождается смесь из газообразного кислорода и газообразного диоксида углерода.

В одном или нескольких вариантах осуществления реактор функционирует периодическим образом, при котором периодически собирают продукт в виде гидроксида металла. На фигуре 9 иллюстрируется один такой способ сбора, при котором между двумя электродами предусматривается отдельная камера для целей сбора осажденного гидроксида металла. В одном или нескольких вариантах осуществления реактор функционирует непрерывным образом так, чтобы дополнительный карбонат металла добавляли бы непрерывно или периодически на аноде, а осажденный гидроксид металла непрерывно или периодически удаляли бы из реакционной зоны. Например, осажденный гидроксид металла может быть удален из реакционной зоны при использовании струйного течения и собран, или осадку может быть дана возможность образовать отложения на поверхности таким образом, как и на фигуре 9, откуда его непрерывно или периодически удаляют при одновременном продолжении функционировании реактора.

На фигурах 3А, 10 и 3В демонстрируется один пример, в котором используется реактор в виде Н-элемента описанным выше образом. В данном иллюстративном варианте осуществления используют NiCO_3 в качестве вводимого карбоната и производят Ni(OH)_2 в качестве гидроксидного продукта. В данном иллюстративном варианте осуществления для иллюстрирования градиента значения рН, произведенного при использовании электролизного элемента, добавляют универсальный индикатор значения рН до добавления карбоната никеля (фигура 3А). После добавления карбоната никеля в анодную камеру в таком иллюстративном варианте осуществления гидроксид никеля осаждается в середине Н-элемента, где растворенные никелевые ионы вступили в реакцию с частицами OH^- (фигура 3В).

Фигуры 4А - 4С демонстрируют один пример, в котором реактор изобретения используют для производства Ca(OH)_2 из CaCO_3 . В данном случае также в данном варианте осуществления в середине Н-элемента формировался осадок. Осадок в иллюстративных вариантах осуществления был подтвержден как Ca(OH)_2 при использовании рентгеноструктурного анализа.

В некоторых вариантах осуществления газообразные водород и/или кислород, произведенные при использовании электрохимического реактора, выгодным образом используют или продают. В некоторых вариантах осуществления водород и кислород вводят в реакцию в топливном элементе для производства электрической энергии. В некоторых вариантах осуществления водород сжигают в качестве топлива или в качестве компонента топлива в целях нагревания реактора или обжигательной печи или обжиговой печи.

В некоторых вариантах осуществления электрическую энергию для проведения эксплуатации упомянутого химического реактора, работающего по электролитическому механизму, производят из возобновляемых источников, включающих нижеследующее, но не ограничивающихся только этим: солнечная энергия, ветровая энергия или

гидроэлектрическая энергия.

В одном варианте осуществления упомянутый химический реактор, работающий по электрохимическому механизму, используют для декарбонизации CaCO_3 и производства $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в качестве предшественника для производства цемента, в том числе портландцемента. На фигуре 11 приводится один пример технологического процесса производства цемента, использующего определенные варианты осуществления изобретения, в сопоставлении с обычным производством цемента при использовании только тепловой энергии. Подходящими для использования являются как сопоставление общего потребления энергии, так и рассмотрение формы потребленной энергии и интенсивности выбросов углерода для нее. Как это предполагается для простоты, высокотемпературная термическая обработка, которая обеспечивает реакцию между CaO и алюмосиликатами и другими компонентами для получения портландцемента, является идентичной для двух технологических процессов. Было рассмотрено потребление энергии для доведения вещества CaO , произведенного в результате термического прокаливания CaCO_3 и в результате электрохимической декарбонизации со следующей далее термической дегидратацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$, до одной и той же исходной температуры 900°C . Энергию при расчете на один вводимый моль для нагревания реагента или продукта до заданной температуры рассчитывали исходя из их теплоемкости. Энергию при расчете на один моль для проведения реакций разложения представляли в виде свободной энергии реакции в стандартных условиях (то есть, парциальные давления газов составляют 1 атм.).

Исходя из сопоставления в данном примере энергии при расчете на один моль для термического прокаливания CaCO_3 с соответствующей энергией для термической дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ последняя характеризуется на 25% меньшей потребностью в энергии в виде 72,1 кДж/моль против 97,0 кДж/моль. В данном примере электрохимический технологический процесс также включает реакцию декарбонизации, при которой CaCO_3 превращается в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при свободной энергии в стандартных условиях 74,3 кДж/моль; это дополнительное потребление энергии для электрохимического технологического процесса. Однако, данный иллюстративный технологический процесс, а также реакция электролиза могут быть запитаны электричеством из возобновляемых источников, характеризующихся низкими или нулевыми выбросами углерода, при почти что нулевых предельных издержках для электричества.

Реакция электролиза, необходимая для эксплуатации реактора, в данном иллюстративном технологическом процессе требует использования 237,1 кДж/моль; однако, данная энергия, во-первых, может быть выработана также и при использовании источников, характеризующихся низкими выбросами углерода, а, во-вторых, приводит к получению водорода и кислорода, которые могут быть использованы удаленно в качестве продукта с добавленной стоимостью или могут быть использованы для запитывания технологического процесса производства цемента, например, при использовании

топливного элемента для получения электрической энергии или при использовании технологического процесса сгорания для получения тепла реакции. Произведенная энергия может быть использована для эксплуатации электролизера или для нагрева высокотемпературной обжигательной печи.

В некоторых вариантах осуществления гидроксид кальция, также известный под наименованием гашеной извести, и/или оксид кальция, который вводят в реакцию с водой для производства гашеной извести, собирают из реактора и используют в областях применения, включающих нижеследующее, но не ограничивающихся только этим: бумажное производство, улавливание углерода при обработке дымовых газов, штукатурные смеси и кладка (включая пуццолановый цемент), стабилизация почвы, регулирование значения pH, обработка воды, обработка отходов и рафинирование сахара. Нижеследующее представляет собой неограничивающие примеры вариантов использования гидроксида кальция (также известного под наименованием гашеной извести) и/или оксида кальция (также известного под наименованием негашеной извести).

1. Металлургические варианты использования

а) Черные металлы

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют при изготовлении железа и/или стали. Например, при изготовлении железа и/или стали гашеная известь может быть использована в качестве флюса для получения шлака, что предотвращает окисление железа и/или стали, и для удаления примесей, таких как диоксид кремния, фосфаты, марганец и сера. В некоторых случаях гашеную известь (в сухом виде или в виде взвеси) используют при изготовлении железа и/или стали в качестве смази для волочения проволок или стержней через волокна, в качестве покрытия на литейных формах для предотвращения слипания и/или в качестве покрытия на стальных продуктах для предотвращения коррождения. В некоторых случаях негашеную известь или гашеную известь также используют для нейтрализации кислотных отходов.

б) Цветные металлы

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют при изготовлении цветных металлов, включающих нижеследующее, но не ограничивающихся только этим: медь, ртуть, серебро, золото, цинк, никель, свинец, алюминий, уран, магний и/или кальций. Негашеная известь может быть использована в некоторых случаях в качестве флюсующего вещества для удаления примесей (таких как диоксид кремния, оксид алюминия, фосфаты, карбонаты, сера, сульфаты) из руд. Например, негашеная известь и гашеная известь могут быть использованы при флотации или извлечении для руд цветных металлов. В определенных случаях негашеная известь выполняет функцию средства для содействия отстаиванию, в целях сохранения надлежащей щелочности и/или удаления примесей (таких как сера

и/или кремний). В некоторых случаях при выплавке и переработке руд меди, цинка, свинца и/или других цветных металлов гашеную известь используют для нейтрализации сернистых газов и/или для предотвращения образования серной кислоты. В определенных случаях негашеную известь и/или гашеную известь также используют в качестве покрытия на металлах для предотвращения прохождения реакции с серосодержащими частицами. В определенных случаях при производстве алюминия негашеную известь и/или гашеную известь используют для удаления примесей (таких как диоксид кремния и/или карбонат) из бокситовых руд и/или используют для регулирования значения pH. В некоторых случаях гашеную известь используют в целях сохранения щелочного значения pH для растворения золота, серебра и/или никеля при цианидном выделении. При производстве цинка негашеную известь в определенных случаях используют в качестве восстановителя. В некоторых случаях при производстве металлических кальция и/или магния оксиды магния и/или кальция восстанавливают при высоких температурах для получения металлических магния и/или кальция.

2. Строительство

а) Кладка (отличная от портландцемента)

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления кладочных растворов, штукатурок, стукко, побелок, цементного теста, кирпичей, плит и/или не-портландцементов. В данных областях применения в определенных вариантах осуществления негашеная известь и/или гашеная известь могут быть смешаны с другими добавками и подвергнуты воздействию диоксида углерода для производства карбоната кальция, негашеная известь и/или гашеная известь могут быть введены в реакцию с другими добавками (такими как алюмосиликаты) для получения вяжущего материала, и/или негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы в качестве источника кальция. В случае строительных растворов, штукатурок, стукко и побелок в некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь смешивают с добавками и/или заполнителями (такими как песок) для получения пасты/взвеси, которые затвердевают по мере испарения воды и по мере вступления негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с атмосферным диоксидом углерода с образованием карбоната кальция. Для случая гидравлических пуццолановых цементов негашеную известь и/или гашеную известь в определенных случаях вводят в реакцию с алюминатами, силикатами и/или другими пуццолановыми материалами (например, порошкообразной топливной золой, вулканическим пеплом, доменным шлаком и/или прокаленной глиной) для получения пасты/взвеси на водной основе, которые затвердевают по мере образования нерастворимых алюмосиликатов кальция. Для случая других гидравлических цементов гашеную известь и/или негашеную известь в некоторых случаях вводят при высокой температуре в реакцию с источниками диоксида кремния, оксида алюминия и/или других добавок таким образом, чтобы образовывались бы вяжущие соединения, в том числе двухкальциевый силикат, алюминаты кальция,

трехкальцевый силикат и/или однокальцевый силикат. В некоторых случаях песчано-известковые кирпичи изготавливают в результате введения гашеной извести в контакт с источником диоксида кремния (например, песком, кремнийсодержащим щебнем и/или кремнем) и/или другими добавками при температурах, требуемых для получения силикатов кальция и/или гидратов силикатов кальция. В некоторых случаях легкий бетон (например, газобетон) изготавливают в результате введения негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с реакционно-способным диоксидом кремния, порошкообразным алюминием, водой и/или другими добавками; реакция между гашеной известью и силикатами/алюминатами вызывает образование силикатов/алюминатов кальция и/или гидратов силиката кальция, в то время как реакция между водой, гашеной известью и алюминием приводит к образованию пузырьков водорода в затвердевающей пасте. Побелка представляет собой белое покрытие, образованное из суспензии гашеной извести, которая затвердевает и схватывается по мере вступления гашеной извести в реакцию с диоксидом углерода из атмосферы. В некоторых случаях получают известково-силикатные плиты, бетон и другие известково-силикатные литые продукты при смешивании друг с другом, литье или прессовании до получения профиля материалов, образующих силикат кальция, (например, негашеной извести, гашеной извести, диоксида кремния и/или цемента) и добавок (например, целлюлозного волокна и/или антипиренов) и воды. В некоторых случаях используют высокие температуры для введения в реакцию гашеной извести, негашеной извести и/или диоксида кремния и/или для гидратации цемента.

б) Стабилизация почвы

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для стабилизации, затвердевания и/или высушивания почв. Например, негашеная известь и/или гашеная известь могут быть нанесены на рыхлые или мелкодисперсные почвы до строительства дорог, взлетно-посадочных полос и/или железнодорожных полотен и/или для стабилизации дамб и/или откосов. В некоторых случаях при нанесении негашеной извести на глинистые почвы может протекать пуццолановая реакция между глиной и негашеной известью, которая приводит к производству гидратов силикатов кальция и/или гидратов алюминатов кальция, что обеспечивает упрочнение и/или затвердевание почвы. В определенных случаях негашеная известь и/или гашеная известь, нанесенные на почвы, также могут вступать в реакцию с диоксидом углерода, которая приводит к производству твердого карбоната кальция, что также может обеспечивать упрочнение и/или затвердевание почвы. В некоторых случаях негашеная известь также может быть использована для высушивания влажных почв на строительных площадках, когда негашеная известь легко вступает в реакцию с водой с образованием гашеной извести.

с) Присадка к асфальту и вторичная переработка асфальта

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь,

произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления и/или вторичной переработки асфальта. Например, в некоторых случаях гашеную известь добавляют к горячей асфальтовой смеси в качестве минерального наполнителя и/или антиоксиданта и/или для увеличения стойкости к отпариванию воды. В определенных случаях гашеная известь может вступать в реакцию с алюмосиликатами и/или диоксидом углерода, которая приводит к созданию твердого продукта, который улучшает связь между вяжущим и заполнителем в асфальте. В качестве минерального наполнителя в некоторых случаях негашеная известь может увеличивать вязкость вяжущего, жесткость асфальта, предел прочности при растяжении асфальта и/или предел прочности при сжатии асфальта. В качестве гидравлического дорожного вяжущего в определенных случаях негашеная известь может уменьшать чувствительность к влаге и/или отпаривание влаги, придавать жесткость вяжущему таким образом, чтобы оно было бы устойчивым к колееобразованию, и/или улучшать ударную вязкость и/или сопротивление разрушению при низкой температуре. В некоторых случаях негашеная известь и/или гашеная известь, добавленные к асфальту вторичной переработки, в результате приводят к получению более значительных ранней прочности и/или сопротивления повреждению от влаги.

3. Обработка отходов, обработка воды, обработка газа

а) Обработка газа

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для удаления кислотных газов (таких как хлористый водород, диоксид серы, триоксид серы и/или фтористый водород) и/или диоксида углерода из газовой смеси (например, дымовых газов, атмосферного воздуха, воздуха в складских помещениях и/или воздуха в замкнутой окружающей среде для дыхания, такой как на подводных лодках). Например, в некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь подвергают воздействию дымовых газов, что вызывает протекание реакции между негашеной известью и/или гашеной известью и компонентами дымовых газов (такими как кислотные газы, в том числе хлористый водород, диоксид серы и/или диоксид углерода), что в результате приводит к образованию негазообразных соединений кальция (таких как хлорид кальция, сульфит кальция и/или карбонат кальция). В определенных вариантах осуществления воздействие газа на гашеную известь реализуют в результате распыления растворов и/или взвесей гашеной извести на газ и/или в результате введения газовых потоков в реакцию с сухой негашеной известью и/или гашеной известью. В определенных вариантах осуществления газовый поток, содержащий кислотные газ или газы, сначала вводят в реакцию с раствором гидроксидов щелочных металлов (например, гидроксида натрия и/или гидроксида калия) для получения растворимых промежуточных частиц (таких как карбонат калия), что впоследствии вводят в реакцию с негашеной известью и/или гашеной известью для производства твердых кальциевых частиц (таких как карбонат кальция) и регенерирования первоначального

раствора гидроксида щелочного металла. В некоторых вариантах осуществления карбонат кальция, полученный в результате прохождения реакции между негашеной известью и/или гашеной известью и диоксидом углерода или карбонатом щелочного металла, возвращают в реакторы, системы и способы, раскрытые в настоящем документе, таким образом, чтобы негашеная известь и/или гашеная известь могли бы быть регенерированы, и/или таким образом, чтобы диоксид углерода мог бы быть сохранен.

б) Обработка негазообразных отходов

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для обработки отходов, таких как биологические отходы, промышленные отходы, сточные воды и/или шламы. В некоторых случаях негашеная известь и/или гашеная известь могут быть применены для отходов в целях создания щелочной окружающей среды, которая исполняет функцию нейтрализации кислотных отходов, подавляет патогены, отпугивает мух или грызунов, устраняет неприятные запахи, предотвращает выщелачивание и/или стабилизирует и/или осаждает загрязнители (такие как тяжелые металлы, хром, медь и/или суспендированные/растворенные твердые вещества) и/или растворенные ионы, которые вызывают окалинообразование (ионы кальция и/или магния). В определенных случаях негашеная известь может быть использована для обезвоживания маслосодержащих отходов. В некоторых случаях гашеная известь может быть использована для осаждения определенных частиц, таких как фосфаты, нитраты и/или серосодержащие соединения, и/или для предотвращения выщелачивания. В определенных случаях негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы для ускорения разложения органического вещества в результате сохранения щелочных условий, которые благоприятствуют гидролизу.

с) Обработка воды

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для обработки воды. Например, негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы в некоторых случаях для создания щелочной окружающей среды, которая исполняет функцию дезинфицирования, удаления суспендированного/коллоидального материала, уменьшения твердости, регулирования значения pH, осаждения ионов, вносящих свой вклад в жесткость воды, осаждения растворенных металлов (таких как железо, алюминий, марганец, барий, кадмий, хром, свинец, медь и/или никель) и/или осаждения других ионов (таких как фторид, сульфат, сульфит, фосфат и/или нитрат).

4. Сельское хозяйство и пищевые продукты

- Сельское хозяйство

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в

настоящем документе, используют для сельского хозяйства. Например, негашеная известь и/или гашеная известь в некоторых случаях могут быть использованы индивидуально или в качестве добавки в удобрении, для регулирования значения pH почвы и/или удобрительной смеси в целях создания оптимальных условий роста и/или улучшения урожайности.

- Сахар

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для рафинирования сахара. Например, в некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь используют для увеличения значения pH для сиропа сахара-сырца, разрушения ферментов в сиропе сахара-сырца и/или вступления в реакцию с неорганическими и/или органическими частицами с образованием осадков. В определенных случаях избыточный кальций может быть осажен под воздействием диоксида углерода. В определенных случаях осажденный карбонат кальция, который получается в результате, может быть возвращен в реакторы, системы и/или способы, раскрытые в настоящем документе, для регенерирования гашеной извести.

- Кожа

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления кожи и/или пергамента. В технологическом процессе изготовления кожи в некоторых случаях используют негашеную известь для удаления шерсти и/или кератина со шкур, расщепления пучков микроструктуры дермы и/или удаления жира.

- Клей, желатин

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления клея и/или желатина. В технологическом процессе изготовления клея и/или желатина в некоторых случаях кости и/или шкуры животных замачивают в гашеной извести, что вызывает гидролиз коллагена и других белков, образуя смесь из фрагментов белков, характеризующихся различными молекулярными массами.

- Молочные продукты

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления молочных продуктов. В некоторых случаях гашеную известь используют для нейтрализации кислотности сливок до пастеризации. В определенных случаях гашеную известь используют для осаждения казеината кальция из кислотных растворов казеина. В некоторых случаях гашеную известь добавляют к обезжиренному кисломолочному продукту для производства лактата кальция.

- Промышленное плодоводство

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в промышленном плодоводстве. Например, в некоторых случаях используют гашеную известь и/или негашеную известь для удаления диоксида углерода из воздуха при хранении фруктов. В некоторых случаях гашеную известь используют для нейтрализации отработанной лимонной кислоты и увеличения значения pH фруктовых соков.

- Инсектициды/фунгициды

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве добавки к фунгицидам и/или инсектицидам. Например, гашеная известь может быть смешана с сульфатом меди для получения сульфата тетрамети (II) - пестицида. В некоторых случаях негашеная известь также может быть использована в качестве носителя для других видов пестицидов, поскольку она образует пленку на листе по мере ее карбонизации, удерживая инсектицид на листьях. В некоторых случаях гашеную известь используют для борьбы с нашествиями морской звезды на устричные отмели.

- Пищевая добавка

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве пищевой добавки. В некоторых вариантах осуществления негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы в качестве регулятора кислотности, в качестве травящего вещества, для удаления целлюлозы (например, из зерен, таких как у кукурузы) и/или для осаждения определенных анионов (таких как карбонаты) из рассолов.

5. Химические реагенты

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления химических реагентов. Например, негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы, помимо всего прочего, в качестве источника кальция и/или магния, щелочи, осушителя, каустифицирующего вещества, омыляющего вещества, склеивающего вещества, флокулянта и/или осадителя, флюсующего вещества, стеклующегося продукта, вещества, разлагающего органическое вещество, смазки, наполнителя и/или гидролизующего вещества.

а) Неорганические соединения кальция

- Осажденный карбонат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в

настоящем документе, используют для изготовления осажженного карбоната кальция. В некоторых случаях раствор и/или взвесь гашеной извести и/или раствор кальциевых ионов вводят в реакцию с диоксидом углерода и/или карбонатом щелочного металла таким образом, чтобы сформировался бы осадок карбоната кальция и/или карбоната магния. В определенных случаях осажженный карбонат щелочного металла может быть использован в качестве наполнителя, для уменьшения усадки, улучшения адгезии, увеличения плотности, модифицирования реологии и/или отбеливания/осветления пластмасс (таких как PVC и латекс), каучука, бумаги, красок, чернил, косметики и/или других покрытий. Осажденные карбонаты в некоторых случаях могут быть использованы в качестве антипиренов или опудривающего средства. В определенных случаях осажженный карбонат кальция может быть использован в качестве подщелачивателя, для сельского хозяйства, в качестве антисептического вещества, добавки для обогащения муки, добавки для пивоварения, средства, способствующего пищеварению, и/или добавки для битумных продуктов, абразива (в очистителях, моющих средствах, полирующих средствах и/или зубных пастах), диспергатора в пестицидах и/или осушителя.

- Гипохлорит кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления гипохлорита кальция - отбеливателя - в результате введения хлора в реакцию с негашеной известью и/или гашеной известью.

- Карбид кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления карбида кальция - предшественника ацетилен - в результате введения негашеной извести в реакцию с углеродистым веществом (например, коксом) при высокой температуре.

