

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202192509** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2022.02.07**

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

(22) Дата подачи заявки  
**2020.03.13**

---

**(54) УСТРОЙСТВА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ЗАДЕЙСТВУЮЩИЕ КИСЛОТУ И/ИЛИ ОСНОВАНИЕ, И СООТВЕТСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ**

---

(31) **62/818,604; 62/887,143; 62/962,061**

(72) Изобретатель:

(32) **2019.03.14; 2019.08.15; 2020.01.16**

**Чиан Ет-Мин (US), Эллис Лиан (CA),  
Бадель Андрес, Меткаф Исаак У. (US)**

(33) **US**

(86) **PCT/US2020/022672**

(74) Представитель:

(87) **WO 2020/186178 2020.09.17**

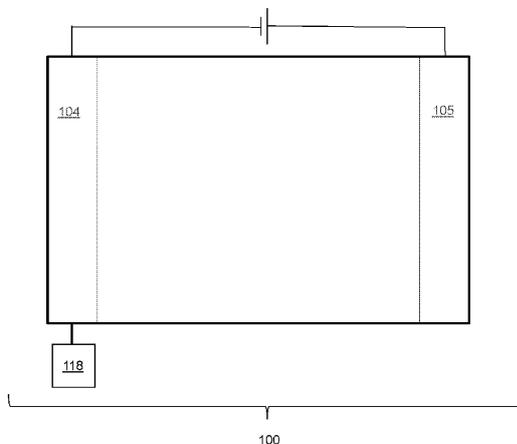
**Медведев В.Н. (RU)**

(71) Заявитель:

**МАССАЧУСЕТС ИНСТИТУТ ОФ  
ТЕКНОЛОДЖИ (US)**

---

(57) В общем случае описываются устройства для химической реакции, задействующие кислоту и/или основание, и соответственные системы и способы.



**A1**

**202192509**

**202192509**

**A1**

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-570851EA/23

### УСТРОЙСТВА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ЗАДЕЙСТВУЮЩИЕ КИСЛОТУ И/ИЛИ ОСНОВАНИЕ, И СООТВЕТСТВЕННЫЕ 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 № 62/818,604, поданной 14 марта 2019 года; предварительной патентной заявки США № 62/887,143, поданной 15 августа 2019 года; и предварительной патентной заявки США № 62/962,061, поданной 16 января 2020 года; все из которых во всей своей полноте посредством ссылки на них включаются в настоящий документ для всех целей.

#### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

В общем случае описываются устройства для химической реакции, в которых задействованы кислота и/или основание, и соответственные системы и способы.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В общем случае описываются устройства для химической реакции, в которых задействованы кислота и/или основание, и соответственные системы и способы. В некоторых вариантах осуществления способ включает производство основания поблизости от первого электрода (например, катода) и кислоты поблизости от второго электрода (например, анода), который является электрохимически сопряженным с первым электродом. В определенных вариантах осуществления способ включает сбор кислоты и/или основания. В некоторых прецедентах способ включает хранение кислоты и/или основания. В некоторых вариантах осуществления способ включает проведение реакции в отношении кислоты и/или основания при химическом растворении (например, проведение реакции между кислотой и карбонатом металла, таким как  $\text{CaCO}_3$ , для производства ионов металла, таких как ионы кальция, и/или карбонат-ионов). В определенных вариантах осуществления способ включает проведение реакции в отношении кислоты и/или основания при реакции осаждения (например, проведение реакции между основанием и ионами металла, такими как ионы кальция, для производства гидроксида металла, такого как  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). В некоторых вариантах осуществления гидроксид металла может быть использован в технологических процессах изготовления цемента.

В некоторых случаях производство кислоты поблизости от второго электрода и/или производство основания поблизости от первого электрода в результате приводят к производству газа (например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и/или  $\text{O}_2$ ). В определенных случаях один или несколько газов могут быть собраны, проданы, использованы в технологическом процессе, расположенном ниже по ходу технологического потока, и/или поданы обратно в систему. В некоторых случаях производство кислоты вблизи второго электрода и/или производство основания вблизи первого электрода обеспечивают производство уменьшенного количества газа, не обеспечивают производства газа и/или не обеспечивают производства нетто-количества (т.е. получаемого в конечном итоге количества) газа, поскольку любой

произведенный газ используется в системе (например, для увеличения градиента значения рН между электродами). В определенных вариантах осуществления кислота, произведенная вблизи второго электрода, и/или основание, произведенное вблизи первого электрода, например, во время периодов низкого уровня расходов на оплату электрической энергии, могут быть использованы для производства газообразного водорода и/или газообразного кислорода, например, в периоды высокого уровня расходов на оплату электрической энергии.

Также описываются изобретенные системы и способы формирования осадков в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения рН). В пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например, пространственно варьирующемся градиенте значения рН) 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 рН) 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 рН). В определенных вариантах осуществления пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения рН) имеет место в электрохимическом элементе и устанавливается и/или выдерживается в результате электролиза (например, электролиза воды). В соответствии с некоторыми вариантами осуществления после сбора осадка осадок нагревают внутри обжигательной печи для изготовления цемента, такого как портландцемент. Сущность предмета настоящего изобретения включает в некоторых случаях взаимосвязанные продукты, альтернативные решения для конкретной проблемы и/или множество различных вариантов использования одного или нескольких объектов, выбираемых из систем и/или изделий.

Определенные аспекты относятся к способам. В некоторых вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора в первом режиме; где первый режим включает: производство основания от первого электрода; производство кислоты от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; и сбор кислоты и/или основания.

В определенных вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора в первом режиме; где первый режим включает: производство основания от первого электрода; производство кислоты от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; сбор кислоты и/или основания; и проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания при химическом растворении и/или при реакции осаждения.

В некоторых вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора в

первом режиме; где первый режим включает: производство основания и газообразного водорода от первого электрода; производство кислоты и газообразного кислорода от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; и обеспечение возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к первому электроду и/или обеспечение возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода ко второму электроду; и обеспечение возможности восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода и/или обеспечение возможности окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.

В некоторых вариантах осуществления способ включает производство основания и дигалогенида в первом реакторе; производство кислоты во втором реакторе; сбор кислоты; сбор основания; проведение химического растворения при использовании кислоты и/или основания; и проведение реакции осаждения при использовании кислоты и/или основания.

Определенные аспекты относятся к системам. В определенных вариантах осуществления система включает первый электрод; второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом; и аппарат, сконфигурированный для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода и/или основного выпуска поблизости от первого электрода.

В некоторых вариантах осуществления система включает первый электрод; второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом; первый аппарат, сконфигурированный для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода и/или основного выпуска поблизости от первого электрода; и второй аппарат, сконфигурированный для проведения реакции в отношении собранного кислотного выпуска и/или собранного основного выпуска.

В определенных вариантах осуществления система включает первый электрод, сконфигурированный для производства основания и газообразного водорода; и второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом и сконфигурированным для производства кислоты и газообразного кислорода; где систему конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к первому электроду и/или обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода ко второму электроду; и где систему конфигурируют для обеспечения возможности восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода и/или обеспечения возможности окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.

В некоторых вариантах осуществления система включает первый реактор, сконфигурированный для производства основания, дигалогенида и газообразного водорода; второй реактор, сконфигурированный для производства кислоты; первый аппарат, сконфигурированный для сбора кислоты поблизости от второго реактора и проведения химического растворения и/или реакции осаждения при использовании

кислоты; и второй аппарат, сконфигурированный для сбора основания поблизости от первого реактора и проведения химического растворения и/или реакции осаждения при использовании основания.

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 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 демонстрируется там, где иллюстрация является необязательной для обеспечения возможности понимания изобретения специалистами в соответствующей области техники. На фигурах:

**ФИГУРА 1А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод и аппарат.

**ФИГУРА 1В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод и два аппарата.

**ФИГУРА 1С** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод, аппарат и сепаратор.

**ФИГУРА 1D** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод и три аппарата.

**ФИГУРА 1E** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод и шесть аппаратов.

**ФИГУРА 1F** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей первый электрод, второй электрод, аппарат и обжигательную печь.

**ФИГУРА 2А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, которая включает первый электрод и второй электрод и вырабатывает газообразный

водород и газообразный кислород.

**ФИГУРА 2В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, которая включает первый электрод, второй электрод и сепаратор и вырабатывает газообразный водород и газообразный кислород.

**ФИГУРА 2С** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию в поперечном сечении для системы, которая включает первый электрод, второй электрод, сепаратор и два аппарата и вырабатывает газообразный водород и газообразный кислород.

**ФИГУРА 2D** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, которая включает первый электрод, второй электрод, сепаратор, два аппарата и обжигательную печь и вырабатывает газообразный водород и газообразный кислород.

**ФИГУРА 3А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей два реактора.

**ФИГУРА 3В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей два реактора, где первый реактор включает первый электрод и второй электрод.