- Фосфаты кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления фосфатов кальция (однокальциевого фосфата, двухкальциевого фосфата и/или трехкальциевого фосфата) в результате проведения реакции между фосфорной кислотой и гашеной известью и/или водными кальциевыми ионами при надлежащих соотношениях. В некоторых случаях однокальциевый фосфат может быть использован в качестве добавки в самоподнимающейся муке, пищевых продуктах, обогащенных минеральными веществами, в качестве стабилизатора для молокопродуктов и/или в качестве добавки для продуктов питания. В некоторых случаях дигидрат двухкальциевого фосфата используют в зубных пастах, в качестве мягкого абразива, для обогащения продуктов питания минеральными веществами, в качестве добавки, способствующей гранулированию, и/или в качестве загущающего вещества. В определенных случаях трехкальциевый фосфат

используют в зубных пастах и/или в качестве противослеживающего вещества в продуктах питания и/или удобрениях.

- Бромид кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления бромида кальция. Это осуществляют в некоторых случаях в результате введения негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с бромисто-водородной кислотой и/или бромом и восстановителем (например, муравьиной кислотой и/или формальдегидом).

- Гексацианоферрат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления гексацианоферрата кальция в результате введения негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с цианистым водородом в водном растворе хлорида двухвалентного железа. После этого гексацианоферрат кальция может быть превращен в соль щелочного металла или гексацианоферраты. Их используют в качестве пигментов и противослеживающих веществ.

- Силицид кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления силицида кальция в результате введения в реакцию негашеной извести, кварца и/или углеродистого материала при высоких температурах. В некоторых случаях силицид кремния используют в качестве раскислителя, в качестве обессеривателя и/или для модифицирования неметаллических включений в черные металлы.

- Дихромат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления дихромата кальция в результате обжига хроматных руд совместно с негашеной известью.

- Вольфрамат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления вольфрамата кальция в результате введения негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с вольфраматом натрия, предназначенного для использования при производстве ферровольфрама и/или фосфоров для позиций, таких как лазеры, флуоресцентные лампы и/или осциллографы.

б) Органические соединения кальция

- Цитрат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления цитрата кальция в результате введения негашеной извести и/или гашеной извести в реакцию с лимонной кислотой. В некоторых случаях цитрат кальция может быть введен в реакцию с серной кислотой для регенерирования чистой лимонной кислоты.

- Известковые мыла

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления известковых мыл в результате введения негашеной извести в реакцию с алифатическими кислотами, натуральными высшими жирными кислотами, ненасыщенными карбоновыми кислотами (например, олеиновой кислотой, линолевой кислотой, этилгексаноатными кислотами), нафтеновыми кислотами и/или смоляными кислотами. В некоторых случаях известковые мыла используются в качестве смазок, стабилизаторов, разделительных смазок для пресс-форм, водоотталкивающих веществ, покрытий и/или добавок в печатных красках.

- Лактат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления лактата кальция в результате введения гашеной извести в реакцию с молочной кислотой. В определенных случаях молочная кислота может быть введена в реакцию на второй стадии с серной кислотой для производства чистой молочной кислоты. В некоторых случаях данные химические реагенты исполняют функцию коагулянтов и пенообразователей. В некоторых случаях лактат кальция используют в качестве источника кальция в фармацевтических веществах и/или продуктах питания и/или в качестве буфера.

- Тартрат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления тартрата кальция в результате введения гашеной извести в реакцию с битартратами щелочных металлов. В некоторых случаях битартрат кальция может быть введен в реакцию на второй стадии с серной кислотой для производства чистой винной кислоты. В определенных случаях винную кислоту используют в продуктах питания, фармацевтических препаратах и/или в качестве добавки в штукатурке и/или полирующем средстве для металла.

с) Неорганические химические реагенты

- Оксид алюминия

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления оксида алюминия. Негашеную

известь используют для осаждения примесей (например, силикатов, карбонатов и/или фосфатов) из подвергнутой переработке бокситовой руды при приготовлении оксида алюминия.

- Карбонаты и бикарбонаты щелочных элементов

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления карбонатов и/или бикарбонатов щелочных металлов из хлоридов щелочных металлов в аммиачно-содовом технологическом процессе. В данном технологическом процессе в некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь вводят в реакцию с хлоридом аммония (и/или хлоридами аммония, такими как хлорид изопропиламмония) для регенерирования аммиака (и/или аминов, таких как изопропиламин) после реакции между аммиаком (и/или амином) и хлоридом щелочного металла. В некоторых случаях получающийся в результате хлорид кальция может быть введен в реакцию с щелочным потоком из реакторов, систем, и/или способов, раскрытых в настоящем документе, для регенерирования гашеной извести.

- Карбонат стронция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления карбоната стронция. В некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь используют для регенерирования аммиака из сульфата аммония, который образуется после карбонизации аммиака и введения его в реакцию с сульфатом стронция.

- Цирконат кальция

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления цирконата кальция. В некоторых случаях негашеная известь и/или гашеная известь вступают в реакцию с цирконом $ZrSiO_4$, которая обеспечивает производство силиката и цирконата кальция, что дополнительно очищают.

- Гидроксиды щелочных металлов

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления гидроксидов щелочных металлов из карбонатов щелочных металлов в технологическом процессе, зачастую называемом каустификацией или повторной каустификацией. В некоторых случаях гашеную известь вводят в реакцию с карбонатами щелочных металлов для производства гидроксидов щелочных металлов и карбоната кальция. Технологический процесс каустификации карбонатов щелочных металлов представляет собой признак нескольких других технологических процессов, в некоторых случаях включающих очищение бокситовых

руд, переработку среднего каменноугольного масла и цикл сульфатного варочного щелока (в котором «зеленый щелок», содержащий карбонат натрия, вступает в реакцию с гашеной известью с образованием «белого щелока», содержащего гидроксид натрия).

- Гидроксид магния

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления гидроксида магния. В некоторых случаях добавление гашеной извести к растворам, содержащим магниевые ионы, (например, морской воде и/или концентрированным соляным растворам) стимулирует осаждение гидроксида магния из раствора.

d) Органические химические реагенты

- Алкиленоксиды

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления алкиленоксидов. В некоторых случаях негашеную известь используют для омыления или дегидрохлорирования пропилен- и/или бутиленхлоргидринов в целях производства соответствующих оксидов. После этого в некоторых случаях оксиды могут быть превращены в гликоли в результате кислотного гидролиза.

- Диацетоновый спирт

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления диацетонового спирта. В некоторых случаях гашеную известь используют в качестве щелочного катализатора для промотирования самоконденсирования ацетона с образованием диацетонового спирта, который используют в качестве растворителя для смол и/или в качестве промежуточного соединения при производстве мезитилоксида, метилизобутилкетона и/или гексиленгликоля.

- Неопентилгликолевый сложный эфир гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрит

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве основного катализатора для изготовления неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты и/или пентаэритрита.

- Антрахиноновые красители и промежуточные соединения

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве основного реагента в целях замещения группы сульфоновой кислоты гидроксидом при изготовлении антрахиноновых красителей

и/или промежуточных соединений.

- Трихлорэтилен

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для удаления атома хлора из тетрахлорэтана для получения трихлорэтилена.

6. Разнообразные варианты использования

- Жаропрочные материалы на основе диоксида кремния, карбида кремния и диоксида циркония

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве вяжущего, склеивающего и/или стабилизирующего вещества при изготовлении жаропрочных материалов на основе диоксида кремния, карбида кремния и/или диоксида циркония.

- Известковое стекло

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве источника негашеной извести при изготовлении известково-натриевого стекла. В некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь нагревают до высоких температур совместно с другими сырьевыми материалами, включающими диоксид кремния, карбонат натрия и/или добавки, такие как оксид алюминия и/или оксид магния. В некоторых случаях расплавленная смесь формирует стекло при охлаждении.

- Фарфоро-фаянсовая керамика и стекловидные эмали

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей. В определенных случаях гашеную эмаль смешивают с глинами для исполнения функции флюса, стеклообразователя, для содействия связывания материалов и/или для увеличения белизны конечного продукта.

- Смазка для литья и волочения

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве смазки для литья и/или волочения материалов (таких как железо, алюминий, медь, сталь и/или благородные металлы). В некоторых случаях смазки на кальциевой основе могут быть использованы при высокой температуре для предотвращения прилипания металла к форме. В определенных случаях смазки могут представлять собой известковые мыла, смеси из негашеной извести и других материалов (включающих кремниевую кислоту, оксид алюминия, углерод и/или флюсующие вещества, такие как плавиковый шпат и/или оксиды щелочных металлов).

Гашеную известь в некоторых случаях используют в качестве носителя смазки. В определенных случаях гашеная известь приклеивается к поверхности проволоки, увеличивает шероховатость поверхности и/или улучшает адгезию смазки для волочения.

- Буровые растворы

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в рецептурах буровых растворов для сохранения высокой щелочности и/или выдерживания глины в непластичном состоянии. Буровой раствор в некоторых случаях может быть закачан через пустотелую бурильную трубу при бурении через горную породу для добычи нефти и газа. В определенных случаях буровой раствор переносит фрагменты горной породы, произведенной бурильной головкой, на поверхность.

- Присадки к маслам и консистентные смазки

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве присадки к маслу и/или консистентной смазки. В некоторых случаях негашеную известь вводят в реакцию с алкилфенолятами и/или органическими сульфонатами для изготовления известковых мыл, которые смешивают с другими присадками для изготовления присадок к маслу и/или консистентных смазок. В некоторых случаях присадки на основе негашеной извести предотвращают нарастание шлама и уменьшают кислотность от продуктов сгорания, в особенности при высокой температуре.

- Целлюлозно-бумажное производство

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в целлюлозной и/или бумажной промышленности. Например, гашеную известь используют при сульфатной варке для повторной каустификации карбоната натрия для получения гидроксида натрия. В некоторых случаях карбонат кальция, который образуется исходя из данной реакции, может быть возвращен в реакторы, системы и/или способы, раскрытые в настоящем документе, для регенерирования гашеной извести. В определенных случаях гашеная известь также может быть использована в качестве источника щелочи в сульфитном технологическом процессе варки целлюлозы, для приготовления щелока. В определенных случаях гашеную известь добавляют к раствору сернистой кислоты для получения кислой соли сернистой кислоты. В некоторых случаях используют смесь из сернистой кислоты и бисульфита для варки волокнистой массы. В некоторых случаях гашеная известь также может быть использована для осаждения лигносульфонатов кальция из отработанного сульфитного щелока.

- Аквариумы

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь,

произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве источника кальция и/или щелочности для роста в морских аквариумах и/или рифов.

- Способ аккумуляции тепла

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют для аккумуляции термохимической энергии (например, для саморазогревающегося контейнера для пищевых продуктов и/или для аккумуляции солнечного тепла).

- Антипирен

В некоторых вариантах осуществления гидроксид кальция и/или магния, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве антипирена, добавки для изоляции кабеля и/или изоляции пластмасс.

- Противомикробное вещество

В некоторых вариантах осуществления гашеную известь и/или негашеную известь, произведенные при использовании реакторов, систем и/или способов, раскрытых в настоящем документе, используют в качестве противомикробного вещества. Например, в некоторых случаях негашеную известь и/или гашеную известь используют для обработки зон, пораженных заболеваниями, таких как стены, полы, спальные места и/или помещения для животных.

Следующие далее примеры предназначены для иллюстрирования определенных вариантов осуществления настоящего изобретения, но не для представления на примерах полного объема изобретения.

ПРИМЕР 1

Производство цемента в настоящее время представляет собой наиболее крупный одиночный источник промышленных выбросов CO_2 , несущий ответственность за 8% (2,8 Гт/год) глобальных выбросов CO_2 в 2015 году. Глубокая декарбонизация изготовления цемента будет требовать ослабления воздействия на окружающую среду как выбросов CO_2 вследствие разложения CaCO_3 для получения CaO , так и выбросов CO_2 вследствие сгорания ископаемых топлив (главным образом угля) в технологических процессах прокаливания ($\sim 900^\circ\text{C}$) и спекания ($\sim 1450^\circ\text{C}$). Данный пример демонстрирует электрохимический технологический процесс, при котором используют электролиз нейтральной воды для производства градиента значения pH, в котором CaCO_3 декарбонизируют при низком значении pH, а Ca(OH)_2 осаждают при значении pH в диапазоне от нейтрального до высокого, одновременно производя высокочистую газовую смесь O_2/CO_2 (молярное соотношение 1: 2 при продемонстрированной стехиометрической операции) на аноде и H_2 на катоде. Твердый продукт Ca(OH)_2 легко разлагался и вступал в реакцию с SiO_2 с образованием алита, который представляет собой основную вяжущую фазу в портландцементе. Данный электрохимический подход к прокаливанию производил

концентрированные газовые потоки, от которых CO_2 легко можно отделять и отправлять на хранение, H_2 и/или O_2 можно использовать для выработки электрической энергии при использовании топливных элементов или камер для сгорания, O_2 можно использовать в качестве компонента в кислородно-топливной смеси в цементнообжигательной печи для дополнительного уменьшения выбросов CO_2 и NO_x , или выпускаемые газы могут быть использованы для других технологических процессов с добавленной стоимостью, включающих производство жидкого топлива. Анализ демонстрирует это в сценарии, при котором водород, произведенный при использовании реактора, сжигают для нагревания высокотемпературной обжигательной печи, электрохимический цементный технологический процесс может быть запитан исключительно электричеством из возобновляемых источников.

Цемент представляет собой наиболее широко производимый искусственный материал при расчете на объем и наиболее крупный одиночный промышленный производитель диоксида углерода, одновременно обеспечивающий выбросы, составляющие приблизительно 8% всех антропогенных выбросов парниковых газов. Достижение глубокой декарбонизации энергетической системы заявителей не может быть достигнуто без обращения к таким промышленным источникам. Данный пример демонстрирует технологический процесс на электрохимической основе, который разлагал ключевой компонент, обеспечивающий выбросы CO_2 , для портландцемента, - CaCO_3 - с образованием предшественника в виде $\text{Ca}(\text{OH})_2$, подходящего для использования при синтезировании цемента с одновременным производством концентрированных газовых потоков CO_2 , H_2 и O_2 , пригодных для улавливания, выработки энергии, сгорания в кислородно-топливной смеси или синтезирования жидкого топлива. В предложенном подходе к электрохимическому синтезированию могут использовать электричество из возобновляемых источников и работать синергетическим образом с другими развивающимися природосберегающими технологиями.

Глубокая декарбонизация сегодняшней энергетической системы будет требовать обращения не только к секторам выработки энергии (24% глобальных выбросов парниковых газов) и транспорта (14% глобальных выбросов парниковых газов), но также и к трудным для декарбонизации секторам, таким как крупная промышленность, которая на сегодняшний день несет ответственность за приблизительно 21% глобальных выбросов парниковых газов. Промышленность использует ископаемые топлива для нагревания, для стимулирования прохождения химических реакций и в качестве восстановителей, но может быть побуждена к тому, чтобы стать менее зависимой от ископаемого топлива в случае: 1) достижения доступных электрических альтернатив и 2) продолжения улучшения стоимости и надежности электричества из возобновляемых источников. Данный пример демонстрирует реализуемый при температуре окружающей среды технологический процесс на электрохимической основе, который обеспечивал декарбонизацию CaCO_3 , осаждение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердом состоянии, из чего синтезируют желательные силикаты кальция, и производство концентрированных газовых потоков H_2 и

O_2+CO_2 , которые являются пригодными для улавливания и хранения CO_2 и/или используются в других технологических процессах с добавленной стоимостью (ФИГУРА 12).

ФИГУРА 12 в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схему низкоэмиссионного цементного агрегата на электрохимической основе. Электрохимический декарбонизационный элемент, запитываемый электричеством из возобновляемых источников, превращает $CaCO_3$ в вещество $Ca(OH)_2$, используемое при синтезировании цемента. В декарбонизационном элементе (смотрите ФИГУРУ 13) используют градиент естественного значения pH, произведенный в результате электролиза нейтральной воды, для растворения $CaCO_3$ на кислотном аноде и осаждения $Ca(OH)_2$, где $pH \geq 6$. Одновременно H_2 вырабатывают на катоде, и O_2/CO_2 вырабатывают на аноде. Данные газовые потоки могут играть несколько альтернативных ролей в природосберегающей системе производства. CO_2 можно непосредственно улавливать из изначально концентрированного потока (CCS). Электричество или тепло могут быть выработаны из H_2 и O_2 при использовании топливных элементов или камер для сгорания. Кислородно-топливная смесь на основе O_2/CO_2 может быть отправлена на рециркуляцию в обжигательную печь для более чистого сгорания в цикле спекания цемента. Могут быть использованы концепции повторного использования и утилизации CO_2 (CO_2U), такие как использование в методах повышения нефтеотдачи (EOR) или при производстве жидких топлив.

Цемент (говоря конкретно, портландцемент) представляет собой наиболее широко производимый искусственный материал в мире, производимый со скоростью в 4 миллиарда метрических тонн в год. Цементная промышленность представляет собой наиболее крупный промышленный источник парниковых газов (за исключением сельского хозяйства; близко идет следом выплавка стали), несущий ответственность на сегодняшний день за 8% глобальных выбросов парниковых газов. Приблизительно половина выбросов CO_2 при изготовлении цемента имеет своим происхождением использование $CaCO_3$ (в общем случае известняка) в качестве ключевого компонента, при этом остаток в основном представляет собой выбросы в результате сгорания ископаемых топлив в цементнообжигательной печи. Потребность в цементе растет по мере увеличения населения в мире и превращения его в более городское население и по мере становления инфраструктуры в странах с развивающейся экономикой. К 2060 году количество зданий на земле предположительно удвоится; это равно строительству эквивалента города Нью-Йорка каждые 34 дня на протяжении последующих 40 лет. Поскольку производство каждого кг цемента приводит к выбросам приблизительно одного кг CO_2 , из данной новой инфраструктуры будут высвобождаться приблизительно 4 Гт CO_2 в год, что высвечивает настоятельность декарбонизации производства цемента.

В настоящее время дымовые газы от цементных агрегатов являются чрезмерно нечистыми для экономичного улавливания углерода в результате аминовой очистки; использование альтернативных топлив (таких как использованные покрышки) не

облегчает проблему с основными выбросами от CaCO_3 ; и дополнительные вяжущие материалы подобным образом могут только в некоторой степени разбавлять углеродное воздействие портландцемента на окружающую среду и одновременно могут ухудшать его физические свойства. На сегодняшний день данные способы широко не используются. Еще один набор подходов фокусируется в области использования источника CO_2 для производства обогащенного по карбонатам цементного или бетонного продукта. В противоположность вышеупомянутым подходам подходы на электрохимической основе в соответствии с определенными вариантами осуществления обладают потенциалом по облегчению роли как химических, так и энергетических источников CO_2 , по получению преимуществ от возникновения малозатратного электричества из возобновляемых источников и по производству признанных и глобально используемых цементных продуктов. В некоторых вариантах осуществления технологические процессы, раскрытые в настоящем документе, могут работать синергетическим образом с другими научными и технологическими инструментами природосберегающей энергетической системы, включающей малозатратное электричество из возобновляемых источников от ветра и солнца, расщепления воды и создания топлива и аккумуляирования химической и электрической энергии.

В данном примере реактор имеет в своей основе электролизный элемент, в котором использовали собственные градиенты значения pH для проведения декарбонизации CaCO_3 и осаждения и сбора Ca(OH)_2 (ФИГУРА 13). Вещество Ca(OH)_2 , произведенное данным образом, когда требуется меньше энергии для дегидратации CaO , чем ее требуется для прокаливания CaCO_3 , легко вступает в реакцию SiO_2 , что обеспечивает производство алита, представляющего собой основную активную фазу (50-70% (масс.)) в портландцементе. Была продемонстрирована квазистехиометрическая операция для реактора лабораторного масштаба, где каждые два протона, электролитически произведенные на аноде, образующем кислород, декарбонизовали одну формульную единицу CaCO_3 . В некоторых вариантах осуществления существует несколько маршрутов, при использовании которых данный электрохимический декарбонизационный реактор может быть интегрирован в цементный агрегат, характеризующийся низкими или нулевыми выбросами углерода, (ФИГУРА 12), включающих запитывание электричеством из возобновляемых источников и использование газов, произведенных при использовании любой из нескольких альтернативных функций, таких как: 1) непосредственное улавливание и хранение изначально концентрированного потока CO_2 ; 2) выработка электричества или тепла от H_2 (и необязательно O_2) при использовании топливных элементов или камер для сгорания; 3) получение кислородно-топливной смеси для более чистого сгорания в цикле спекания цемента; и 4) производство жидкого топлива. Представлен технико-экономический анализ первого порядка для потребления энергии и стоимости топлива у такого технологического процесса в зависимости от стоимости электричества из возобновляемых источников.

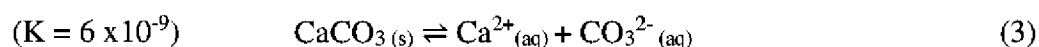
ФИГУРА 13 в соответствии с определенными вариантами осуществления

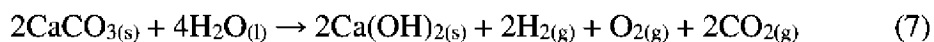
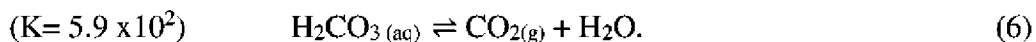
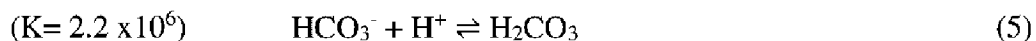
представляет собой схему для декарбонизационного элемента на основе электролизера, использованного в настоящем примере. Реакции 1a и 1b представляют собой, соответственно, реакции в полуэлементах с выделением кислорода и выделением водорода при близком к нейтральному значению pH. Реакции 2a и 2b представляют собой разложение карбоната кальция и высвобождение CO_2 . Реакция 3 представляет собой обычное образование воды из ее ионных компонентов. В реакции 4 гидроксидные ионы в реакции 3 вместо этого идут в направлении образования гидроксида кальция, а протоны протонируют карбонатные ионы (реакция 2b). Внизу демонстрируется совокупная реакция, по которой CaCO_3 превращали в Ca(OH)_2 при сопутствующем высвобождении водорода, кислорода и диоксида углерода. При максимальном выходе стехиометрия реакции демонстрирует превращение каждыми четырьмя протонами, образованными в результате реакции РВК (реакции 1), двух CaCO_3 в Ca(OH)_2 , при этом газообразные частицы производятся при соотношениях, продемонстрированных в нижней реакции: два моля водорода производятся на катоде на каждые один моль кислорода и два моля диоксида углерода на аноде.