**ФИГУРА 4А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, которая включает две камеры.

**ФИГУРА 4В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию для системы, включающей две камеры, где  $\text{CaCO}_3$  растворяется в одной камере, а  $\text{Ca(OH)}_2$  осаждается в другой камере.

**ФИГУРА 5А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию функционирования реактора в высоковольтном режиме.

**ФИГУРА 5В** представляет собой диаграмму Пурбэ, иллюстрирующую высоковольтный режим.

**ФИГУРА 6А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию функционирования реактора в низковольтном режиме.

**ФИГУРА 6В** представляет собой диаграмму Пурбэ, иллюстрирующую низковольтный режим.

**ФИГУРА 7** представляет собой графическую зависимость расходов на оплату электрической энергии от времени для щелочного электролизера на 1 кВт, функционирующего при 1,2 В, (сплошная линия) и для электролизера (штриховая линия), потребляющего ту же самую величину силы тока и функционирующего при 2 В при расходах на оплату электрической энергии  $> 0,05$  доллар США/кВт-час и при 0,4 В при расходах на оплату электрической энергии  $< 0,05$  доллар США/кВт-час.

**ФИГУРА 8А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию функционирования реактора в низковольтном режиме А.

**ФИГУРА 8В** представляет собой диаграмму Пурбэ, иллюстрирующую низковольтный режим А.

**ФИГУРА 9А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию функционирования реактора в низковольтном режиме В.

**ФИГУРА 9В** представляет собой диаграмму Пурбэ, иллюстрирующую низковольтный режим В.

**ФИГУРА 10А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схематическую иллюстрацию функционирования реактора в режиме топливного элемента.

**ФИГУРА 10В** представляет собой диаграмму Пурбэ, иллюстрирующую режим топливного элемента.

**ФИГУРА 11** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой блок-схему, демонстрирующую электролиз нейтральной по значению рН воды для изготовления кислоты/основания в целях изготовления осажденных гидроксидов в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

**ФИГУРА 12** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой блок-схему, демонстрирующую электролиз электролитов на основе галогенида щелочного металла для изготовления кислоты/основания в целях изготовления осажденных гидроксидов в соответствии с определенными вариантами осуществления.

**ФИГУРЫ 13А - 13В** демонстрируют компенсацию заряда  $\text{OH}^-$  катионом в электролите, который проходит через диафрагму или мембрану, в соответствии с определенными вариантами осуществления. **ФИГУРА 13А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой иллюстрацию, демонстрирующую восстановление воды на первом электроде (например, катоде) реактора 1 с образованием  $\text{OH}^-$  (щелочной раствор) и  $\text{H}_2$  (г.). **ФИГУРА 13В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой иллюстрацию, демонстрирующую восстановление  $\text{O}_2$  на первом электроде (например, катоде) реактора 1 с образованием  $\text{OH}^-$  (щелочной раствор).

**ФИГУРЫ 14А - 14В** демонстрируют химическое растворение и реакции осаждения в соответствии с определенными вариантами осуществления. **ФИГУРА 14А** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схему, демонстрирующую проведение реакции между дигалогенидом и газообразным водородом для производства желательной кислоты. **ФИГУРА 14В** в соответствии с определенными вариантами осуществления представляет собой схему, демонстрирующую проведение реакции между дигалогенидом и водой для производства желательной кислоты и кислорода в качестве побочного продукта.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В общем случае описываются устройства для химической реакции, задействующие кислоту и/или основание, и соответственные системы и способы. В некоторых вариантах осуществления способ включает производство основания поблизости от первого электрода (например, катода) и кислоты поблизости от второго электрода (например, анода), который является электрохимически сопряженным с первым электродом. В определенных вариантах осуществления способ включает сбор кислоты и/или основания. В некоторых прецедентах способ включает хранение кислоты и/или основания. В некоторых вариантах осуществления способ включает проведение реакции в отношении кислоты и/или основания при химическом растворении (например, проведение реакции между кислотой и карбонатом металла, таким как  $\text{CaCO}_3$ , для производства ионов металла, таких как ионы кальция, и/или карбонат-ионов). В определенных вариантах осуществления способ включает проведение реакции в отношении кислоты и/или основания при реакции осаждения (например, проведение реакции между основанием и ионами металла, такими как ионы кальция, для производства гидроксида металла, такого как  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). В некоторых вариантах осуществления гидроксид металла может быть использован в технологических процессах изготовления цемента.

В некоторых случаях производство кислоты поблизости от второго электрода и/или производство основания поблизости от первого электрода в результате приводят к производству газа (например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и/или  $\text{O}_2$ ). В определенных случаях один или несколько газов могут быть собраны, проданы, использованы в технологическом процессе, расположенном ниже по ходу технологического потока, и/или поданы обратно в систему. В некоторых прецедентах производство кислоты поблизости от второго электрода и/или производство основания поблизости от первого электрода обеспечивают производство уменьшенного количества газа, не обеспечивают производства газа и/или не обеспечивают производства нетто-количества газа, поскольку любой произведенный газ используется в системе (например, для увеличения градиента значения pH между электродами). В определенных вариантах осуществления кислота, произведенная поблизости от второго электрода, и/или основание, произведенное поблизости от первого электрода, например, во время периодов низкого уровня расходов на оплату электрической энергии, могут быть использованы для производства газообразного водорода и/или газообразного кислорода, например, в периоды высокого уровня расходов на оплату электрической энергии.

Также описываются реакторы, включающие пространственно варьирующиеся градиенты химического состава (например, пространственно варьирующиеся градиенты значения pH), и связанные с ними системы и способы. 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) растворяется 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, для которых используют электролитическую реакцию при производстве градиента химического состава между положительным и отрицательным электродами электрохимического элемента. После этого упомянутый электролитически произведенный градиент состава в некоторых вариантах осуществления используют 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 некоторых вариантах осуществления желательную химическую реакцию проводят в результате сбора растворов или суспензий различающегося состава, произведенного электролитически, и использования упомянутых растворов или суспензий для производства продукта из упомянутого реагента в части реактора или в отдельном аппарате. 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 задействует нагревание минеральной или металлической соли для ее разложения, уменьшаются или избегаются 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 электрической энергией из возобновляемых источников, таких как солнечное фотоэлектричество или ветровая энергия, и, тем самым, уменьшает использование источников энергии, производящих парниковые газы, при проведении прокаливания или реакции 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  $\text{CO}_2$  в мире, формируя приблизительно 8% глобальных выбросов  $\text{CO}_2$ . Традиционные способы промышленного производства цемента включают прокаливание  $\text{CaCO}_3$  при использовании термических средств. При современном изготовлении цемента приблизительно 60% выбросов  $\text{CO}_2$  представляют собой результат прокаливания  $\text{CaCO}_3$ , а приблизительно 40% выбросов  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  при расчете на количество произведенного цемента, чем современное изготовление.

Также 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  $\text{CaCO}_3$ . В некоторых вариантах осуществления электрохимический реактор включает первое выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и/или негашеной извести ( $\text{CaO}$ ). В определенных случаях электрохимический реактор включает второе выпускное отверстие, сконфигурированное для выгрузки  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$  в газообразном состоянии. В соответствии с определенными вариантами осуществления обжигательную печь конфигурируют для нагревания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  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 100%), электрической энергией 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 прецедентах система характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода.

Определенные варианты осуществления относятся к изобретенным способам, при которых  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и/или негашеную известь ( $\text{CaO}$ ) производят в электрохимическом реакторе. В некоторых вариантах осуществления после этого  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и/или негашеную известь из электрохимического реактора транспортируют в обжигательную печь, которая

нагревает  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и/или негашеную известь (и/или продукт их реакции) в качестве части технологического процесса изготовления цемента. В некоторых вариантах осуществления электрохимический реактор также производит  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$  в газообразном состоянии. В соответствии с определенными вариантами осуществления  $\text{CO}_2$  изолируют, 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 некоторых случаях  $\text{O}_2$  может быть изолирован, использован в кислородно-топливной смеси, использован в области применения технологии CCS и/или использован в методах повышения нефтеотдачи. В определенных прецедентах  $\text{H}_2$  может быть изолирован и/или использован 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)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$ , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь.

Как это отмечалось выше, определенные аспекты относятся к системам. Неограничивающие примеры таких систем демонстрируются на ФИГУРАХ 1А - 3В.

В некоторых вариантах осуществления система включает первый электрод. В некоторых вариантах осуществления первый электрод включает катод. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления система 100 включает первый электрод 104 (например, катод). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления система 200 включает первый электрод 104 (например, катод). В определенных вариантах осуществления первый электрод выбирают в виде электронного проводника, который является устойчивым в относительно щелочных условиях (например, в щелочной области и/или основании, описанных в настоящем документе).