Декарбонизационный элемент, использованный в данном примере, одновременно функционировал в качестве электролизера, а также в качестве химического реактора для превращения CaCO_3 в твердом состоянии в Ca(OH)_2 в твердом состоянии, что схематически проиллюстрировано на ФИГУРЕ 13 и экспериментально продемонстрировано на ФИГУРАХ 14А - J. Электролизер, работающий при использовании воды, близкой к нейтральной, продемонстрировал следующие далее реакции для анодного и катодного полуэлементов:



В стационарном состоянии электролизер производил градиент значения pH, который легко визуализировали при добавлении универсального индикатора значения pH в работающий Н-элемент, как это продемонстрировано на ФИГУРАХ 14А - 14J. В таком электролизере H^+ и OH^- обычно будут рекомбинировать с образованием воды, как это проиллюстрировано в виде реакции (3) на ФИГУРЕ 13. Однако, в настоящем реакторе реакцию (3) заменили на реакцию декарбонизации. При добавлении CaCO_3 в кислотный раствор, произведенный в окрестности анода во время электролиза, протекала химическая декарбонизация в рамках следующей далее последовательности реакций:





Растворенный ион Ca^{2+} (уравнение 3), который естественным образом диффундировал по его градиенту концентрации в направлении большего значения pH, после этого осаждался из раствора в виде Ca(OH)_2 по реакции с OH^- (реакции ④ на ФИГУРЕ 13); данная реакция благоприятствуется ниже pH 6. Сумма электрохимических и химических реакций, которые протекали в элементе, представляет собой:

В соответствии с использованием в настоящем документе стехиометрическая операция для данного реактора представляет собой состояние, при котором каждые два моля протонов, произведенных во время электролиза (уравнение 1), превращают один моль CaCO_3 в один моль Ca(OH)_2 , как это продемонстрировано в уравнении 7; это представляет собой максимальный возможный выход или кулоновскую эффективность. При стехиометрической операции соотношение между производимыми газами также приводится в уравнении 7: каждый произведенный моль Ca(OH)_2 в результате приводил к образованию одного моля H_2 на катоде и молярного соотношения $\text{O}_2 : \text{CO}_2$ 1 : 2 на аноде.

В данном примере CO_2 высвобождали в виде газообразного продукта для улавливания и хранения или использования в других технологических процессах, а Ca(OH)_2 осаждали для использования при производстве цемента. Ca(OH)_2 представляет собой важный компонент не только при производстве цемента, но также и при изготовлении рафинированного сахара, целлюлозы и бумаги, поташа, для ослабления воздействия сточных вод на окружающую среду и в качестве флюсующего вещества при рафинировании стали. В данных отраслях промышленности Ca(OH)_2 в типичном случае производят в результате гашения вещества CaO , полученного в результате прокаливании CaCO_3 ; однако, в некоторых вариантах осуществления Ca(OH)_2 можно было производить непосредственно для данных областей применения при использовании декарбонизационных реакторов, раскрытых в настоящем документе, при одновременном обеспечении возможности непосредственного улавливания CO_2 . Для испытания предложенной схемы была сконструирована серия лабораторных реакторов в виде Н-элементов. ФИГУРЫ 14А - 21J представляют собой полученные в результате ускоренной съемки снимки для реактора, собранного при использовании платиновых электродов и использующего электролит, состоящий из раствора NaNO_3 в дистиллированной воде при 1 моль/л, в который добавляли несколько капель универсального индикатора значения pH. Цветовая шкала, коррелирующая окраску со значением pH, демонстрируется внизу фигуры. Анодная камера содержала твердый порошок CaCO_3 , и в противоположность элементу на ФИГУРАХ 14F - 14J между камерами не использовали какого-либо пористого сепаратора. На ФИГУРЕ 14А желтый оттенок показал первоначальную демонстрацию

электролитом $\text{pH} \sim 6$ везде за исключением позиции, непосредственно выше слоя порошка CaCO_3 , где пурпурный оттенок продемонстрировал увеличение значения pH до ~ 10 в результате частичного растворения карбоната. ФИГУРЫ 14В - 14Е демонстрируют элемент в различные временные интервалы после электролиза, начатого в потенциостатических условиях, где напряжение элемента составляло 2,5 В, а сила тока составляла ~ 6 мА. Как это продемонстрировали градиенты окраски, с течением времени развивался более резкий градиент значения pH , достигающий более экстремальных значений pH в каждой камере, что согласуется с ожидаемыми реакциями для полуэлементов (уравнения 1 и 2). Однако, тщательное рассмотрение раствора в перепускной трубе продемонстрировало наличие отчетливого расслоения при нахождении кислотного (розового) раствора выше и щелочного (пурпурного) раствора ниже, что было приписано различию плотности между двумя растворами. В данной конфигурации элемента согласно наблюдению Ca(OH)_2 осаждали по всей длине элемента, в том числе непосредственно на платиновом проволочном электроде, который в конечном счете пассивировался. Пассивирование приводило к резкому падению силы тока в элементе по истечении нескольких часов функционирования.

ФИГУРЫ 14А - 14J представляют собой полученные в результате ускоренной съемки снимки для декарбонизационных Н-элементов, использующих платиновые электроды и раствор NaNO_3 в деионизированной воде при 1 моль/л в качестве электролита в соответствии с определенными вариантами осуществления. Каждый элемент содержал несколько капель красителя для индикации значения pH , шкала окраски для которого продемонстрирована внизу. ФИГУРЫ 14А - Е демонстрируют элемент, содержащий порошок CaCO_3 в анодной (левой) камере, и при отсутствии какого-либо пористого сепаратора между камерами. Во время электролиза при фиксированном напряжении элемента 2,5 В (силе тока ~ 6 мА) развивающийся градиент окраски согласовывался с ожидаемыми реакциями для полуэлементов (смотрите ФИГУРУ 13), производящими кислотный раствор на аноде (слева) и щелочной раствор на катоде (справа). Тщательное рассмотрение перепускной трубы продемонстрировало наличие расслоения растворов (что, как это представляется без желания связывать себя теорией, имеет место в результате определяемой плотностью конвекции) при нахождении кислотного (розового) раствора выше и щелочного (пурпурного) раствора ниже. ФИГУРЫ 14F - I демонстрируют декарбонизационный элемент, в котором использовали пористые волокнистые сепараторы в обеих камерах для ограничения конвекции. В дополнение к этому, источник порошка CaCO_3 содержался в удаляемой чаше таким образом, чтобы могла бы быть измерена его потеря массы (после высушивания). Необходимо отметить отсутствие расслоения. ФИГУРА 14J демонстрирует вещество Ca(OH)_2 , которое осаждалось в перепускной трубе по истечении 12 часов электролиза. В данном примере для ускорения реакции использовали высокое напряжение элемента 9 В.

ФИГУРЫ 14F - 14I демонстрируют ту же самую конструкцию элемента, но при расположении пористого бумажного сепаратора на пересечении каждой камеры с

перепускной трубой в целях наложения ограничений на конвекцию. В дополнение к этому, источник порошка CaCO_3 в данном элементе содержался в съемной чаше таким образом, чтобы можно было бы измерить растворение CaCO_3 в зависимости от времени в результате удаления и взвешивания оставшегося порошка (после высушивания). Необходимо отметить отсутствие расслоения; в отсутствие конвекционного смешивания элементы могли бы функционировать на протяжении > 12 часов при отсутствии пассивирования катода от Ca(OH)_2 . В данном элементе щелочной раствор диффундировал в виде однородного фронта через элемент, и при функционировании в стационарном состоянии значение pH в перепускной трубе было достаточно высоким для преимущественного прохождения осаждения Ca(OH)_2 между сепараторами, где вещество легко собирали для анализа. Также необходимо отметить в данной конфигурации намного менее кислотное значение pH в окрестности анода (то есть, наблюдали отсутствие розового оттенка) и, собственно говоря, близость к желтой окраске, указывающей на $\text{pH} \sim 6$. 6 представляет собой приблизительное значение pH, при котором HCO_3^- и CO_2 (водн.) находятся в равновесии. Как это предположило данное наблюдение, по существу все протоны, произведенные в реакции выделения кислорода (уравнение 1), потреблялись в результате реакции с карбонатным ионом (уравнение 4), что впоследствии было подтверждено при использовании независимых измерений, обсуждающихся более подробно ниже. В дополнение к этому, состав выпускаемых газов подтверждали при использовании газовой хроматографии.

При использовании конструкции элемента на ФИГУРАХ 14F - 14I собирали значительные количества белого осадка на пористом бумажном сепараторе непосредственно перед катодом, как это продемонстрировано на ФИГУРЕ 14J. После высушивания при использовании порошкового рентгеноструктурного анализа (РСА) было подтверждено преимущественное содержание в осадке Ca(OH)_2 при наличии маленького количества CaCO_3 (6%, на основе уточнения по Ритвельду), как это продемонстрировано на ФИГУРЕ 15A. Как это продемонстрировал анализ Брунауэра-Эмметта-Теллера (БЭТ), осадок характеризовался площадью удельной поверхности $0,8 \text{ м}^2/\text{г}$. Как это представляется без желания связывать себя теорией, примесное количество CaCO_3 может образоваться при воздействии на Ca(OH)_2 воздуха при приготовлении образцов мелких порошков для РСА или при депротонировании некоторого количества растворимого иона HCO_3^- при контакте с OH^- при повторном образовании CaCO_3 . Как это продемонстрировала сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), частицы Ca(OH)_2 кристаллизовались при получении трех различных масштабов характеристических длин. Наибольшие изолированные кристаллиты, продемонстрированные на ФИГУРЕ 15B, имеют размеры в десятки микрометров и демонстрируют морфологию гексагональной призмы, характеристическую для Ca(OH)_2 . Следующими в масштабе размеров являлись агрегаты из намного более мелких кристаллитов, имеющих размеры в несколько микрометров, продемонстрированных на ФИГУРАХ 15C и 15D, но обладающих подобной морфологией гексагональной призмы. В заключение, существовали осадки, обладающие

морфологией округленных зерен, которые при более высоком увеличении выявляли кристаллиты субмикрометрового масштаба, продемонстрированные на ФИГУРАХ 15E и 15F. Как это представляется без желания связывать себя теорией, внешний вид трех различных морфологий осадков $\text{Ca}(\text{OH})_2$ предполагает широкое варьирование условий зародышеобразования и роста в реакторе. Однако, по существу все произведенные частицы попадали в область технических характеристик ниже < 90 мкм, типичных для сырых смесей при производстве цемента. Анализ состава при использовании энергодисперсионного рентгеновского анализа продемонстрировал отсутствие примесей выше фоновых уровней в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за исключением следовых количеств Na, что подобным образом представляет собой результат наличия соли Na, использованной в электролите реактора. Таким образом, подход, использованный в настоящем примере, был способен производить мелкие высокочистые частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

ФИГУРЫ 15A - 15F демонстрируют порошок $\text{Ca}(\text{OH})_2$, произведенный при использовании декарбонизационного реактора в соответствии с определенными вариантами осуществления. ФИГУРА 15A демонстрирует порошковую рентгеновскую дифрактограмму от типичного образца, которая, как это продемонстрировало уточнение по Ритвельду, состоит из сигналов 94% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 6% CaCO_3 . ФИГУРЫ 15B - F представляют собой полученные при использовании метода СЭМ изображения, демонстрирующие содержание порошком кристаллитов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, демонстрирующих три характеристические масштаба длин. Как это демонстрирует ФИГУРА 15B, наибольшие кристаллиты $\text{Ca}(\text{OH})_2$ демонстрировали размеры в десятки микрометров и морфологию гексагональной призмы, характеристическую для данного соединения. Как это демонстрирует ФИГУРА 15C, агрегаты меньших кристаллитов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, продемонстрированных при большем увеличении на ФИГУРЕ 15D, демонстрировали подобную морфологию гексагональной призмы, но микрометровые размеры. ФИГУРА 15E демонстрирует $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с морфологией округленных зерен, что при большем увеличении на ФИГУРЕ 15F продемонстрировало кристаллиты субмикрометрового масштаба.

Для получения характеристик кулоновской эффективности для реактора в сопоставлении со стехиометрическим пределом провели серию экспериментов. В каждом эксперименте реактор в виде H-элемента собирали при использовании свежего электролита, использующего раствор соли либо NaClO_4 , либо NaNO_3 при 1 моль/л и одно и то же исходное количество порошка CaCO_3 . Реактор функционировал в потенциостатических условиях (3,5 В) на протяжении времен в диапазоне от 1 до 14 часов, после чего чашу, содержащую CaCO_3 , удаляли из реактора, высушивали и взвешивали для получения количества CaCO_3 , потерянного на химическое растворение. Результаты от 13 экспериментов графически отображаются на ФИГУРЕ 16 в виде молей растворенного вещества CaCO_3 в зависимости от пропущенного числа кулонов (верхняя абсцисса), полученного в результате интегрирования силы тока на протяжении эксперимента, и эквивалента H_2 в газообразном состоянии (нижняя абсцисса),

рассчитанного в предположении равенства скорости электролиза силе тока в элементе (то есть, при отсутствии побочных реакций). Красная штриховая линия на ФИГУРЕ 16 представляет стехиометрическую реакцию, где каждые два протона, произведенных на аноде в реакции РВК, протонируют один карбонатный ион. Планки погрешностей для каждой точки экспериментальных данных соответствуют суммарной погрешности взвешивания, имеющей в своей основе точность весов. Подгонка методом наименьших квадратов по всем точкам экспериментальных данных привела к получению соотношения между скоростью химической реакции и скоростью электролиза 0,85 по отношению к максимальному значению 1. Это продемонстрировало высокую кулоновскую эффективность для подхода, использованного в настоящем примере, даже при использовании неоптимизированного реактора лабораторного масштаба. Для обоих электролитов данные для наиболее продолжительного времени (крайние правые точки экспериментальных данных) продемонстрировали спад эффективности, что, как это предполагают другие эксперименты, обуславливается пассивированием катода от $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при продолжительных временах эксплуатации реактора. Необходимо отметить нахождение некоторых из точек экспериментальных данных выше линии максимальной теоретической эффективности. Как это представляется без желания связывать себя теорией, данное отклонение обуславливается определенной необратимой потерей CaCO_3 во время удаления чаши, содержащей CaCO_3 , из реактора. Количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, произведенное в данных экспериментах, непосредственно не измеряли вследствие трудностей при извлечении всего количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$, осажденного в элементах, (например, со стенок элемента) и эффективном удалении всего количества осадка на бумажном сепараторе. Даже в таком случае настоящая эффективность была близка к термической эффективности обыкновенной установки для предварительного прокаливания цемента, которая декарбонизирует приблизительно 90% поступающего вещества CaCO_3 .

ФИГУРА 16 демонстрирует кулоновскую эффективность для декарбонизационного реактора в соответствии с определенными вариантами осуществления согласно измерению исходя из тринадцати экспериментов, при этом каждый из них начинается со свежесобранного Н-элемента, относящегося к типу на ФИГУРЕ 13. Массу растворенного вещества CaCO_3 согласно измерению исходя из потери массы источника порошка CaCO_3 в реакторе вычерчивали в зависимости от полного заряда, прошедшего через систему, (верхняя абсцисса) и эквивалентных молей водорода, произведенного на катоде, (нижняя абсцисса), рассчитанных в предположении направления всей силы тока на электролиз. Красная штриховая линия представляет стехиометрическую реакцию, дающую максимальную эффективность превращения при расчете на заряд, а черная штриховая линия представляет подгонку методом наименьших квадратов по всем точкам экспериментальных данных, наклон которой соответствует кулоновской эффективности ~ 85%.

Реакторы могут быть сконструированы в соответствии с определенными

вариантами осуществления, при которых имеет место больший контроль конвекции и химических градиентов, и при которых осажденное вещество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ собирают более эффективно и непрерывно. Например, по аналогии с технологическим процессом электролитического диоксида марганца (EMD) в некоторых вариантах осуществления осадку можно дать возможность продолжать наращиваться на поверхности электрода вплоть до достижения им толщины, которая вызывает его разрушение и опадение, при этом осадок собирают при его отстаивании или после него. В случае реакторов с конфигурацией пластинчатых электродов или Н-элемента в некоторых вариантах осуществления поток жидкого электролита, протекающий между электродами, может переносить осадок в результате конвекции к фильтру или проточному или центробежному сепаратору для отделения осадка, при этом жидкость затем в результате рециркуляции отправляется в реактор для повторения операции. В конструкции реактора с концентрическим электродом, в которой в некоторых вариантах осуществления один из электродов представляет собой центральную стойку или внутренний цилиндр, а второй электрод представляет собой внешний цилиндр, аксиальное течение электролита между электродами может быть использовано для переноса осадка в результате конвекции до точки сбора, такого как в результате фильтрования или проточного или центробежного разделения. В таких способах проточного осаждения конвекция жидкости может быть проведена активно таким образом, как в результате прокачивания жидкости, или пассивно при использовании градиентов по температуре или по плотности электролита. В некоторых вариантах осуществления упомянутые градиенты по температуре или по плотности электролита производятся в результате функционирования самого реактора.

После демонстрации действенности предложенного декарбонизационного реактора затем оценивали пригодность его твердого продукта $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для использования в качестве предшественника портландцемента. Наиболее важный и распространенный минерал в портландцементе, составляющий 50-70% (масс.), представляет собой алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Приготавливали смеси из $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и мелкого порошка SiO_2 , а также контрольный образец при использовании приобретенного порошка CaCO_3 , смешанного с тем же самым веществом SiO_2 при молярном соотношении 3 : 1, соответствующем алиту. Данные образцы смешанного порошка после этого подвергали термической обработке в широком диапазоне температур. ФИГУРЫ 17А и 17В демонстрируют рентгеновскую дифрактограмму и полученное при использовании метода СЭМ изображение для смеси $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2$ после нагревания до 600°C на протяжении 2 часов на воздухе. В отличие от вещества CaCO_3 , которое не разлагается вплоть до 898°C (при 1 атм. P_{CO_2}) вещество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ характеризуется термодинамической температурой разложения 512°C (при 1 атм. $P_{\text{H}_2\text{O}}$) и в настоящем примере уже разлагалось до CaO при обжигании при 600°C , хотя вещество CaO все еще не вступало в реакцию с SiO_2 с образованием алита. После нагревания на протяжении 2 часов при 1500°C , что представляет собой типичную температуру цементнообжигательной печи, смесь вступала в реакцию с образованием низкотемпературной полиморфной модификации T1 алита (ICSD:4331), как это

продемонстрировано на рентгеновской дифрактограмме на ФИГУРЕ 16С. Полиморфизм алита, как это известно, зависит от природы и количества примесей в сырьевом материале, а также скорости охлаждения от температуры обжигательной печи. Несмотря на более распространенное получение в коммерческих технологических процессах высокотемпературных полиморфных модификаций М1 и М2 полиморфная модификация Т1 рассматривается как настолько же вязущая. Как это продемонстрировала ФИГУРА 17D, частицы алита, произведенные из предшественников, раскрытых в настоящем примере, были меньшими, чем 30 мкм по размеру, что находится в пределах диапазона, желательного для коммерческих портландцементов. ФИГУРЫ 17Е и 17F демонстрируют карты состава по кальцию и кремнию, из которых с очевидностью следует гомогенность алита по составу. Фигуры 18А и 18В демонстрируют рентгеновскую дифрактограмму и полученное при использовании метода СЭМ изображение для соответствующей смеси из CaCO_3 и SiO_2 после нагревания до 600°C на протяжении 2 часов на воздухе, а фигуры 18С и 18D демонстрируют результаты после нагревания до 800°C на протяжении 2 часов на воздухе. При 600°C какого-либо значительного разложения не происходило, в то время как при 800°C вещество CaCO_3 разлагалось с образованием CaO , но реакция с образованием алита не начиналась. После нагревания до 1500°C на протяжении 2 часов согласно фигурам 18Е и 18F анализ РСА демонстрирует формирование фазы алита. Однако, в соответствии с уточнением по Ритвельду для спектров РСА оставалось некоторое количество непрореагировавшего вещества CaO , составляющее 6%. Полученное при использовании метода СЭМ изображение на фигуре 18F в сопоставлении с ФИГУРОЙ 17D демонстрирует, в конечном счете, достижение алитами, произведенными из Ca(OH)_2 и CaCO_3 , подобных морфологий и размеров частиц. Как это демонстрируют данные результаты, электрохимически произведенное вещество Ca(OH)_2 из декарбонизационного реактора представляло собой подходящего для использования предшественника при синтезировании основной гидратирующейся фазы силиката кальция в портландцементе. Помимо этого, вследствие морфологии мелкого осадка (в сопоставлении, например, с размолотым известняком) и его на $> 300^\circ\text{C}$ меньшей температуры разложения электрохимически произведенное вещество Ca(OH)_2 из декарбонизационного реактора, раскрытого в настоящем документе, по-видимому, демонстрировало улучшенную реакционную способность в сопоставлении с CaCO_3 , что могло бы быть преобразовано в уменьшенные времена и/или температуры обжигания, которые уменьшают потребление энергии на стадии высокотемпературной реакции.