В определенных вариантах осуществления первый электрод включает металлический электрод (такой как в случае платины, золота, никеля, иридия, меди, железа, стали, нержавеющей стали, марганца и/или цинка), углерод (такой как в случае графита или неупорядоченных разновидностей углерода) или карбид металла (такой как в случае карбида кремния, карбида титана и/или карбида 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 материал электрокатализатора или электрода диспергируют на проводящем носителе или наносят на него в виде покрытия.

В некоторых вариантах осуществления система включает второй электрод. В некоторых вариантах осуществления второй электрод включает анод. Например, исходя из

обращения обратно к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления система 100 включает второй электрод 105 (например, анод). Подобным образом, исходя из обращения обратно к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления система 200 включает второй электрод 105 (например, анод). В некоторых вариантах осуществления второй электрод является электрохимически сопряженным с первым электродом. Говоря другими словами, электроды могут быть сконфигурированы таким образом, что они будут способны принимать участие в электрохимическом технологическом процессе. Достижения электрохимического сопряжения можно добиться, например, в результате оказания воздействия электролитом на первый и второй электроды, что облегчает транспортирование ионов между двумя электродами. Исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 является электрохимически сопряженным со вторым электродом 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 является электрохимически сопряженным со вторым электродом 105.

В определенных вариантах осуществления второй электрод выбирают в виде электронного проводника, который является устойчивым в относительно кислотных условиях (например, в кислотной области и/или кислоте, описанных в настоящем документе). В определенных вариантах осуществления второй электрод включает металлический электрод (такой как платина, палладий, свинец и/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 при обеспечении его устойчивости в щелочных условиях. Катодный катализатор может содержать в некоторых вариантах осуществления никель, железо, сульфид переходного металла (такой как сульфид молибдена) и/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 при обеспечении его устойчивости в кислотных условиях. В некоторых вариантах осуществления анодный катализатор содержит платину, иридий или их оксиды.

В некоторых вариантах осуществления система включает реактор (например, электрохимический реактор). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления система 100 включает реактор. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных случаях система 200 включает реактор. В некоторых вариантах осуществления реактор включает первый электрод и второй электрод. Например, в некоторых вариантах осуществления первый электрод является электрохимически сопряженным со вторым электродом в реакторе. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 является электрохимически сопряженным со вторым электродом 105 в реакторе. Подобным

образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных случаях первый электрод 104 является электрохимически сопряженным со вторым электродом 105 в реакторе.

Определенные аспекты относятся к способам, которые могут быть поняты в отношении ФИГУР 1А - 3В. В некоторых вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора (например, любого реактора, описанного в настоящем документе). В определенных случаях эксплуатация реактора включает подачу электрического тока на электрод реактора. В некоторых вариантах осуществления эксплуатация реактора в результате приводит к реализации, по меньшей мере, одной химической реакции, проходящей внутри реактора.

В определенных вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора в первом режиме. В некоторых вариантах осуществления первый режим включает производство основания поблизости от первого электрода (например, основание производят в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый режим включает производство основания поблизости от первого электрода 104. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных случаях первый режим включает производство основания поблизости от первого электрода 104.

В определенных вариантах осуществления первый электрод (например, в первом режиме) конфигурируют для производства основного выпуска (например, любого из оснований, описанных в настоящем документе). В некоторых вариантах осуществления основной выпуск производят в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 конфигурируют для производства основания. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых прецедентах первый электрод 104 конфигурируют для производства основания.

Основание может характеризоваться любой из широкого спектра подходящих для использования концентраций. В некоторых вариантах осуществления основание характеризуется концентрацией, составляющей более, чем или ровно 0,000001 моль/л, более, чем или ровно 0,00001 моль/л, более, чем или ровно 0,0001 моль/л, более, чем или ровно 0,001 моль/л, более, чем или ровно 0,01 моль/л, более, чем или ровно 0,1 моль/л, более, чем или ровно 0,5 моль/л, более, чем или ровно 1 моль/л, более, чем или ровно 3 моль/л, более, чем или ровно 5 моль/л, более, чем или ровно 7 моль/л, более, чем или ровно 10 моль/л, более, чем или ровно 15 моль/л или более, чем или ровно 20 моль/л. В определенных вариантах осуществления основание характеризуется концентрацией, составляющей менее, чем или ровно 25 моль/л, менее, чем или ровно 20 моль/л, менее, чем или ровно 15 моль/л, менее, чем или ровно 10 моль/л, менее, чем или ровно 7 моль/л, менее, чем или ровно 5 моль/л или менее, чем или ровно 3 моль/л. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 0,1 моль/л и менее, чем или ровно 25 моль/л или между более, чем или ровно 0,1 моль/л и менее, чем или ровно 10 моль/л).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления производство основания под воздействием первого электрода в результате приводит к получению щелочной области (например, любой щелочной области, описанной в настоящем документе) поблизости от первого электрода (например, в пределах половины отсека реактора, который является наиболее близким к первому электроду). Например, в некоторых прецедентах текучая среда, соседствующая с первым электродом, (например, щелочная область) характеризуется большим значением pH, чем текучая среда на большем удалении от первого электрода. В рамках одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых случаях система включает щелочную область 106 поблизости от первого электрода 104. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных прецедентах система включает щелочную область 106 поблизости от первого электрода 104.

В некоторых вариантах осуществления значение pH поблизости от первого электрода (например, по соседству с ним) составляет более, чем или ровно 8, более, чем или ровно 9, более, чем или ровно 10, более, чем или ровно 11, более, чем или ровно 12 или более, чем или ровно 13. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления значение pH поблизости от первого электрода составляет менее, чем или ровно 14, менее, чем или ровно 13, менее, чем или ровно 12, менее, чем или ровно 11 или менее, чем или ровно 10. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 8 и менее, чем или ровно 14).

В некоторых вариантах осуществления второй электрод конфигурируют для производства кислотного выпуска (например, любой из кислот, описанных в настоящем документе). В определенных вариантах осуществления кислотный выпуск производят в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления второй электрод 105 конфигурируют для производства кислоты. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных случаях второй электрод 105 конфигурируют для производства кислоты. В некоторых вариантах осуществления первый режим реактора включает производство кислоты поблизости от второго электрода (например, кислоту производят в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый режим включает производство кислоты поблизости от второго электрода 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных вариантах осуществления первый режим включает производство кислоты поблизости от второго электрода 105.

Кислота может характеризоваться любой из широкого спектра подходящих для использования концентраций. В некоторых вариантах осуществления кислота характеризуется концентрацией, составляющей более, чем или ровно 0,000001 моль/л, более, чем или ровно 0,00001 моль/л, более, чем или ровно 0,0001 моль/л, более, чем или ровно 0,001 моль/л, более, чем или ровно 0,01 моль/л, более, чем или ровно 0,1 моль/л,

более, чем или ровно 0,5 моль/л, более, чем или ровно 1 моль/л, более, чем или ровно 3 моль/л, более, чем или ровно 5 моль/л, более, чем или ровно 7 моль/л или более, чем или ровно 10 моль/л. В определенных вариантах осуществления кислота характеризуется концентрацией, составляющей менее, чем или ровно 12 моль/л, менее, чем или ровно 10 моль/л, менее, чем или ровно 7 моль/л, менее, чем или ровно 5 моль/л, менее, чем или ровно 3 моль/л или менее, чем или ровно 1 моль/л. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 0,000001 моль/л и менее, чем или ровно 12 моль/л или между более, чем или ровно 0,1 моль/л и менее, чем или ровно 10 моль/л).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления производство кислоты под воздействием второго электрода в результате приводит к получению кислотной области (например, любой кислотной области, описанной в настоящем документе) поблизости от второго электрода (например, в пределах половины отсека реактора, который является наиболее близким ко второму электроду). Например, в некоторых прецедентах текучая среда, соседствующая со вторым электродом, (например, кислотная область) характеризуется меньшим значением pH, чем текучая среда на большем удалении от второго электрода. В рамках одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых случаях система включает кислотную область 107 поблизости от второго электрода 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных прецедентах система включает кислотную область 107 поблизости от второго электрода 105.

В соответствии с определенными вариантами осуществления значение pH поблизости от второго электрода (например, по соседству с ним) составляет менее, чем или ровно 6, менее, чем или ровно 5, менее, чем или ровно 4, менее, чем или ровно 3, менее, чем или ровно 2 или менее, чем или ровно 1. В некоторых вариантах осуществления значение pH поблизости от второго электрода составляет более, чем или ровно 0, более, чем или ровно 1, более, чем или ровно 2, более, чем или ровно 3, более, чем или ровно 4 или более, чем или ровно 5. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 0 и менее, чем или ровно 6).