ФИГУРЫ 17А - 17F демонстрируют синтезирование алита 3CaO-SiO_2 при использовании вещества Ca(OH)_2 , произведенного в декарбонизационном реакторе в соответствии с определенными вариантами осуществления. ФИГУРА 17А представляет собой рентгеновскую дифрактограмму; а ФИГУРА 17В представляет собой полученное при использовании метода СЭМ изображение для смеси из Ca(OH)_2 и SiO_2 после нагревания до 600°C на протяжении 2 часов на воздухе. Вещество Ca(OH)_2 разлагалось с образованием CaO , но все еще не вступало в реакцию с SiO_2 с образованием фазы алита.

После обжига при 1500°C на протяжении 2 часов ФИГУРА 17С демонстрирует рентгеновскую дифрактограмму, демонстрирующую однофазный алит, морфология которого продемонстрирована на полученном при использовании метода СЭМ изображении на ФИГУРЕ 17D. Карты состава на ФИГУРЕ 17Е и ФИГУРЕ 17F, соответственно, для кальция и кремния демонстрируют однородное распределение обоих элементов.

ФИГУРЫ 18А - Е демонстрируют синтезирование алита при использовании CaCO_3 и SiO_2 . После нагревания до 600°C на протяжении 2 часов на воздухе ФИГУРА 18А демонстрирует рентгеновскую дифрактограмму, а ФИГУРА 18В демонстрирует полученное при использовании метода СЭМ изображение, которое продемонстрировало то, что в отличие смеси, полученной при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$, на ФИГУРЕ 17А в данном случае вещество CaCO_3 все еще не разлагалось с образованием CaO . После нагревания до 800°C на протяжении 2 часов на воздухе рентгеновская дифрактограмма на ФИГУРЕ 18С продемонстрировала разложение CaCO_3 с образованием CaO , но все еще отсутствие реакции с SiO_2 с образованием фазы алита. ФИГУРА 18D демонстрирует полученное при использовании метода СЭМ изображение для смеси порошков CaO и SiO_2 . После обжига до 1500°C на протяжении 2 часов на воздухе рентгеновская дифрактограмма на ФИГУРЕ 18Е продемонстрировала смесь алита с некоторым остаточным количеством CaO . ФИГУРА 18F демонстрирует полученное при использовании метода СЭМ изображение для данной неполностью прореагировавшей смеси.

В дополнение к производству реакционно-способного вещества $\text{Ca}(\text{OH})_2$, подходящего для использования при синтезировании цемента, декарбонационный реактор на основе электролиза, раскрытый в настоящем примере, производил концентрированные газовые потоки H_2 на катоде и O_2 и CO_2 (при молярном соотношении 1 : 2 для проведения операции при высокой кулоновской эффективности) на аноде. Данные газы представляют собой важные компоненты в широком диапазоне природосберегающих технологий, к которым в настоящее время стремятся по всему миру, что раскрывает несколько возможных синергетических взаимодействий между производством цемента и данными технологиями.

В некоторых вариантах осуществления поток O_2/CO_2 из декарбонизационных реакторов в соответствии с определенными вариантами осуществления может упростить и сделать более эффективными данные технологические процессы. Улавливание после сгорания относится к технологиям, которые улавливают CO_2 из отходящих газов обжигательной печи, таким как циркуляция кальция, аминовая очистка и мембранное фильтрование. Сгорание кислородно-топливной смеси или сгорание, усиленное кислородом, относятся к сжиганию ископаемых топлив (в данном случае главным образом угля) в кислороде вместо воздуха. Кислородно-топливное сгорание, во-первых, в результате приводит к получению улучшенной топливной эффективности, поскольку азотное содержимое воздуха не должно нагреваться. Во-вторых, отсутствие азота делает

возможными более высокие температуры пламени при отсутствии выбросов оксидов азота (NO_x), которые обладают потенциалом глобального потепления, в 298 раз большим, чем CO_2 при расчете на массу, а также вносят свой вклад в смог, кислотный дождь и истощение озонового слоя. В-третьих, дымовые газы от сгорания кислородно-топливной смеси характеризуются большей концентрацией CO_2 и меньшим количеством примесей NO_x , что делает улавливание углерода более эффективным. В некоторых вариантах осуществления на цементном агрегате, использующем подходы в соответствии с определенными вариантами осуществления, смесь из газов O_2 и CO_2 , произведенная при использовании реактора, могла бы быть использована в качестве кислородно-топливной смеси в высокотемпературной обжигательной печи для уменьшения потребления энергии и выбросов NO_x .

Концентрация CO_2 в дымовых газах от обыкновенных цементнообжигательных печей составляет $\sim 25\%$. Газовый поток из декарбонизационных элементов, раскрытых в настоящем документе, увеличивал концентрацию CO_2 вплоть до 67% , что в принципе сделало бы аминную очистку более эффективной. В некоторых вариантах осуществления выгода от определенных технологических процессов, раскрытых в настоящем документе, представляет собой возможность совершенно избегать использования дорогостоящих технологических процессов технологии CCS, подобных аминной очистке. Поскольку в некоторых вариантах осуществления в определенных технологических процессах, раскрытых в настоящем документе, CO_2 доставляют в высококонцентрированной форме при смешивании только с O_2 и некоторым количеством паров H_2O , могло бы быть использовано непосредственное улавливание из реактора при использовании тех же самых простых технологических процессов компримирования, в настоящее время используемых для улавливания очищенного и концентрированного вещества CO_2 после сгорания.

Газообразный водород, произведенный на катоде в определенных декарбонизационных элементах, раскрытых в настоящем документе, в некоторых вариантах осуществления имеет ценность, которая могла бы быть реализована по нескольким вариантам. Водород в качестве исходного сырья является важным для основных отраслей промышленности, таких как производство аммиака и удобрений, переработка нефти и газа и металлургический технологический процесс, и рассматривается в качестве ключевого компонента развивающихся технологий, которые могли бы декарбонизовать транспорт большой грузоподъемности, авиацию и нагревание. В некоторых вариантах осуществления водород из декарбонизационного элемента мог бы быть поставлен в качестве продукта с добавленной стоимостью в такие отрасли промышленности. В некоторых вариантах осуществления газовые потоки также могли бы быть использованы в технологических процессах утилизации CO_2 , которые производят жидкие топлива, такие как соответствующие технологические процессы, в которых также используют водород и производят спирты.

В некоторых вариантах осуществления водород также мог бы отправлен на

циркуляцию обратно для поддержания цементного технологического процесса (ФИГУРА 12). Водород в определенных случаях мог бы быть непосредственно сожжен для подачи тепла или электрической энергии обратно на операцию с цементом. Или газовые потоки H_2 и O_2/CO_2 могли бы быть поставлены в топливный элемент, который в некоторых случаях вырабатывает электричество «по месту» для запитывания операций электрохимического реактора или другого агрегата, таких как размалывание, смешивание и манипулирование. В некоторых вариантах осуществления при использовании элемента SOFC (твердооксидного топливного элемента), который характеризуется наибольшей электрической эффективностью среди всех типов топливных элементов (60-80%), можно обойти возникновение неблагоприятных воздействий CO_2 на топливные элементы с протонообменной мембраной (PEM), и типичные рабочие температуры для элементов SOFC в диапазоне 500-1000°C легко могли бы быть выдержаны при использовании тепла от цементнообжигательной печи (которая в типичном случае функционирует при температуре в диапазоне 1450-1500°C). Одновременно кислород мог бы быть удален из газового потока O_2/CO_2 , что в некоторых случаях дополнительно упрощает хранение CO_2 в очищенном состоянии.

В соответствии с определенными вариантами осуществления поток CO_2 , произведенный из декарбонизационного элемента, также может иметь ценность в областях применения, в которых вторично используют уловленное вещество CO_2 , что представляет собой область растущего интереса. CO_2 можно использовать в методах повышения нефтеотдачи (OER) и для изготовления химических реагентов, таких как мочевины, салициловая кислота, метанол, карбонаты, синтетическое топливо (при использовании технологического процесса Фишера-Тропша) и синтетический природный газ (при использовании реакции Сабатье).

В некоторых вариантах осуществления технологический процесс изготовления цемента на электрохимической основе может эксплуатироваться исключительно при использовании электричества из возобновляемых источников. В определенных вариантах осуществления наименее капиталоемкий вариант использования выпускаемых газов из декарбонизационного реактора может быть реализован в результате сгорания для нагревания цементнообжигательной печи. Были проанализированы потоки энергии в данной конфигурации; подробности представлены в SI. В предположении функционирования джекарбонизационного реактора при кулоновской эффективности 85%, функционирования электролизера при эффективности в диапазоне 60-75% и сгорания получающихся в результате веществ H_2 и O_2 для нагревания спекающей обжигательной печи при эффективности в диапазоне 60-80% подводимая электрическая энергия, требуемая для изготовления одного кг цемента, находится в диапазоне 5,2-7,1 МДж. Это не предполагает получения ни выгоды по энергии от замещения $CaCO_3$ на $Ca(OH)_2$ в высокотемпературном технологическом процессе спекания, ни других вспомогательных выгод. (Например, в некоторых вариантах осуществления капиталовложения и стоимость энергии при приготовлении «сырьевой муки» цемента,

такого как размалывание известняка до размера частиц, достаточно маленького для эффективной реакции в высокотемпературной спекающей обжигательной печи, могут быть уменьшены на электрохимическом агрегате, где данную функцию заменяют на химическое растворение). В некоторых случаях при 80%-ной эффективности сгорания веществ H_2 и O_2 , произведенных из декарбонизационного элемента, произведенная тепловая энергия слегка превышает тепловую энергию, требуемую для спекания. В случае 60%-ной эффективности сгорания в определенных случаях 90% тепловой энергии, требуемой для спекания, могут быть поставлены от газов электролизера (то есть, требуется $\sim 0,5$ МДж/кг дополнительной энергии). В некоторых вариантах осуществления данный дефицит энергии, а также электрическая энергия для поддержания функционирования могли бы быть составлены при использовании избытка производительности электролизера выше того, что строго требуется для декарбонизации. Поскольку спекание представляет собой наиболее энергоемкий технологический процесс при производстве цемента, данный анализ указывает на то, что в некоторых вариантах осуществления электрохимический цементный технологический процесс, запитываемый из возобновляемых источников, не затребовал бы больших количеств дополнительной энергии, если вообще бы затребовал это.

Издержки для технологического процесса на электрохимической основе зависят от конфигурации, многочисленные возможные конфигурации чего обсуждаются выше. В некоторых случаях издержки в течение срока службы и экономическая отдача для полной системы или любых ее подразделений зависят от капитальных вложений, эффективности и долговечности, а также от ценности цемента и газообразных пробочных продуктов. В некоторых случаях издержки в течение срока службы для декарбонизационного реактора будут зависеть от его конкретных конструкции и эксплуатационных характеристик. Однако, стоимость энергии для электрохимического технологического процесса в соответствии с определенными вариантами осуществления сопоставляли со стоимостью энергии его соответствия, работающего на сжигании угля. 5,2-7,1 МДж/кг цемента согласно оценке для электрохимического технологического процесса превышали энергию, требуемую для обыкновенного цементного технологического процесса в средней обжигательной печи США, что составляет 4,6 МДж/кг. При цене угля 61 доллар США/тонна (для битуминозного угля) стоимость энергии для обыкновенного технологического процесса составляет ~ 28 долларов США/тонна цемента, что представляет собой 25% средней продажной цены цемента в США в 113 долларов США/метрическая тонна. Соответствующие издержки для электрохимического технологического процесса естественным образом зависят от цены электричества и могли бы в некоторых случаях быть равными нулю или даже быть отрицательными в случае получения из возобновляемых источников. Однако, для стоимости электричества 0,02, 0,04 и 0,06 доллара США/кВт-час и в предположении потребности в энергии для электрохимического технологического процесса 6 МДж/кг, что представляет собой середину в оцененном диапазоне, стоимость энергии составляет, соответственно, 35, 60 и

100 долларов США/тонна цемента. Это предполагает то, что в отсутствие других соображений электрохимический технологический процесс был бы конкурентно-способным по затратам с обыкновенными агрегатами (~ 28 долларов США/тонна цемента) только в случае доступности электричества при $< 0,02$ доллара США/кВт-час. В порядке сопоставления цена ветрового электричества теперь оставляет ровно или несколько меньше, чем 0,02 доллара США/кВт-час во множестве внутренних районов США.

Однако, данное сопоставление издержек пренебрегает стоимостью улавливания и хранения углерода, которая для аминовой очистки дымовых газов от обыкновенного цемента согласно оценке имеет порядок 91 доллара США/тонна. В электрохимической последовательности, промоделированной выше, где электролитическое вещество H_2 сжигают для нагревания обжигательной печи, стоимость непосредственного улавливания CO_2 из потока O_2/CO_2 , иллюстрирующего декарбонизационный реактор, должна составлять менее, чем 40 долларов США/тонна. Это бы качнуло результирующую стоимость энергии в пользу электрохимического технологического процесса в окружающей среде, в которой политика требует ослабления воздействия углерода на окружающую среду, и где является доступным малозатратное электричество из возобновляемых источников.

В заключение, рассматривали водоемкость технологического процесса на основе электролизера в соответствии с определенными вариантами осуществления. Каждый кг цемента, изготовленного при использовании декарбонизационного элемента в соответствии с определенными вариантами осуществления, потребовал бы использования 0,4 кг воды; это значит то, что средняя обжигательная печь США, производящая 1800 тонн цемента/сутки, потребовала бы использования ~ 760 тонн воды ежедневно. Однако, в некоторых случаях половина данной воды была бы извлечена при дегидратации $Ca(OH)_2$. В определенных случаях при использовании H_2 в качестве топлива для обжигательной печи другая половина воды могла бы быть сконденсирована из дымовых газов. В принципе в некоторых вариантах осуществления вся вода, использованная для электролиза, могла бы быть использована вторично.

Данный пример продемонстрировал технологический процесс синтеза цемента на электрохимической основе, при котором $CaCO_3$ декарбонизовали, а $Ca(OH)_2$ осаждали в градиенте значения pH, произведенном при использовании электролизера нейтральной воды, при одновременном производстве концентрированных газовых потоков H_2 и O_2/CO_2 . Для синтеза фазово-чистого алита, который представляет собой основную часть вяжущей фазы в обыкновенном портландцементе, использовали мелкий порошок $Ca(OH)_2$. В некоторых вариантах осуществления концентрированные газовые потоки из данного технологического процесса могут быть использованы синергетическим образом с другими технологическими процессами в условиях развития природосберегающих промышленных технологий. В числе нескольких альтернативных вариантов в некоторых вариантах осуществления CO_2 можно непосредственно улавливать и отправлять на хранение; H_2 и/или O_2 можно использовать для выработки электрической

энергии при использовании топливных элементов или камер для сгорания; O_2 можно использовать в качестве компонента кислородно-топливной смеси для дополнительного уменьшения выбросов CO_2 и NO_x из цементнообжигательной печи; или выпускаемые газы могут быть использованы для синтеза продуктов с добавленной стоимостью, таких как жидкие топлива. Прототипные декарбонизационные реакторы лабораторного масштаба из настоящего примера, как это было продемонстрировано, способны функционировать при кулоновской эффективности, близкой к теоретической, где каждые два протона, произведенные на аноде во время электролиза, растворяли одну формульную единицу $CaCO_3$. В таких условиях произведенный электролитический водород в случае сгорания мог бы обеспечить подачу основной части или всего количества тепловой энергии, требуемой при высокотемпературном спекании цемента. Данный пример демонстрирует маршрут для конкурентно-способного по затратам изготовления цемента без выбросов, где всю энергию поставляют в виде электричества из возобновляемых источников.

Материалы и методы

Декарбонизационные элементы

Сконструированные по специальному заказу H-элементы изготавливали в компании James Glass, Inc. (Hanover, MA). Электролит представлял собой вещества $NaClO_4$ или $NaNO_3$ (Sigma-Aldrich, $\geq 98\%$), растворенные в деионизированной воде при 1 моль/л. Данные электролиты выбирали вследствие растворимости их кальциевых солей и вследствие их неразложения при высоком напряжении. Оба электрода были изготовлены из платины: стержень на катоде и проволока на аноде (BASi, MW-1032). Платину выбирали вследствие демонстрации ею высокой каталитической активности в отношении выделения водорода и кислорода как в кислоте, так и в основании. Альтернативные малозатратные материалы электродов могли бы включать Ni, Cu или нержавеющую сталь для катода (pH 10) и Al, Sn, Pb для катода (pH 6). В анодный отсек добавляли порошок $CaCO_3$ (Sigma-Aldrich, $\geq 99\%$). В качестве пористого сепаратора использовали фильтровальную бумагу (VWR, 28310-015, удержание частиц при 5 мкм). Потенциостатические эксперименты проводили при использовании потенциостата Bio-Logic Science Instruments (Seyssinet-Pariset, France) VMP3. Все испытания проводили при комнатной температуре.

Получение характеристик при использовании метода PCA

Рентгеновские дифрактограммы собирали при использовании устройства PANalytical (Almelo, Netherlands) X'Pert PRO XRPD, использующего излучение Cu и вертикальный круговой гониометр тета : тета с радиусом 240 мм. Конфигурация данного прибора по умолчанию соответствует геометрии Брэгга-Брентано с высокоскоростным позиционно-чувствительным детектором высокого разрешения X'Celerator, использующим предметный столик в виде открытого столика Эйлера (ОСЭ). Данные по PCA анализировали при использовании программы Highscore, version 4.7.

Получение характеристик при использовании метода СЭМ

Визуализацию и анализ состава образцов проводили при использовании метода СЭМ, используя прибор Phenom XL, оснащенный энерго-дисперсионным рентгеновским детектором (nanoScience Instruments, Phoenix, AZ) и работающий при ускоряющем напряжении 10 кВ для визуализации и 15 кВ для анализа при использовании метода ЭДРС.

Получение характеристик при использовании метода БЭТ

Для проведения многоточечного анализа при использовании метода БЭТ в отношении площадей удельных поверхностей порошка использовали устройство Quantachrome Instruments NOVA 4000E (Anton Paar QuantaTech, Boynton Beach, Florida).

Синтез алита

Электрохимически-осажденное вещество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или CaCO_3 (Sigma-Aldrich, $\geq 99\%$) смешивали с SiO_2 (99,5%, 2 мкм, Alfa Aesar) при молярном соотношении 3 : 1. Порошки смешивали для получения взвеси с этанолом, а после этого высушивали. Получающиеся в результате хорошо смешанные порошки спрессовывали для получения гранул. Гранулы располагали в платиновых тиглях и нагревали при 2°C в минуту до 1500°C в муфельной печи (Thermolyne F46120-CM). Температуру выдерживали при 1500°C на протяжении двух часов, после этого гранулы охлаждали в обжиговой печи в результате отключения питания. Получающиеся в результате порошки были подтверждены как алит при использовании метода PCA.

ПРИМЕР 2

В данном примере описывается образование твердого гидроксида никеля ($\text{Ni}(\text{OH})_2$) в пространственно варьирующемся градиенте значения pH в электрохимическом элементе из карбоната никеля (NiCO_3).

Использовали электрохимический элемент, изображенный на **ФИГУРЕ 3А**. Электрохимический элемент являлся Н-элементом, включающим катод 104, анод 105 и раствор, содержащий электролит, при этом катод 104 и анод 105 являются, по меньшей мере, частично погруженными в раствор. Как катод 104, так и анод 105 представляли собой платиновые стержни, а электролит представлял собой раствор Na_2SO_4 при 0,5 моль/л. Электрохимический элемент эксплуатировали при комнатной температуре при 5 вольт. Два куса фильтровальной бумаги использовали в качестве двух отдельных мембран, селективно проницаемых для ионов, (мембраны 110a и мембраны 110b), формируя отдельную камеру 113 между ними. В раствор помещали несколько капель универсального индикатора. Раствор, окружающий анод 105, был розовым, что указывает на значение pH, составляющее приблизительно 4, в то время как раствор, окружающий катод 104, был пурпурным, что указывает на значение pH, составляющее приблизительно 10. Данный пространственно варьирующийся градиент значения pH формируется вследствие электролиза воды, который включает реакцию выделения водорода на катоде (приводящую в результате к производству гидроксидных ионов и, таким образом, щелочного значения pH на катоде) и реакцию выделения кислорода на аноде (приводящую в результате к производству протонов и, таким образом, кислотного

значения pH на аноде).

После этого в раствор, окружающий анод 105, добавляли карбонат никеля. По истечении одного часа после добавления карбоната никеля низ раствора, окружающего анод 105, был зеленым от карбоната никеля, в то время как верх раствора, окружающего анод 105, оставался розовым, что указывает на значение pH, составляющее приблизительно 4. Окраска раствора, окружающего катод 104, выглядела неизменной. По истечении десяти часов после добавления карбоната никеля карбонат никеля исчерпывался, и раствор, окружающий анод 105, был зеленым, что указывает на значение pH, составляющее приблизительно 7, в то время как раствор, окружающий катод 104, был синим, что указывает на значение pH, составляющее приблизительно 9, как это продемонстрировано на **ФИГУРЕ 3В**. При десяти часах осадок 112 (гидроксид никеля в данном случае) наблюдали в отдельной камере 113 между мембранами, селективно проницаемыми для ионов, (мембраной 110a и мембраной 110b).

Карбонат никеля растворялся в кислотной области анода, что в результате приводило к производству диоксида углерода и никелевых ионов. Никелевый ион диффундировал в направлении щелочной области катода, где он вступал в реакцию с гидроксидными ионами с образованием гидроксида никеля - наблюдаемого осадка. С катода также высвобождался газообразный водород, в то время как с анода высвобождались газообразный кислород и газообразный диоксид углерода.

ПРИМЕР 3

В данном примере описывается образование твердого гидроксида кальция (Ca(OH)_2) в пространственно варьирующемся градиенте значения pH в электрохимическом элементе из карбоната кальция (CaCO_3).