В определенных вариантах осуществления первый электрод (например, катод) конфигурируют для производства газообразного водорода таким образом, чтобы газообразный водород мог бы быть произведен поблизости от первого электрода (например, газообразный водород производят в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 конфигурируют для производства газообразного водорода 108. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных прецедентах первый электрод 104 конфигурируют для производства газообразного водорода. В некоторых прецедентах эксплуатация реактора в первом режиме включает производство газообразного водорода (например, газообразного водорода и основания) поблизости от первого электрода (например, газообразный водород производят

в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде). В некоторых прецедентах газообразный водород и/или основание производят поблизости от первого электрода в результате восстановления воды поблизости от первого электрода.

В определенных вариантах осуществления второй электрод (например, анод) конфигурируют для производства кислорода таким образом, чтобы газообразный кислород мог бы быть произведен поблизости от второго электрода (например, газообразный кислород производят в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления второй электрод 105 конфигурируют для производства газообразного кислорода 109. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных вариантах осуществления второй электрод 105 конфигурируют для производства газообразного кислорода. В определенных случаях эксплуатация реактора в первом режиме включает производство газообразного кислорода (например, газообразного кислорода и кислоты) поблизости от второго электрода (например, газообразный кислород производят в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде). В некоторых прецедентах газообразный кислород и/или кислоту производят поблизости от второго электрода в результате окисления воды поблизости от второго электрода.

В некоторых вариантах осуществления систему конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к местоположению поблизости от первого электрода (например, от местоположения поблизости от второго электрода). Например, в некоторых случаях систему конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к текучей среде поблизости от первого электрода таким образом, чтобы газообразный кислород мог бы быть задействован в электрохимической реакции в первом электроде, от текучей среды поблизости от второго электрода после производства газообразного кислорода в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления систему 200 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода 109 от второго электрода 105 к первому электроду 104. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных вариантах осуществления систему 100 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода от второго электрода 105 к первому электроду 104.

В соответствии с определенными вариантами осуществления систему конфигурируют для обеспечения возможности восстановления газообразного кислорода поблизости от первого электрода (например, газообразный кислород восстанавливают в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных вариантах осуществления систему 200 конфигурируют для обеспечения возможности восстановления газообразного кислорода 109 поблизости от первого электрода 104. Подобным образом, исходя из обращения к

ФИГУРЕ 1А в некоторых прецедентах систему 100 конфигурируют для обеспечения возможности восстановления газообразного кислорода поблизости от первого электрода 104. В некоторых вариантах осуществления восстановление газообразного кислорода поблизости от первого электрода включает производство основания. В определенных вариантах осуществления производство основания является выгодным, поскольку это увеличивает совокупное количество основания, произведенного на первом электроде.

В некоторых вариантах осуществления систему конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода к местоположению поблизости от второго электрода (например, от местоположения поблизости от первого электрода). Например, в некоторых случаях систему конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода к текучей среде поблизости от второго электрода таким образом, чтобы газообразный водород мог бы быть задействован в электрохимической реакции во втором электроде, от текучей среды поблизости от первого электрода после производства газообразного водорода в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных случаях систему 200 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода 108 от первого электрода 104 ко второму электроду 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых прецедентах систему 100 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода от первого электрода 104 ко второму электроду 105.

В соответствии с определенными вариантами осуществления систему конфигурируют для обеспечения возможности окисления газообразного водорода поблизости от второго электрода (например, газообразный водород окисляют в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления систему 200 конфигурируют для обеспечения возможности окисления газообразного водорода 108 поблизости от второго электрода 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных вариантах осуществления систему 100 конфигурируют для обеспечения возможности окисления газообразного водорода поблизости от второго электрода. В некоторых вариантах осуществления окисление газообразного водорода поблизости от второго электрода включает производство кислоты. В определенных вариантах осуществления производство кислоты является выгодным, поскольку это увеличивает совокупное количество кислоты, произведенной на втором электроде.

В некоторых вариантах осуществления система включает сепаратор. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1С в некоторых вариантах осуществления система 100 включает сепаратор 124. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2В в определенных вариантах осуществления система 200 включает сепаратор 124. В определенных вариантах осуществления сепаратор конфигурируют для обеспечения

возможности диффундирования газообразного кислорода, произведенного на втором электроде, к первому электроду и/или обеспечения возможности диффундирования газообразного водорода, произведенного на первом электроде, ко второму электроду. Например, в некоторых вариантах осуществления сепаратор является проницаемым для газообразного кислорода и/или газообразного водорода. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1С в некоторых вариантах осуществления сепаратор 124 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования газообразного кислорода, произведенного на втором электроде, к первому электроду и/или обеспечения возможности диффундирования газообразного водорода, произведенного на первом электроде, ко второму электроду. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2В в определенных вариантах осуществления сепаратор 124 конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования газообразного кислорода, произведенного на втором электроде, к первому электроду и/или обеспечения возможности диффундирования газообразного водорода, произведенного на первом электроде, ко второму электроду.