Электрохимический элемент монтировали и эксплуатировали подобно тому, что и в примере 2, за исключением использования электролита в виде раствора NaClO_4 при 1 моль/л и эксплуатации электрохимического элемента при постоянном напряжении 3,5 вольт. Электрохимический элемент эксплуатировали в течение ночи, и формировался осадок 112, как это продемонстрировано на **ФИГУРЕ 4А**. Осадок 112 собирали, анализировали при использовании рентгеноструктурного анализа (РСА) (который подтвердил наличие осадка 112 в виде Ca(OH)_2), как это продемонстрировано на **ФИГУРЕ 4С**, и смешивали при молярном соотношении 3 : 1 с SiO_2 и водой для получения негидравлического цемента, как это продемонстрировано на **ФИГУРЕ 4В**.

Несмотря на описание и иллюстрирование в настоящем документе нескольких вариантов осуществления настоящего изобретения специалисты в соответствующей области техники легко смогут предвидеть наличие широкого спектра других средств и/или структур для исполнения функций и/или получения результатов и/или одного или нескольких преимуществ, описанных в настоящем документе, и каждая из таких вариаций и/или модификаций предполагается попадающей в объем настоящего изобретения. В более общем случае специалисты в соответствующей области техники легко смогут понять то, что все параметры, размеры, материалы и конфигурации, описанные в

настоящем документе, подразумеваются в качестве иллюстративных, и что фактические параметры, размеры, материалы и/или конфигурации будут зависеть от конкретных области применения или областей применения, для которых используются положения настоящего изобретения. Специалисты в соответствующей области должны осознавать или быть способными устанавливать при использовании не более, чем заурядных экспериментов наличие множества эквивалентов для конкретных вариантов осуществления изобретения, описанного в настоящем документе. Поэтому, как это необходимо понимать, вышеизложенные варианты осуществления представлены только в порядке примера, и в объеме прилагающейся формулы изобретения и ее эквивалентов изобретение может быть реализовано на практике отличным образом от того, что конкретно описывается и заявляется. Настоящее изобретение направлено на каждые отдельные признак, систему, изделие, материал и/или способ, описанные в настоящем документе. В дополнение к этому, в объем настоящего изобретения включается любая комбинация из двух и более таких признаков, систем, изделий, материалов и/или способов в случае отсутствия взаимной несогласованности между такими признаками, системами, изделиями, материалами и/или способами.

Дополнительные иллюстративные концепции

Определенные варианты осуществления относятся к системам. В одном аспекте система включает: электрохимический реактор, включающий: первое выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести; и второе выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки CO_2 ; и установку, расположенную по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора и сконфигурированную для приема $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести, [концепция 1].

В некоторых вариантах осуществления концепции 1 система, кроме того, включает емкость, сконфигурированную для сбора вещества CO_2 , выгруженного из второго выпускного отверстия, [концепция 2]. В некоторых вариантах осуществления концепции 1 выгруженное вещество CO_2 должно быть сохранено, использовано в жидком топливе, использовано в кислородно-топливной смеси, использовано в методах повышения нефтеотдачи, использовано для производства сухого льда и/или использовано в качестве ингредиента в напитке, [концепция 3].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-3 установка представляет собой обжигательную печь, сконфигурированную для нагревания $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 4]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-3 установка представляет собой часть одного или нескольких представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс

изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумулирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 5].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-5 второе выпускное отверстие и/или третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки O_2 , что предназначается для использования в кислородно-топливной смеси, использования в области применения технологии CCS и/или использования в методах повышения нефтеотдачи, [концепция 6]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-6 второе выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 , что предназначается для использования в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы), [концепция 7].

В одном аспекте система включает: электрохимический реактор, включающий: первое выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести; и второе выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки O_2 , что предназначается для отправления на хранение, использования в кислородно-топливной

смеси, использования в области применения технологии CCS и/или использования в методах повышения нефтеотдачи; и установку, расположенную по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора и сконфигурированную для приема $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести, [концепция 8].

В некоторых вариантах осуществления концепции 8 установка представляет собой обжигательную печь, сконфигурированную для нагревания $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 9]. В некоторых вариантах осуществления концепции 8 установка представляет собой часть одного или нескольких представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумуляирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания

углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 10]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 8-10 второе выпускное отверстие и/или третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки H_2 , что предназначается для использования в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы), [концепция 11].

В некоторых вариантах осуществления система включает: электрохимический реактор, включающий: первое выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести; и второе выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки H_2 , что предназначается для отправления на хранение и/или использования в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы); и установку, расположенную по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора и сконфигурированную для приема $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести, [концепция 12].

В некоторых вариантах осуществления концепции 12 установка представляет собой обжигательную печь, сконфигурированную для нагревания $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 13]. В некоторых вариантах осуществления концепции 12 установка представляет собой часть одного или нескольких представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления

известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумулирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 14].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-14 система запитывается, по меньшей мере, частично, электричеством из возобновляемых источников (например, солнечной энергии и/или ветровой энергии), [концепция 15]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-15, по меньшей мере, часть CO_2 , O_2 и/или H_2 , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь, [концепция 16]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-16 система характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода, [концепция 17]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 1-17 электрохимический реактор конфигурируют для приема CaCO_3 , [концепция 18].

Определенные варианты осуществления относятся к способам. В одном аспекте способ включает: производство Ca(OH)_2 и/или негашеной извести в электрохимическом реакторе; производство CO_2 в электрохимическом реакторе; транспортирование Ca(OH)_2 , негашеной извести и/или продукта реакции для Ca(OH)_2 и/или негашеной извести в технологический процесс, расположенный по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора, [концепция 19].

В некоторых вариантах осуществления концепции 19 способ, кроме того, включает сбор CO_2 из электрохимического реактора в емкости, [концепция 20]. В некоторых вариантах осуществления концепции 19 CO_2 необходимо отправлять на хранение, сохранено, использовать в жидком топливе, использовать в кислородно-топливной смеси, использовать в методах повышения нефтеотдачи, использовать для производства сухого льда и/или использовать в качестве ингредиента в напитке, [концепция 21]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-21 транспортирование включает транспортирование Ca(OH)_2 , негашеной извести и/или продукта реакции для Ca(OH)_2 и/или негашеной извести в обжигательную печь, и способ, кроме того, включает нагревание Ca(OH)_2 , негашеной извести и/или продукта реакции для Ca(OH)_2 и/или негашеной извести в обжиговой печи в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 22].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-21 транспортирование включает переработку Ca(OH)_2 , негашеной извести и/или продукта реакции для Ca(OH)_2 и/или негашеной извести в рамках одного или нескольких

представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумулирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 23].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-23, где способ, кроме того, включает производство O_2 в электрохимическом реакторе, где O_2 необходимо использовать в качестве кислородно-топливной смеси, использовать в области применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи, [концепция 24]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-24, где способ, кроме того, включает производство H_2 в электрохимическом реакторе, где H_2 необходимо использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы), [концепция 25].

В некоторых вариантах осуществления способ включает: производство $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в электрохимическом реакторе; производство O_2 в электрохимическом реакторе, где O_2 необходимо отправлять на хранение, использовать в качестве кислородно-топливной смеси, использовать в области применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи; транспортирование $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в технологический процесс, расположенный по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора, [концепция 26].

В некоторых вариантах осуществления концепции 26 транспортирование включает транспортирование $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в обжигательную печь, и способ, кроме того, включает нагревание $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в обжиговой печи в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 27]. В некоторых вариантах осуществления концепции 26 транспортирование включает переработку $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и/или негашеной извести в рамках одного или нескольких представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения

материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумуляирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 28]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 26-28, где способ, кроме того, включает производство H_2 в электрохимическом реакторе, где H_2 необходимо использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы), [концепция 29].

В некоторых вариантах осуществления способ включает: производство $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в электрохимическом реакторе; производство H_2 в электрохимическом реакторе, где H_2 необходимо отправлять на хранение и/или использовать в качестве топлива (например, в топливном элементе или для нагревания системы); транспортирование $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в технологический процесс, расположенный по ходу технологического потока ниже электрохимического реактора, [концепция 30].

В некоторых вариантах осуществления концепции 30 транспортирование включает транспортирование $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в обжигательную печь, и способ, кроме того, включает нагревание $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в обжиговой печи в качестве части технологического процесса изготовления цемента, [концепция 31]. В некоторых вариантах осуществления концепции 30 транспортирование включает переработку $Ca(OH)_2$, негашеной извести и/или продукта реакции для $Ca(OH)_2$ и/или негашеной извести в рамках одного или нескольких представителей, выбираемых из нижеследующего: технологический процесс изготовления черных металлов; технологический процесс изготовления цветных металлов; технологический процесс кладки; технологический процесс стабилизации почвы; технологический процесс изготовления и/или вторичной переработки асфальта; технологический процесс удаления кислотного газа и/или диоксида углерода; технологический процесс обработки отходов; технологический процесс обработки воды; сельскохозяйственный технологический процесс; технологический процесс рафинирования сахара; технологический процесс изготовления кожи; технологический процесс изготовления клея и/или желатина; технологический процесс изготовления молочных продуктов; технологический процесс промышленного плодоводства; технологический процесс изготовления фунгицидов и/или инсектицидов; технологический процесс изготовления пищевых продуктов; технологический процесс изготовления химических реагентов (например, технологический процесс изготовления карбоната кальция, гипохлорита кальция, карбида кальция, фосфатов кальция, бромида

кальция, гексацианоферрата кальция, силицида кальция, дихромата кальция, вольфрамата кальция, цитрата кальция, известковых мыл, лактата кальция, тартрата кальция, оксида алюминия, карбонатов щелочных металлов, бикарбонатов щелочных металлов, карбоната стронция, цирконата кальция, гидроксидов щелочных металлов, гидроксида магния, алкеноксидов, диацетонового спирта, неопентилгликолевого сложного эфира гидроксипивалиновой кислоты, пентаэритрита, антрахиноновых красителей, антрахиноновых промежуточных соединений и/или трихлорэтилена); технологический процесс изготовления жаропрочных материалов; технологический процесс изготовления известкового стекла; технологический процесс изготовления фарфоро-фаянсовой керамики и/или стекловидных эмалей; технологический процесс литья и/или волочения материалов; технологический процесс изготовления буровых растворов; технологический процесс изготовления присадок к маслу и/или консистентной смазки; технологический процесс изготовления бумаги; технологический процесс выращивания и/или сохранения аквариума и/или рифа; технологический процесс аккумулирования тепла; технологический процесс изготовления антипиренов и/или изоляторов; технологический процесс изготовления противомикробных веществ; технологический процесс улавливания углерода при обработке дымовых газов; и/или технологический процесс штукатурных смесей, [концепция 32].

В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-32 способ запитывается, по меньшей мере, частично, электричеством из возобновляемых источников (например, солнечной энергии и/или ветровой энергии), [концепция 33]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-33, по меньшей мере, часть CO_2 , O_2 и/или H_2 , произведенную в электрохимическом элементе, подают в обжигательную печь, [концепция 34]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-34 способ характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода, [концепция 35]. В некоторых вариантах осуществления любой одной из концепций 19-35 способ, кроме того, включает расположение CaCO_3 в электрохимическом реакторе.

Каждая из предварительной патентной заявки США № 62/793,294, поданной 16 января 2019 года; предварительной патентной заявки США № 62/800,220, поданной 1 февраля 2019 года; и предварительной патентной заявки США № 62/818,604, поданной 14 марта 2019 года, всей своей полноте посредством ссылки на них включается в настоящий документ для всех целей.

Термины неопределенности «один» и «некий» в соответствии с использованием в настоящем документе в описании изобретения и в формуле изобретения, если только не будет указываться на противоположное, должны пониматься в качестве обозначения понятия «по меньшей мере, один».

Фраза «и/или» в соответствии с использованием в настоящем документе в описании изобретения и в формуле изобретения должна пониматься в качестве обозначения понятия «любой один или оба из двух» элементов, таким образом объединенных вместе, то есть, элементов, которые совместно присутствуют в некоторых

случаях и отдельно присутствуют в других случаях. Помимо элементов, конкретно указанных условием «и/или», необязательно могут присутствовать и другие элементы, будь то связанные или не связанные с данными конкретно указанными элементами, если только однозначно не будет указываться на противоположное. Таким образом, в рамках одного неограничивающего примера ссылка на «А и/или В» при использовании в сочетании с неограничивающей формулировкой, такой как «содержащий», может относиться в одном варианте осуществления к А без В (при необязательном включении элементов, отличных от В); в еще одном варианте осуществления к В без А (при необязательном включении элементов, отличных от А); в еще одном другом варианте осуществления как к А, так и к В (при необязательном включении других элементов); и так далее.

В соответствии с использованием в настоящем документе в описании изобретения и в формуле изобретения термин «или» должен пониматься как имеющий то же самое значение, что и термин «и/или» в соответствии с представленным выше определением изобретения. Например, при разделении позиций в перечне термины «или» или «и/или» должны интерпретироваться как инклюзивные, то есть, включающие, по меньшей мере, одного, но также и включающие более, чем одного из ряда или перечня элементов и необязательно дополнительные неперечисленные позиции. Только термины, ясно указывающие на противоположное, такие как «только один из» или «в точности один из» или при использовании в формуле изобретения «состоящий из», будут относиться к включению в точности одного элемента из ряда или перечня элементов. В общем случае термин «или» в соответствии с использованием в настоящем документе должен интерпретироваться как указывающий на исключающие альтернативы (то есть, «один или другой, но не оба») только при предшествовании ему терминов исключения, таких как «любой один», «один из», «только один из» или «в точности один из». Термин «по существу состоящий из» при использовании в формуле изобретения должен иметь свое обычно значение в соответствии с использованием в области патентного законодательства.

В соответствии с использованием в настоящем документе в описании изобретения и в формуле изобретения фраза «по меньшей мере, один» при обращении к перечню из одного или нескольких элементов должна пониматься как обозначающая, по меньшей мере, один элемент, выбираемый из любых одного или нескольких элементов в перечне элементов, но при необязательном включении, по меньшей мере, одного из всех без исключения элементов, конкретно перечисленных в перечне элементов и без исключения любых комбинаций из элементов в перечне элементов. Данное определение также допускает возможность необязательного присутствия элементов, отличных от элементов, конкретно указанных в перечне элементов, к которому относится фраза «по меньшей мере, один», будь то связанных или не связанных с данными конкретно указанными элементами. Таким образом, в рамках одного неограничивающего примера фраза «по меньшей мере, один из А и В» (или эквивалентно «по меньшей мере, один из А или В»

или эквивалентно «по меньшей мере, один из А и/или В») может относиться в одном варианте осуществления к, по меньшей мере, одному, необязательно включающему более, чем один, А при отсутствии какого-либо В (и при необязательном включении элементов, отличных от В); в еще одном варианте осуществления к, по меньшей мере, одному, необязательно включающему более, чем один, В при отсутствии какого-либо А (и при необязательном включении элементов, отличных от В); в еще одном другом варианте осуществления к, по меньшей мере, одному, необязательно включающему более, чем один, А и, по меньшей мере, одному, необязательно включающему более, чем один, В (и при необязательном включении элементов, отличных от В); и так далее.

В соответствии с использованием в настоящем документе, если только не будет указываться на противоположное, все уровни процентного содержания, раскрытые в настоящем документе, которые касаются относительных количеств, являются уровнями массового процентного содержания.

В формуле изобретения, а также в представленном выше описании изобретения все переходные фразы, такие как «содержащий», «включающий», «несущий», «имеющий», «вовлекающий», «удерживающий» и тому подобное, должны пониматься как неограничивающие, то есть, обозначающие включение нижеследующего, но не ограничение только этим. Только переходные фразы «состоящий из» и «по существу состоящий из» должны быть замкнутыми или полузамкнутыми переходными фразами, соответственно, в соответствии с представлением в публикации United States Patent Office Manual of Patent Examining Procedures, Section 2111.03.

УТОЧЁННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ, включающий:

установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент химического состава;

транспортирование химического соединения в первую область пространственно варьирующегося градиента химического состава таким образом, чтобы химическое соединение растворялось и/или вступало бы в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте химического состава;

сбор осадка из второй области пространственно варьирующегося градиента химического состава, где осадок содержит один или несколько элементов из химического соединения, растворенного и/или вступившего в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте химического состава.

2. Способ изготовления цемента, включающий:

установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент значения pH;

транспортирование карбоната кальция в кислотную область пространственно варьирующегося градиента значения pH таким образом, чтобы карбонат кальция растворялся и/или вступал бы в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте значения pH;

сбор твердого гидроксида кальция из щелочной области пространственно варьирующегося градиента значения pH, где твердый гидроксид кальция содержит кальций из карбоната кальция, растворенного и/или вступившего в реакцию в пространственно варьирующемся градиенте значения pH; и

нагревание твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция, в обжигательной печи для изготовления цемента.

3. Способ по п. 1, где пространственно варьирующийся градиент химического состава включает пространственно варьирующийся градиент значения pH.

4. Способ по любому одному из пп. 1 и 3, где первая область включает кислотную область.

5. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-4, где вторая область включает щелочную область.

6. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-5, где химическое соединение включает металлическую соль.

7. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-6, где один или несколько элементов включают элементарный металл.

8. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-7, где химическое соединение растворяют и вводят в реакцию в жидкости в пространственно варьирующемся градиенте значения pH.

9. Способ по п. 2, где карбонат кальция растворяют и вводят в реакцию в жидкости

в пространственно варьирующемся градиенте значения pH.

10. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-8, где химическое соединение включает карбонат металла.

11. Способ по п. 10, где карбонат металла включает карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля.

12. Способ по любому одному из пп. 1, 3-8 и 10-11, где осадок содержит гидроксид металла.

13. Способ по любому одному из пп. 1, 3-8 и 10-12, где способ представляет собой часть периодического технологического процесса.

14. Способ по любому одному из пп. 1, 3-8 и 10-12, где способ реализуют непрерывно.

15. Способ по любому одному из пп. 1 и 3-8 и 10-14, где способ производит побочный продукт, отличный от осадка, и способ, кроме того, включает сбор побочного продукта.

16. Способ по любому одному из пп. 2 или 9, где способ производит побочный продукт, отличный от твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, и способ, кроме того, включает сбор побочного продукта.

17. Способ по любому одному из пп. 15 или 16, где побочный продукт включает CO_2 , O_2 и/или H_2 .

18. Способ по любому одному из пп. 15-17, где побочный продукт включает CO_2 , и сбор побочного продукта включает хранение CO_2 .

19. Способ по любому одному из пп. 15-18, где побочный продукт используют в качестве топлива.

20. Способ по любому одному из пп. 2 и 4-19, где кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 6, или менее.

21. Способ по любому одному из пп. 2 и 4-20, где кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 5, или менее.

22. Способ по любому одному из пп. 2 и 5-21, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 8, или более.

23. Способ по любому одному из пп. 2 и 5-22, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 9, или более.

24. Способ по любому одному из пп. 2 и 5-23, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 10, или более.

25. Способ по любому одному из пп. 2-24, где установление и/или сохранение области, включающей пространственно варьирующийся градиент значения pH, включает проведение электролиза.

26. Способ по п. 25, где электролиз включает гидролиз.

27. Система для производства цемента, включающая:

реактор, имеющий область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава, при этом реактор включает впускное отверстие реактора,

сконфигурированное для приема карбоната кальция, и выпускное отверстие реактора, сконфигурированное для выпуска твердого гидроксида кальция; и

обжиговую печь, включающую впускное отверстие обжиговой печи, где:

обжиговая печь располагается по ходу технологического потока ниже выпускного отверстия реактора,

впускное отверстие обжиговой печи конфигурируют для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция, произведенного из, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция; и

обжиговую печь конфигурируют для нагревания твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция в качестве части технологического процесса производства цемента.

28. Система по п. 27, где пространственно варьирующийся градиент химического состава включает пространственно варьирующийся градиент значения pH, имеющий кислотную область и щелочную область.

29. Система по п. 28, где кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 6, или менее.

30. Система по любому одному из пп. 28-29, где кислотная область характеризуется значением pH, составляющим 5, или менее.

31. Система по любому одному из пп. 28-30, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 8, или более.

32. Система по любому одному из пп. 28-31, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 9, или более.

33. Система по любому одному из пп. 28-32, где щелочная область характеризуется значением pH, составляющим 10, или более.

34. Система по любому одному из пп. 27-33, где реактор конфигурируют таким образом, чтобы пространственно варьирующийся градиент химического состава устанавливали и/или сохраняли бы, по меньшей мере, частично, в результате электролиза.

35. Способ по п. 34, где электролиз включает гидролиз.

36. Система по любому одному из пп. 27-35, где систему конфигурируют для сбора побочного продукта, отличного от твердого гидроксида кальция и/или твердого оксида кальция.

37. Система по п. 36, где побочный продукт включает CO_2 , O_2 и/или H_2 .

38. Система по любому одному из пп. 36-37, где побочный продукт включает CO_2 , и сбор побочного продукта включает хранение CO_2 .

39. Система по любому одному из пп. 27-38, где система, кроме того, включает нагреватель между выпускным отверстием реактора и впускным отверстием обжиговой печи.

40. Система по любому одному из пп. 27-38, где выпускное отверстие реактора скрепляют непосредственно с впускным отверстием обжиговой печи.

41. Реактор, включающий:

первый электрод;

второй электрод;

пространственно варьирующийся градиент химического состава между первым электродом и вторым электродом;

впускное отверстие, соединенное с первой областью пространственно варьирующегося градиента значения pH;

выпускное отверстие, соединенное со второй областью пространственно варьирующегося градиента значения pH; и

где выпускное отверстие конфигурируют таким образом, чтобы твердые вещества могли бы быть вытолкнуты из реактора.

42. Реактор по п. 41, где пространственно варьирующийся градиент химического состава включает пространственно варьирующийся градиент значения pH.

43. Реактор по любому одному из пп. 41-42, где первая область включает кислотную область.

44. Реактор по любому одному из пп. 41-43, где вторая область включает щелочную область.

45. Реактор по любому одному из пп. 41-44, где реактор, кроме того, включает одну или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, между первым электродом и вторым электродом.

46. Реактор по п. 45, где одну или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, конфигурируют для предотвращения осаждения твердого вещества на первом электроде, предотвращения пассивирования твердым веществом первого электрода и/или предотвращения загрязнения двумя различными твердыми веществами друг друга.

47. Реактор по любому одному из пп. 45-46, где одна или несколько мембран, селективно проницаемых для ионов, включают две мембраны, селективно проницаемые для ионов.

48. Реактор по любому одному из пп. 42-47, где реактор конфигурируют таким образом, чтобы пространственно варьирующийся градиент значения pH был бы установлен и/или сохранен, по меньшей мере, частично, в результате электролиза.

49. Реактор по п. 48, где электролиз включает гидролиз.

50. Реактор по любому одному из пп. 41-49, реактор включает аппарат для манипулирования с твердым веществом, связанный с выпускным отверстием и сконфигурированный для удаления твердого вещества из реактора.

51. Способ, включающий:

производство кислоты и основания в результате электролиза;

растворение металлической соли в кислоте; и

осаждение гидроксида металла в основании.

52. Способ по п. 51, где металл металлической соли является тем же самым металлом, что и металл гидроксида металла.

53. Способ по любому одному из пп. 51-52, где электролиз включает гидролиз.

54. Способ по любому одному из пп. 51-53, где электролиз производит пространственно варьирующийся градиент химического состава в реакторе.

55. Способ по любому одному из пп. 51-54, где электролиз производит пространственно варьирующийся градиент значения pH в реакторе.

56. Способ по любому одному из пп. 51-55, дополнительно включающий сбор осадка.

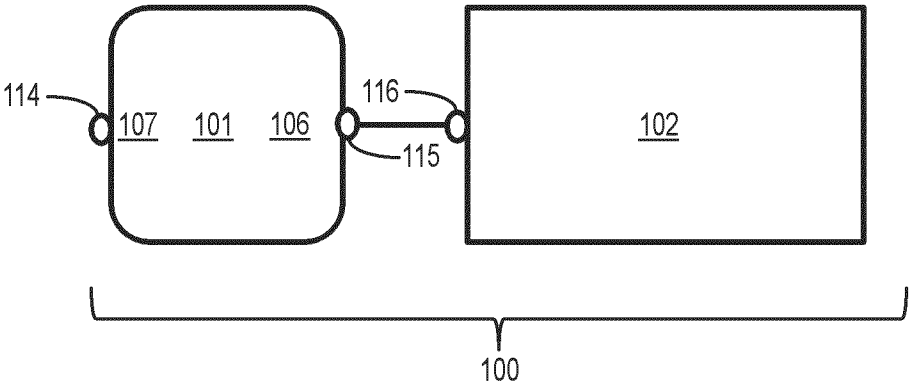
57. Способ по любому одному из пп. 51-56, где металлическая соль содержит карбонат металла.

58. Способ по любому одному из пп. 51-57, где металлическая соль содержит карбонат кальция, карбонат магния и/или карбонат никеля.

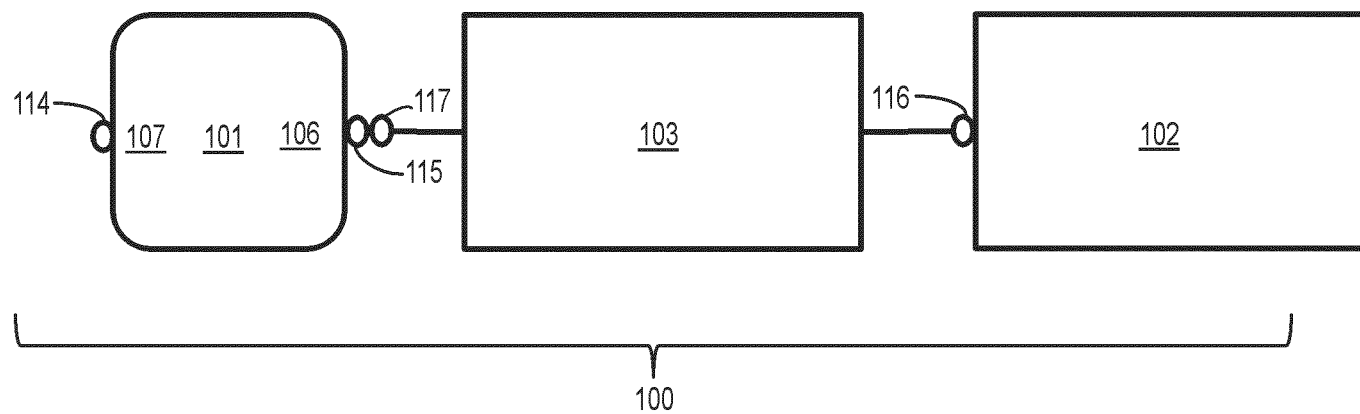
59. Способ по любому одному из пп. 51-58, где гидроксид металла содержит гидроксид кальция, гидроксид магния и/или гидроксид никеля.

60. Способ по любому одному из пп. 51-59, где гидроксид металла содержит гидроксид кальция.

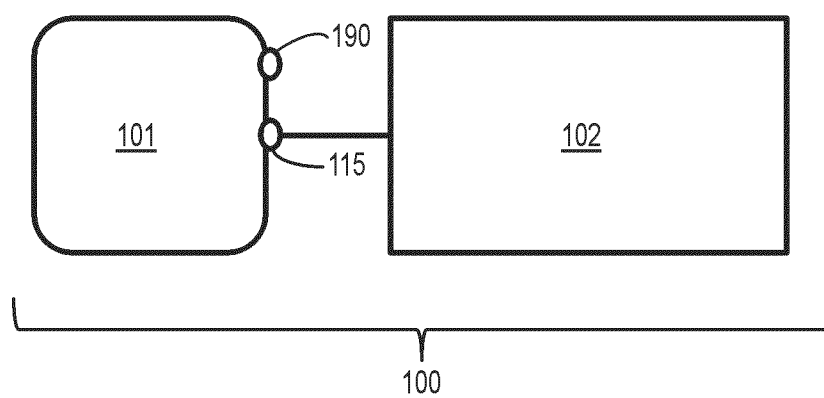
По доверенности



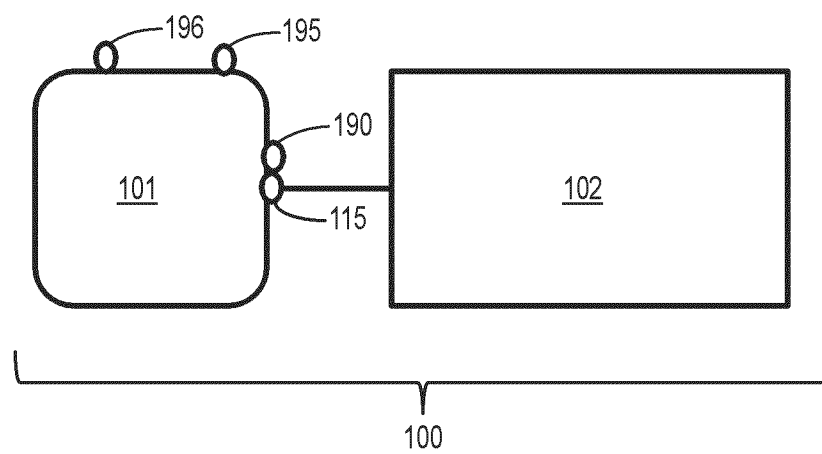
ФИГ. 1А



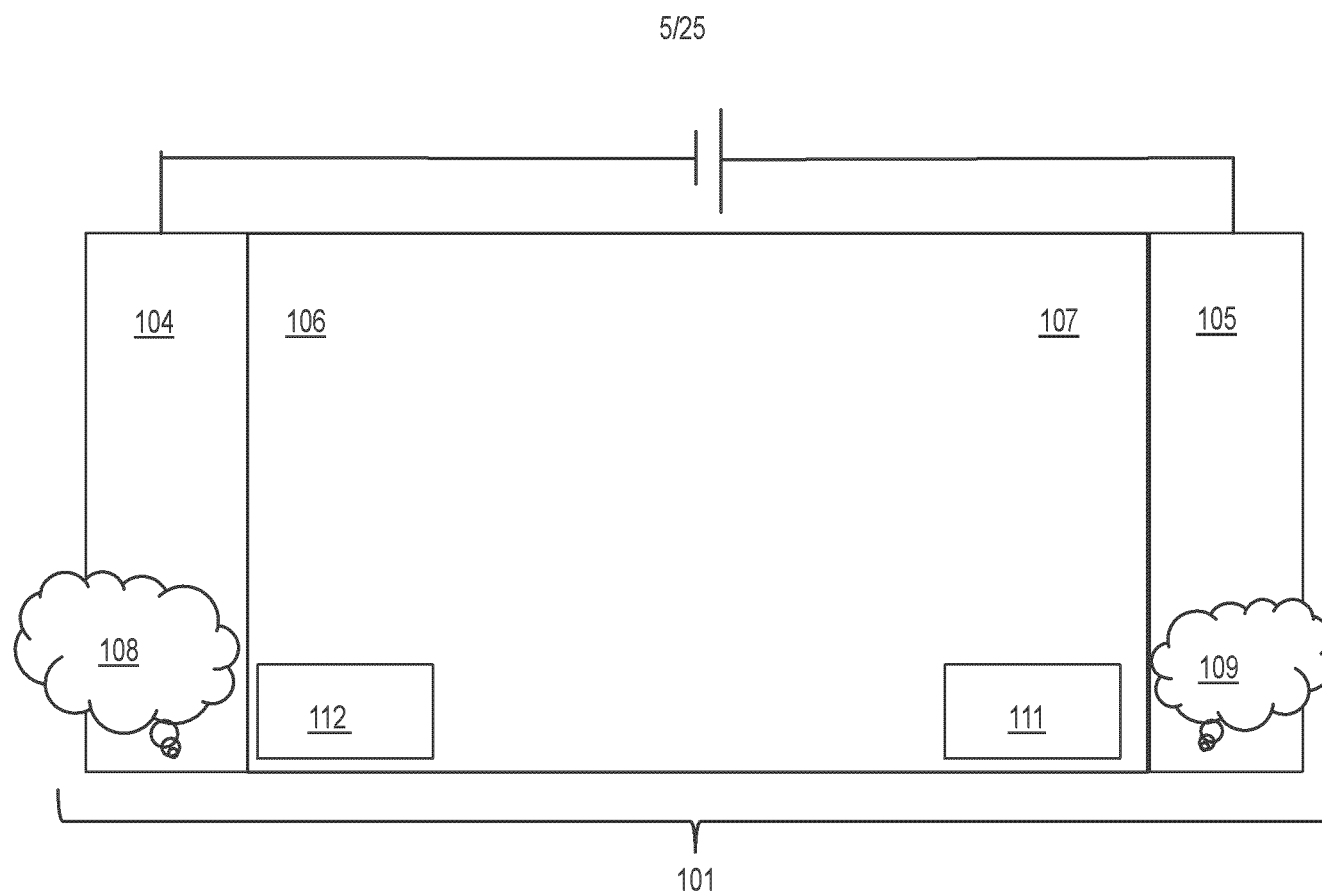
ФИГ. 1В



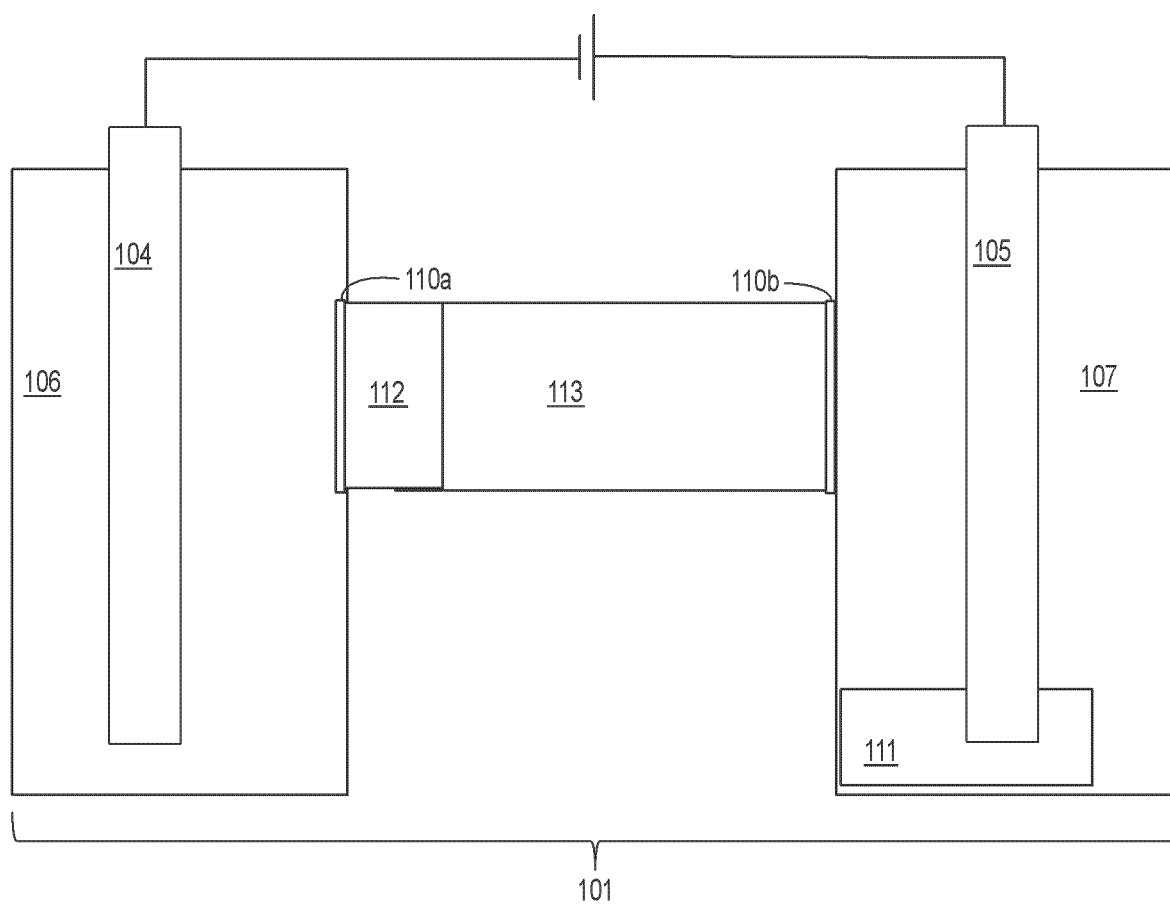
ФИГ. 1С



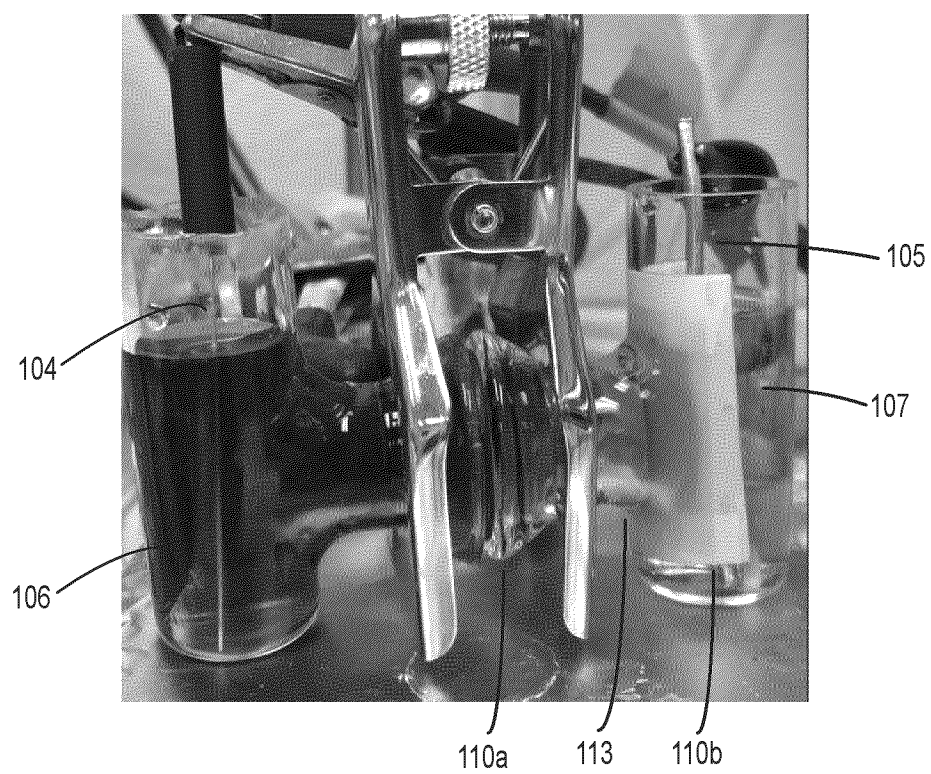
ФИГ. 1D



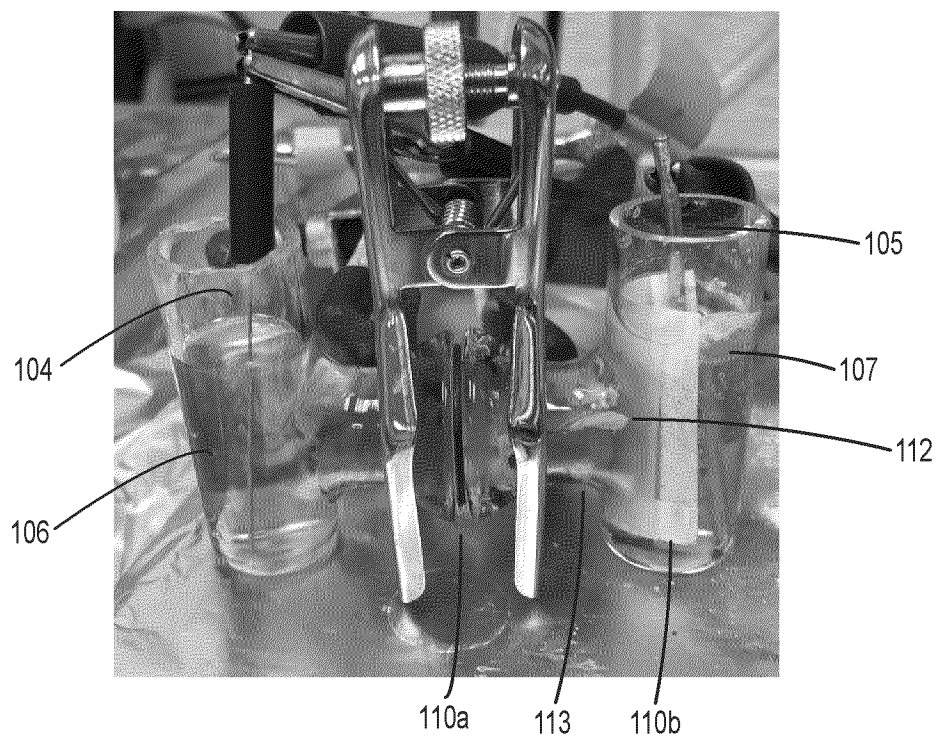
ФИГ. 2А



ФИГ. 2В

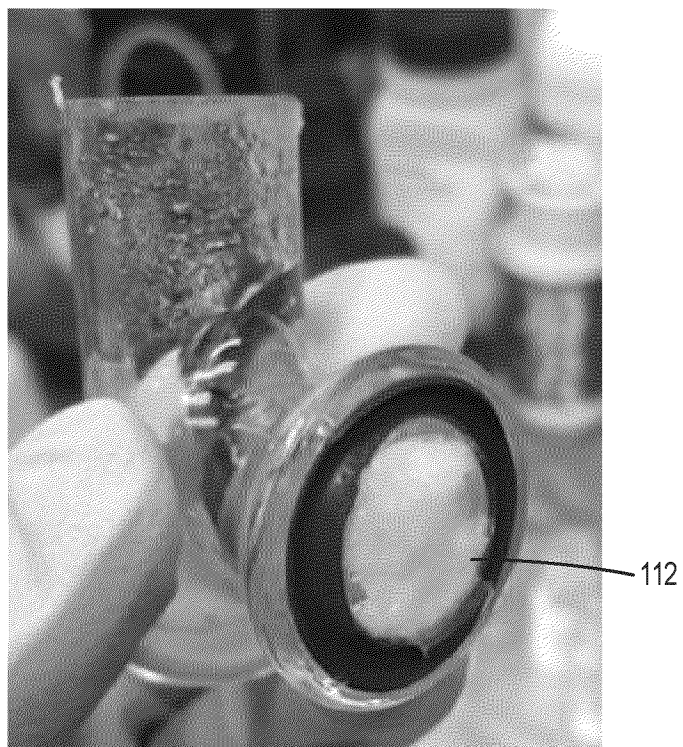


ФИГ. 3А



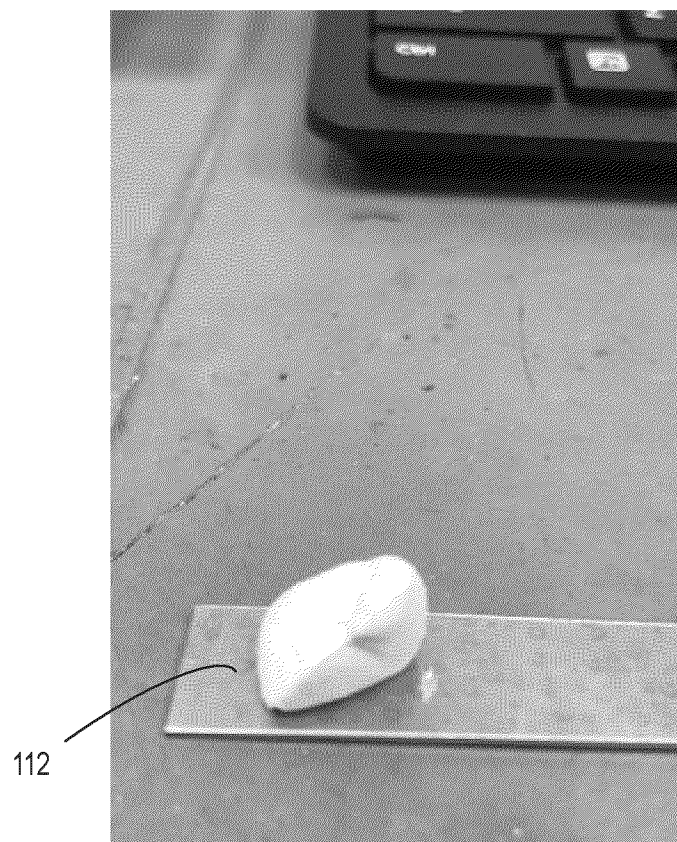
ФИГ. 3В

9/25



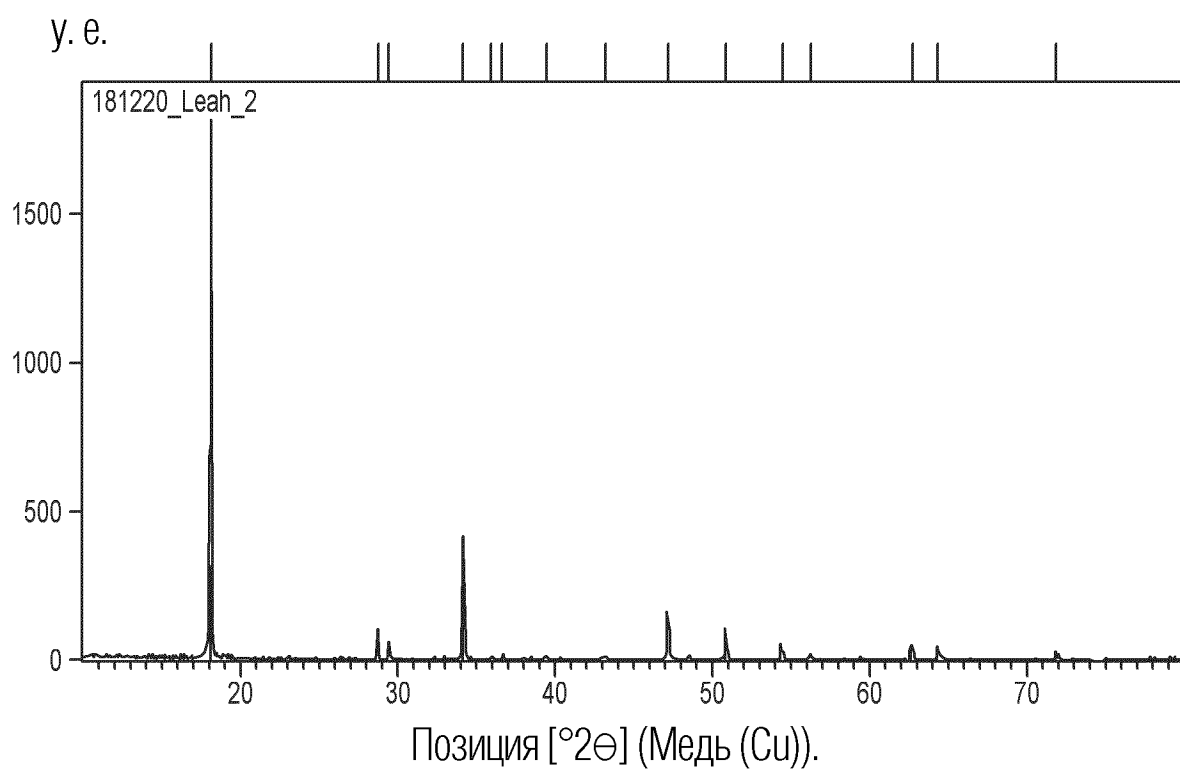
ФИГ. 4А

10/25

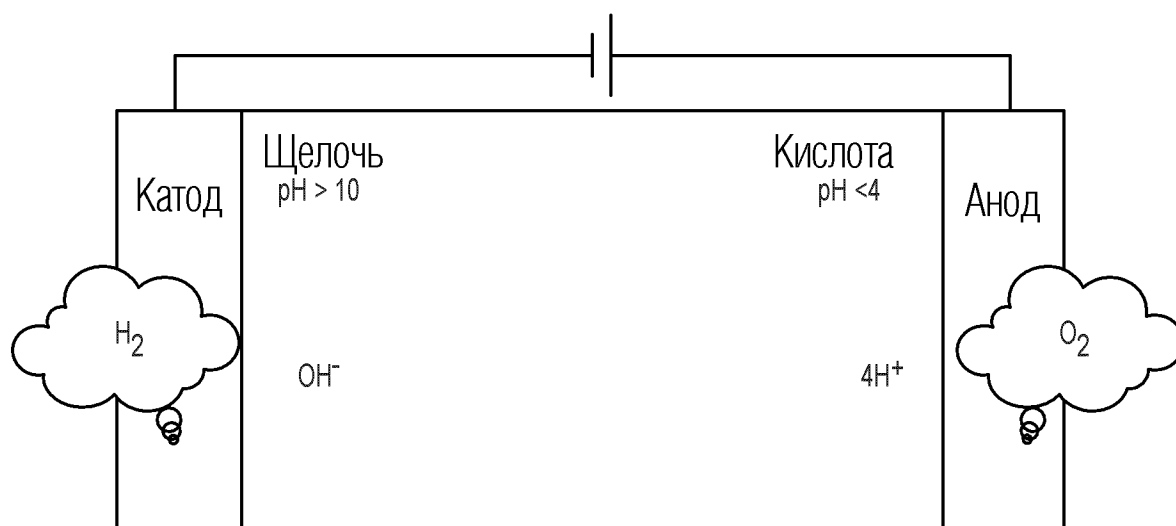


ФИГ. 4В

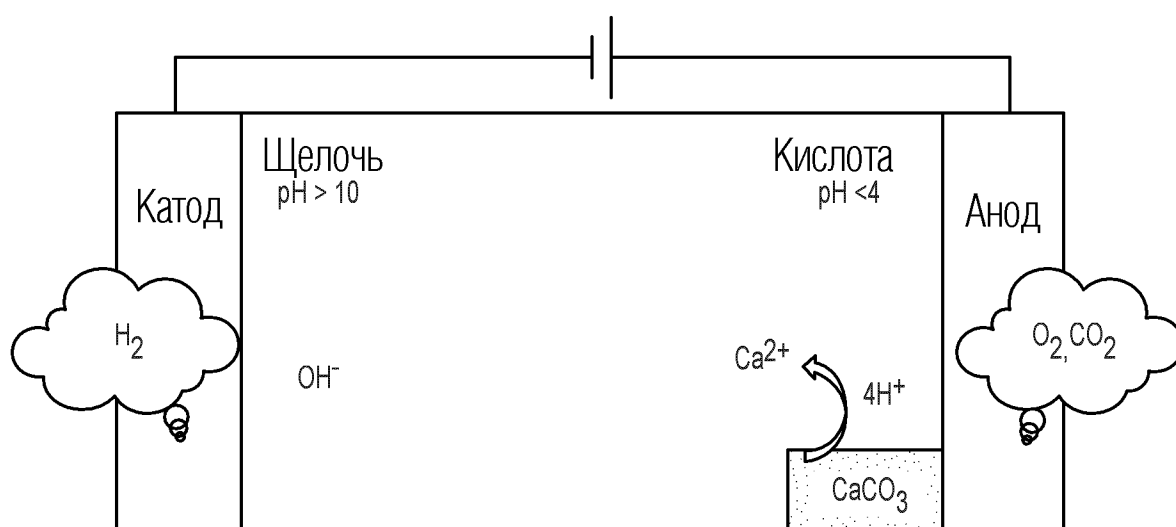
11/25



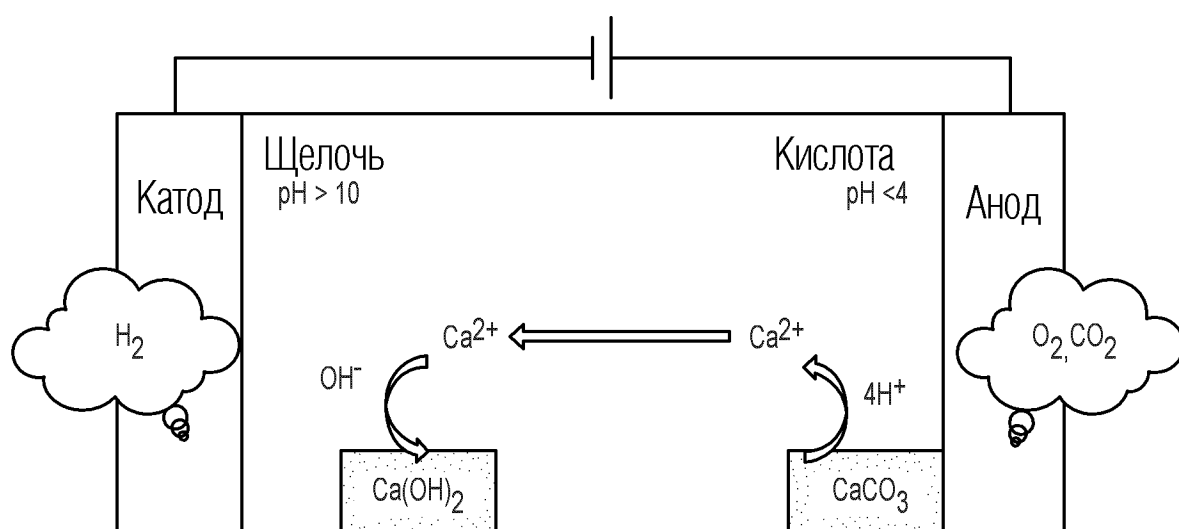
ФИГ. 4С



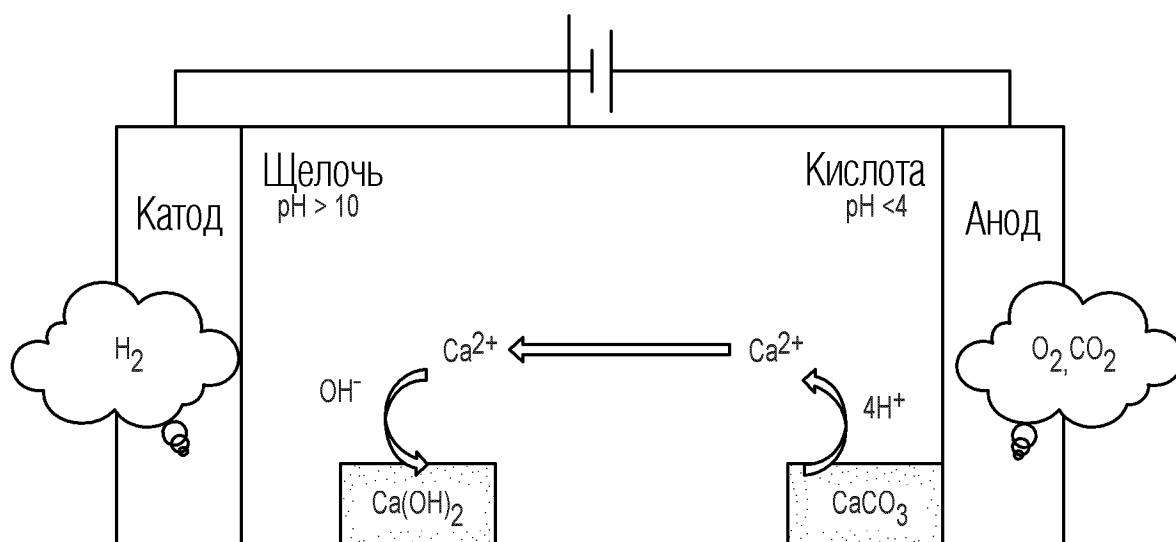
ФИГ. 5



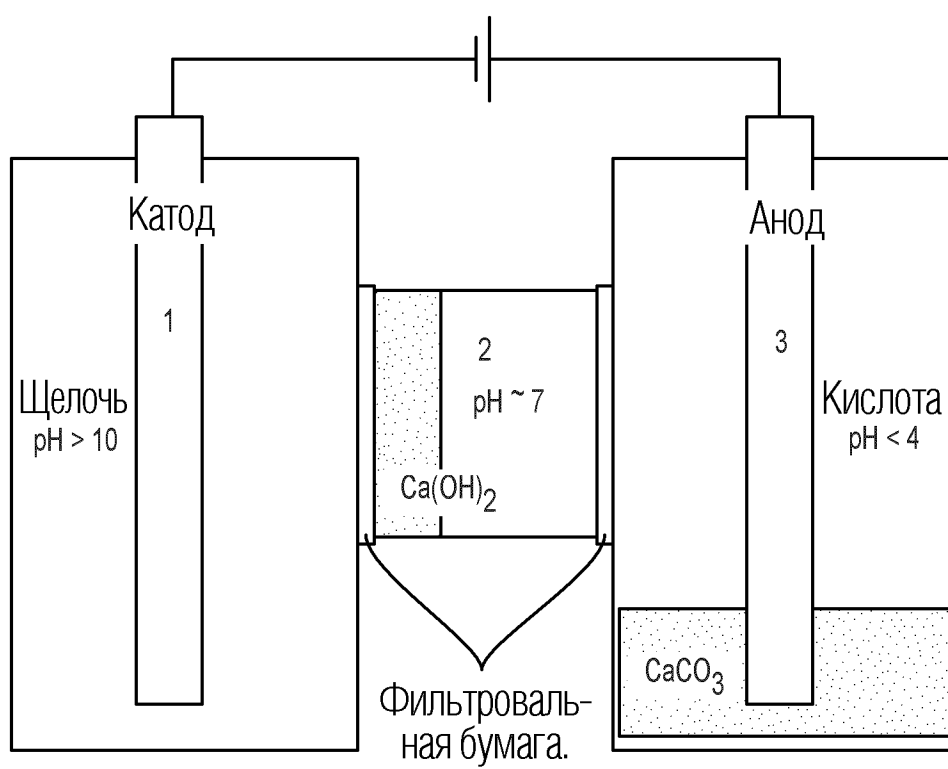
ФИГ. 6



ФИГ. 7



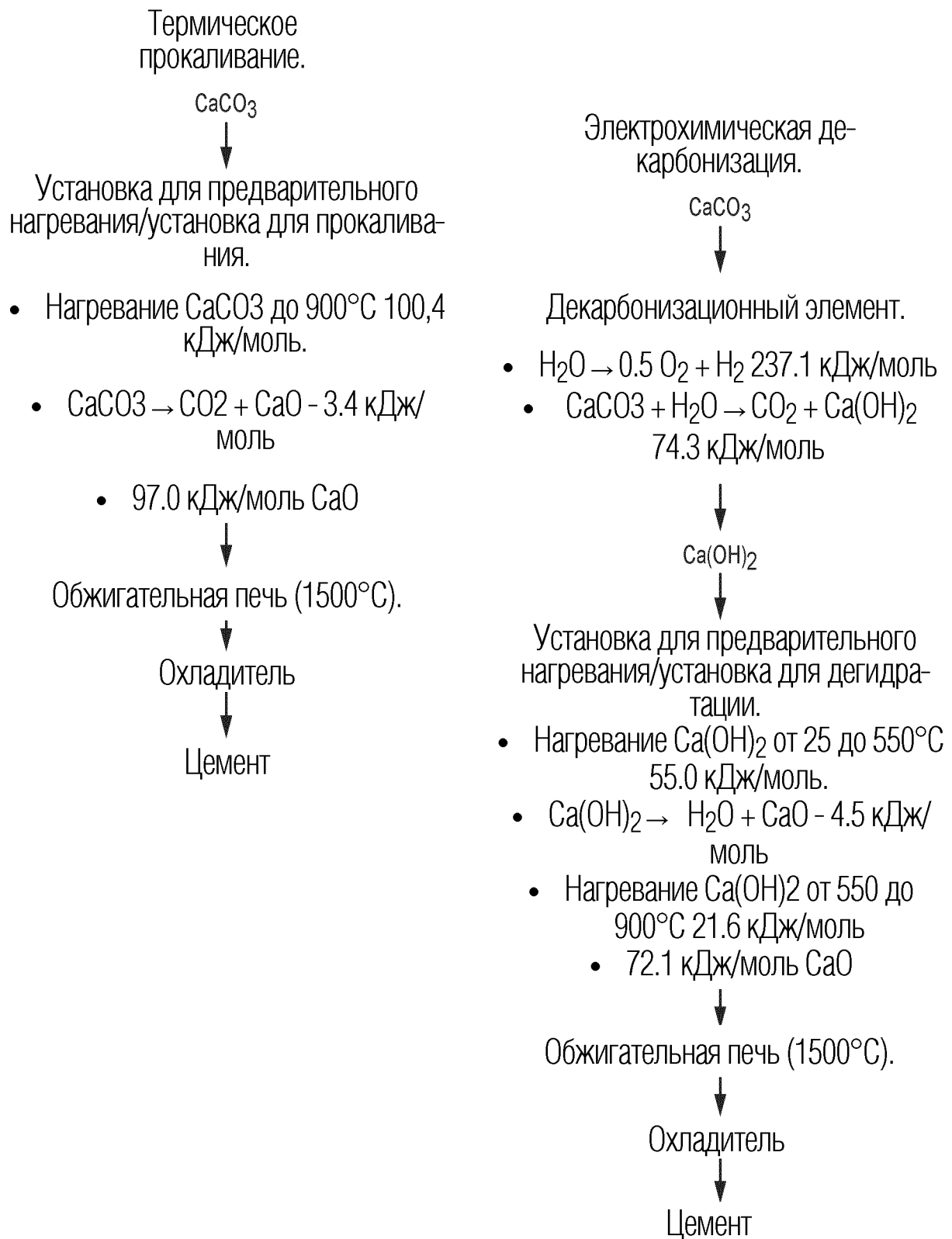
ФИГ. 8



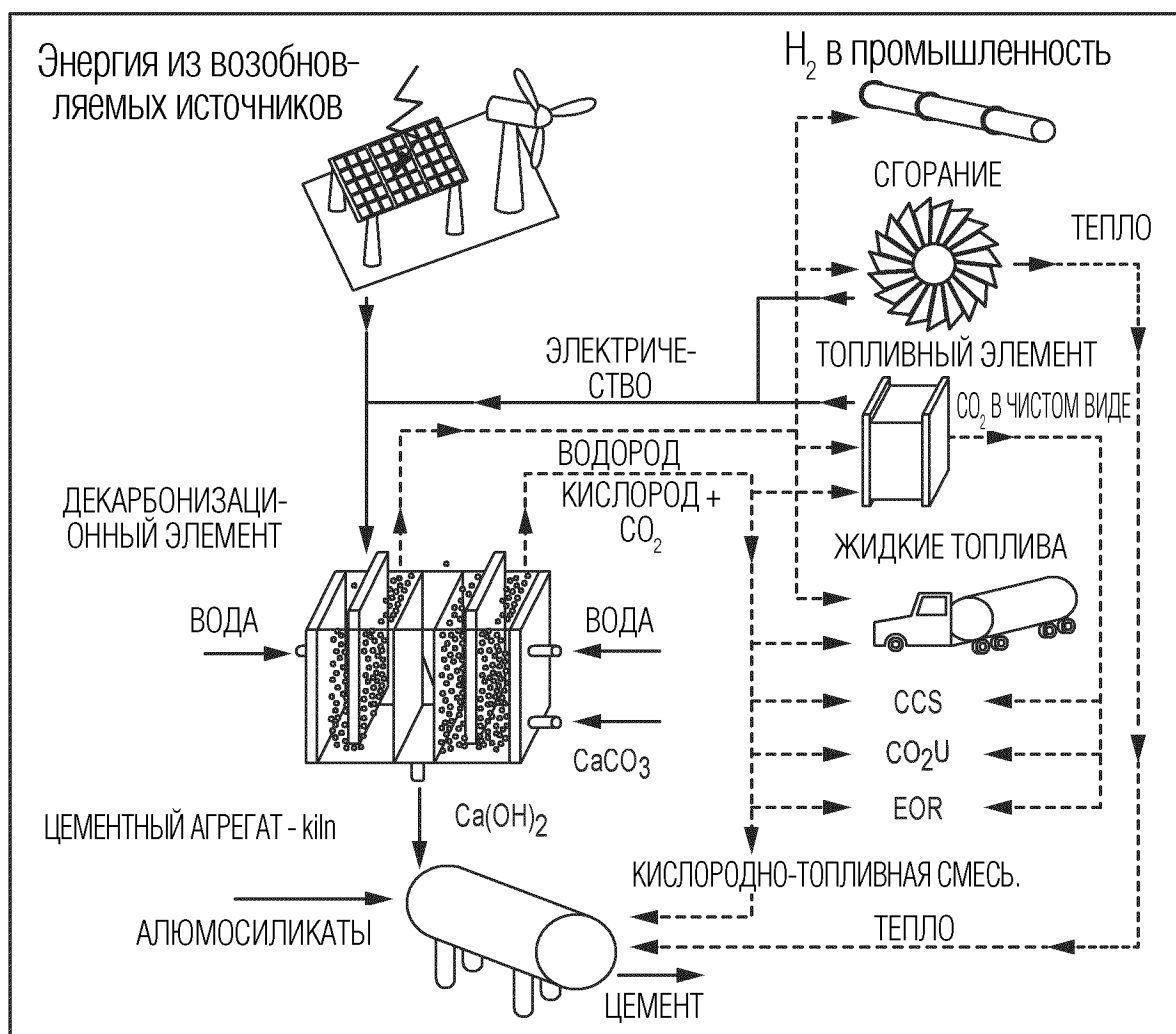
ФИГ. 9



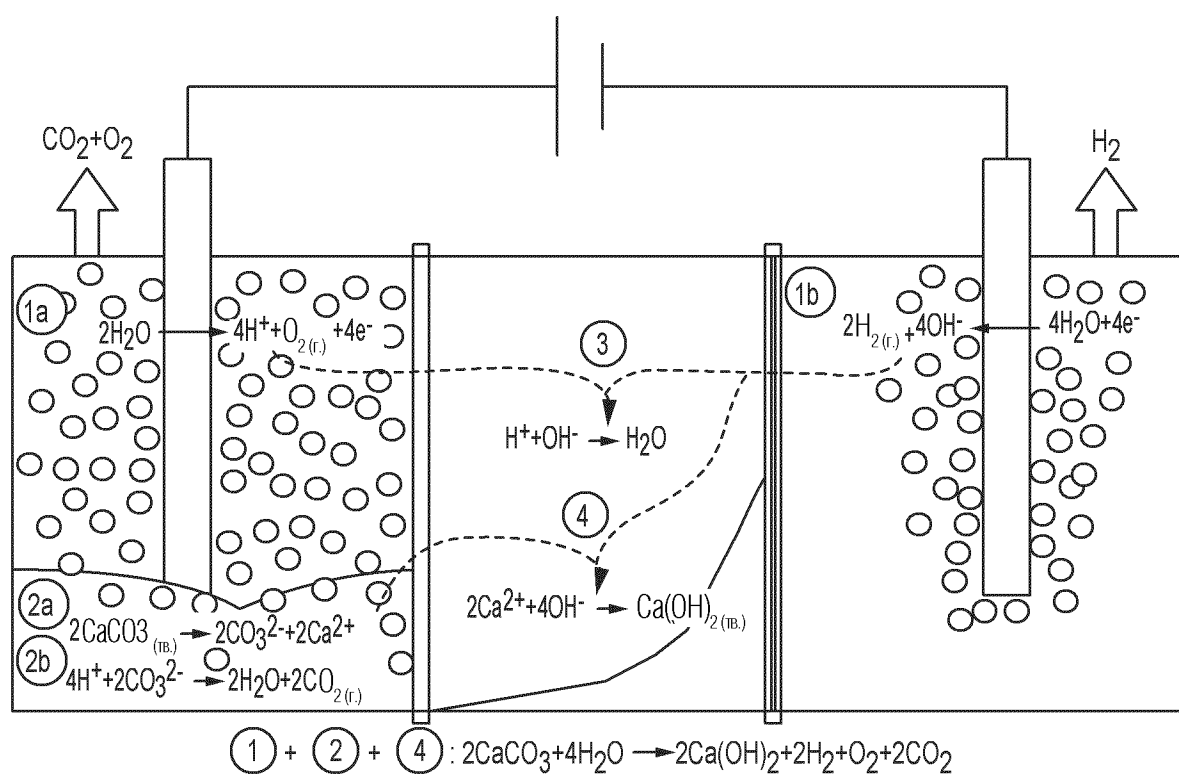
ФИГ. 10



ФИГ. 11



ФИГ. 12



ФИГ. 13

ФИГ. 14А

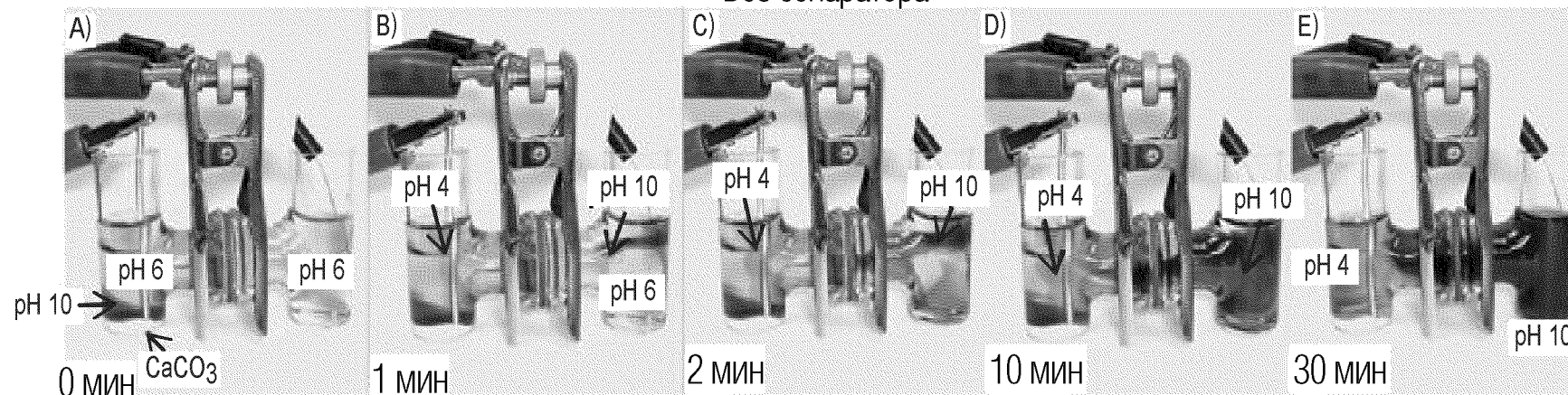
ФИГ. 14В

ФИГ. 14С

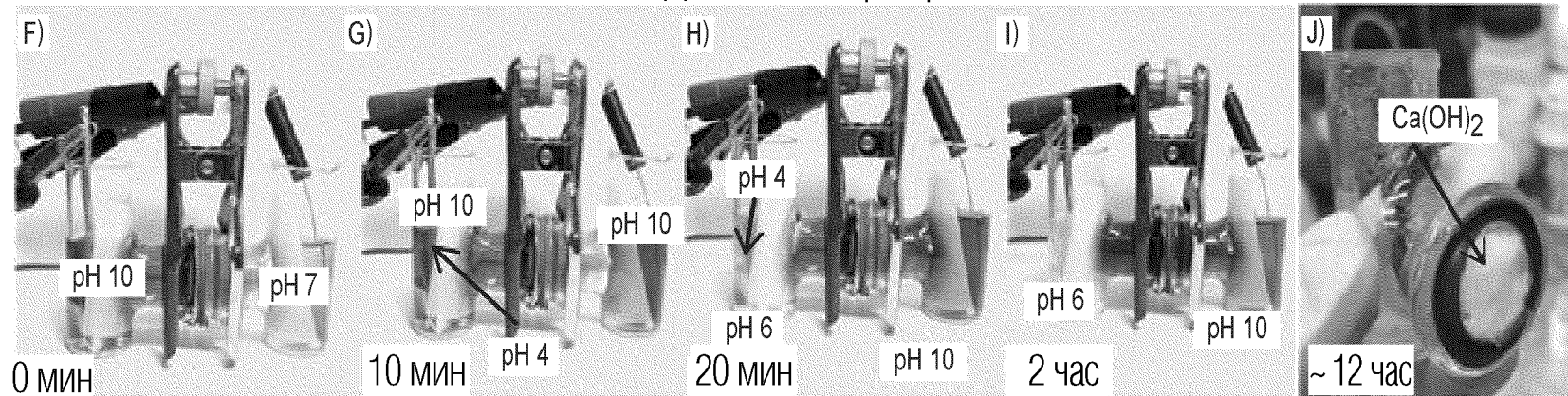
ФИГ. 14D

ФИГ. 14Е

Без сепаратора



Двойные сепараторы



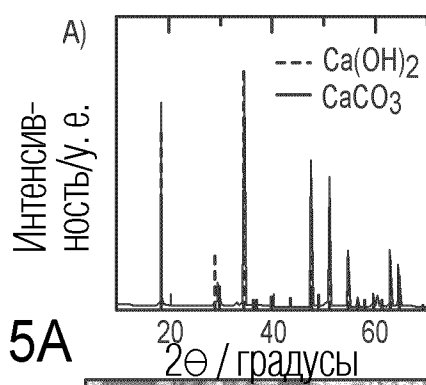
ФИГ. 14F

ФИГ. 14G

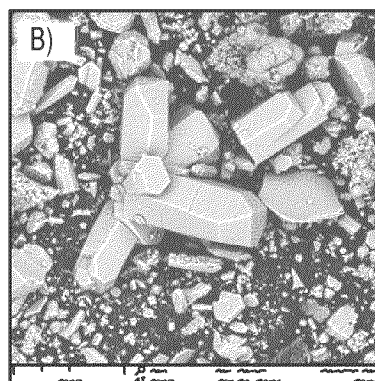
ФИГ. 14H

ФИГ. 14I

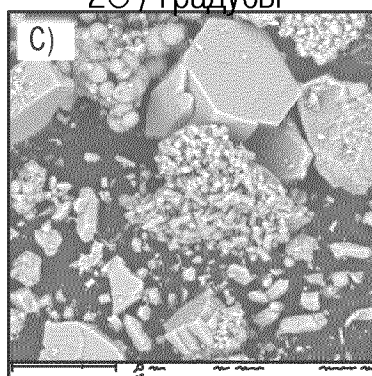
ФИГ. 14J



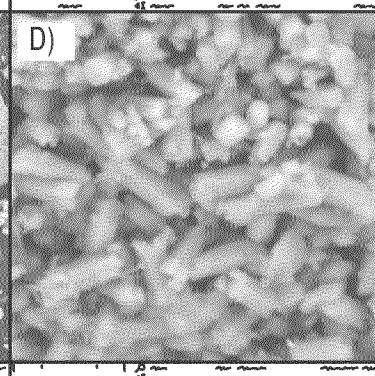
ФИГ. 15А



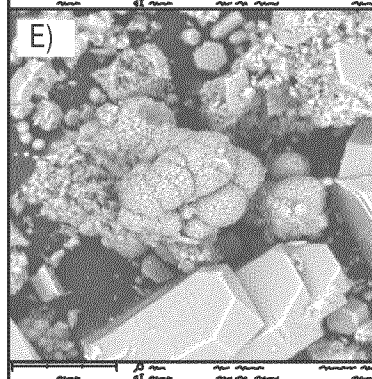
ФИГ. 15В



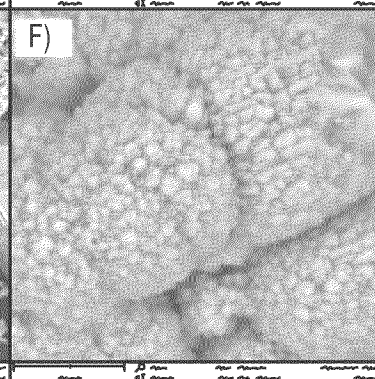
ФИГ. 15С



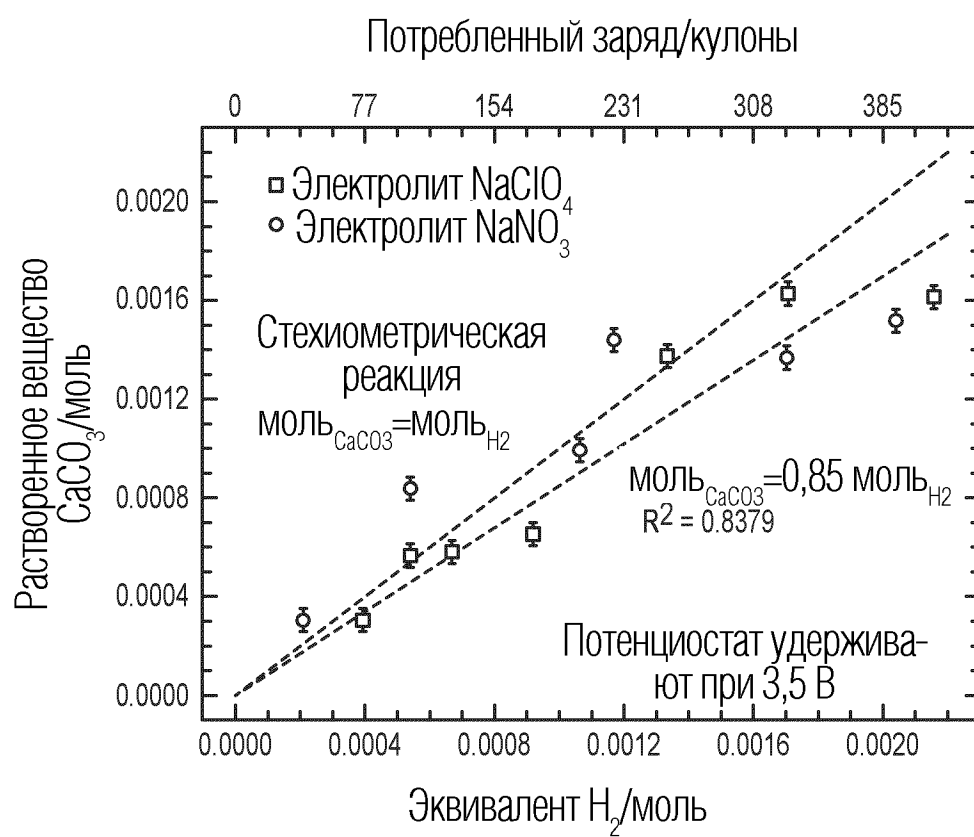
ФИГ. 15D



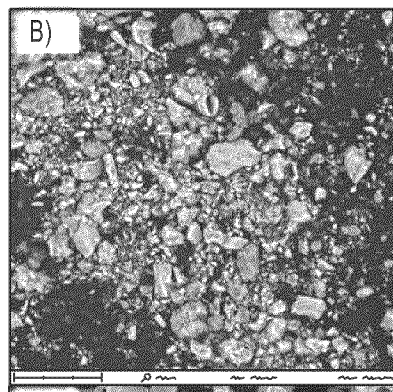
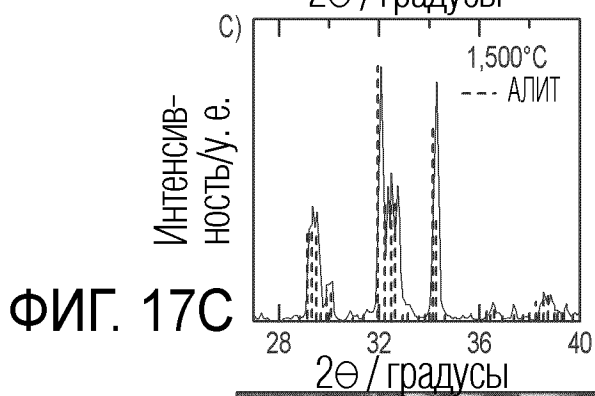
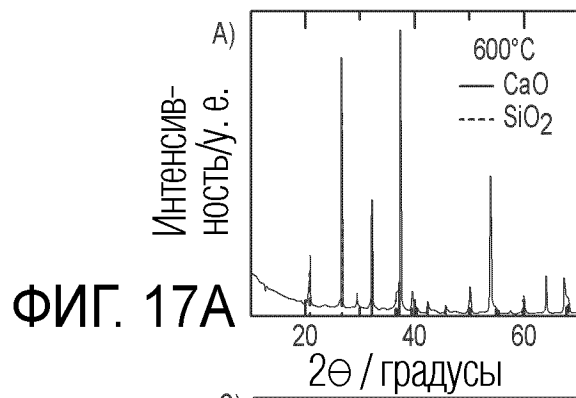
ФИГ. 15Е



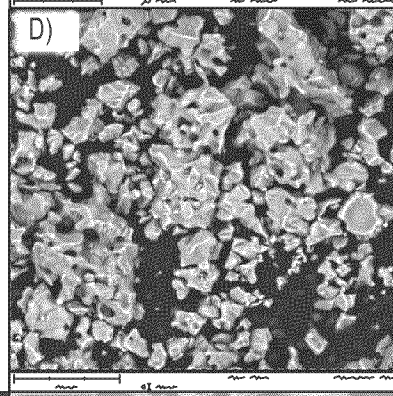
ФИГ. 15F



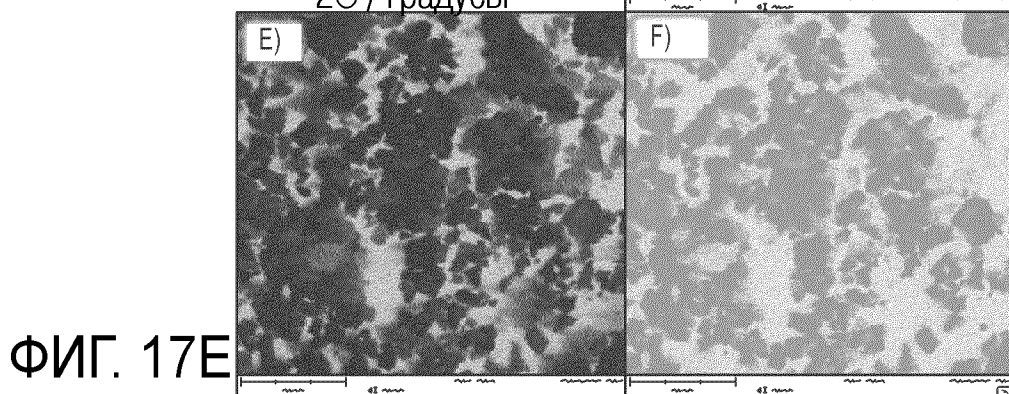
ФИГ. 16



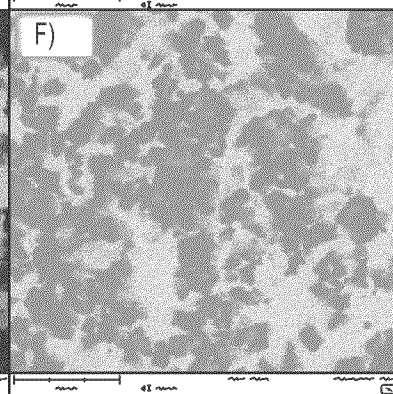
ФИГ.
17В

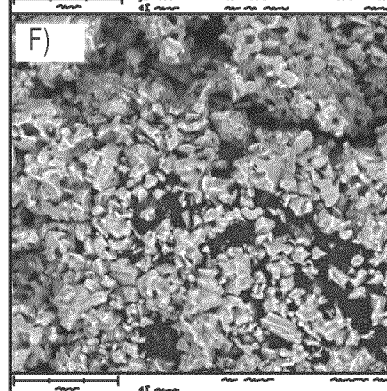
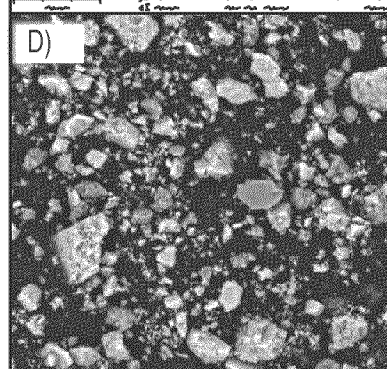
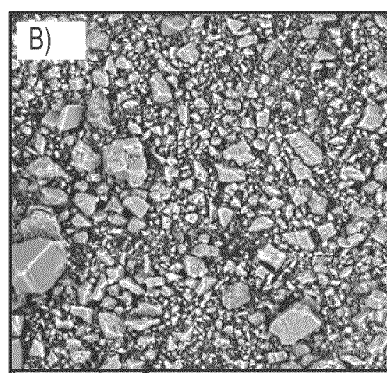
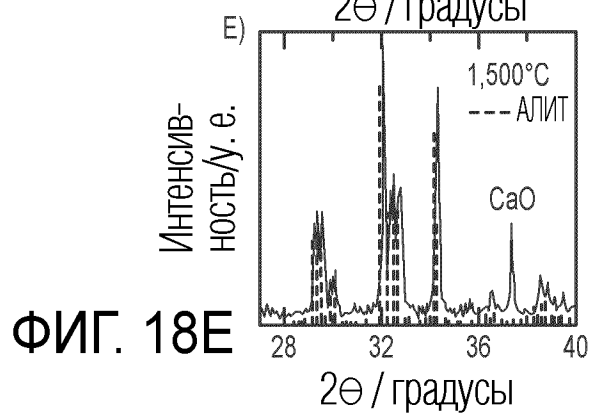
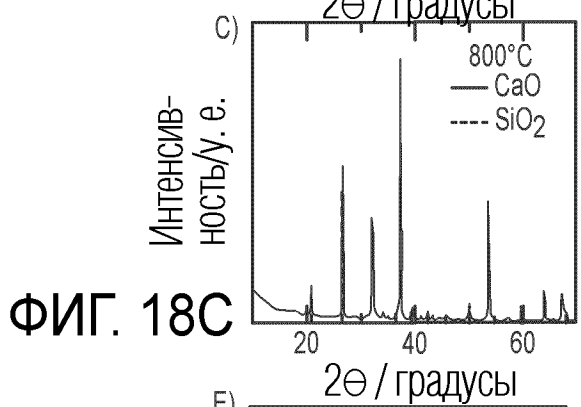
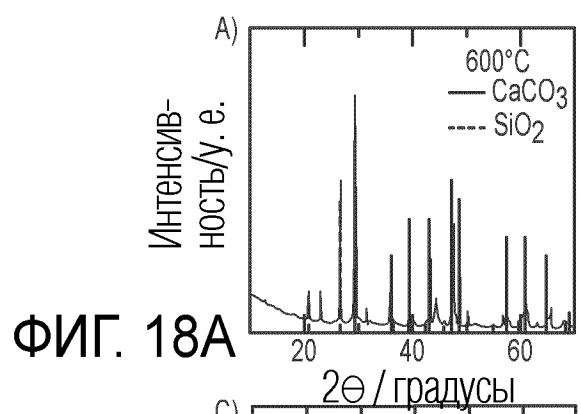


ФИГ.
17D



ФИГ.
17F



ФИГ.
18ВФИГ.
18ДФИГ.
18Ф