Может существовать множество подходящих для использования вариантов транспортирования газообразного водорода и/или газообразного кислорода от одного электрода к другому. Например, в некоторых вариантах осуществления газообразный водород и/или газообразный кислород могли бы транспортироваться при использовании шприца (например, в случае наличия у реактора впускного отверстия поблизости от одного электрода для шприца и выпускного отверстия поблизости от другого электрода для шприца газ мог бы транспортироваться от одного электрода к другому при использовании шприца). В определенных вариантах осуществления газообразный водород и/или газообразный кислород могли бы транспортироваться при использовании тракта (например, трубки, канала, иглы или трубы). В некоторых случаях газообразный водород и/или газообразный кислород могли бы транспортироваться непосредственно от одного электрода к другому, или газообразный водород и/или газообразный кислород могли бы храниться после удаления из реактора вплоть до их добавления обратно в реактор. В некоторых вариантах осуществления газообразный водород и/или газообразный кислород транспортируются непрерывно или периодически. В определенных вариантах осуществления газообразный водород и/или газообразный кислород транспортируются автоматически или вручную.

В некоторых вариантах осуществления газообразный водород, произведенный в результате гидролиза, может быть электрохимически окислен при использовании реакции окисления водорода (РОВ), при которой одна двухатомная молекула водорода вступает в реакцию с образованием двух протонов и двух электронов. В других вариантах осуществления газообразный кислород, произведенный в результате гидролиза, может быть электрохимически восстановлен при использовании реакции восстановления кислорода (РВК), при которой одна двухатомная молекула кислорода вступает в реакцию с двумя молекулами воды и четырьмя электронами с образованием четырех гидроксильных ионов. В некоторых вариантах осуществления реакцию РОВ используют для уменьшения

значения рН или увеличения концентрации протонов в кислотном растворе, произведенном при использовании реактора. В некоторых вариантах осуществления реакцию РВК используют для увеличения значения рН или увеличения концентрации гидроксидов в основном растворе, произведенном при использовании реактора. Реакции РОВ и РВК в соответствии с описанием изобретения в настоящем документе могут быть проведены в некоторых случаях при использовании электродов, отдельных от соответствующих электродов, использованных для реакции электролиза в реакторе. В определенных вариантах осуществления данные электроды могут быть расположены внутри электролизного реактора, например, в качестве электрода сгорания, где реакция сгорания водорода и кислорода производит воду, которая остается внутри реактора. Электроды, использованные для сгорания или для реакций РОВ или РВК, могут в некоторых прецедентах также быть расположены и в отдельных емкостях или реакторе, в которые доставляют каждый из газов, выбираемых из газообразных водорода или кислорода. В некоторых вариантах осуществления водород, произведенный на катоде электролизного реактора, доставляют к электроду реакции РОВ, соединенному с анодной стороной реактора, где проводят реакцию РОВ, и протоны, произведенные тем самым, увеличивают концентрацию кислоты (при уменьшении значения рН) в кислотном растворе, который производят при использовании реактора. В определенных вариантах осуществления кислород, произведенный на аноде электролизного реактора, доставляют к электроду реакции РВК, соединенному с катодной стороной реактора, где проводят реакцию РВК, и гидроксильные ионы, произведенные тем самым, увеличивают концентрацию гидроксидов (при увеличении значения рН) в щелочном растворе, который производят при использовании реактора. В некоторых прецедентах в сопоставлении с реакцией РВК предпочтительно проводят реакцию РОВ для уменьшения выделения водорода во внешнюю окружающую среду по сравнению с менее реакционно-способным кислородом. Электроды, использованные для водородно-кислородного сгорания или реакций РОВ или РВК, могут в некоторых случаях содержать соединения, которые исполняют функцию электрокатализаторов. Катализаторы водородно-кислородного сгорания были описаны, например, в публикации «Catalytic Combustion of Hydrogen - Its Role in Hydrogen Utilization,» by M. Haruta and H. Sano, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 6, No. 6, pp. 601-608, 1981, которая в результате ссылки на нее включается в настоящий документ. Примеры электрокатализаторов для реакций РОВ и РВК включают металлы платиновой группы, такие как Pt, Pd, Ru, Rh, Os и Ir, металлы неплатиновой группы, такие как Mo, Fe, Ti, W, Cr, Co, Cu, Ag, Au и Re, использованные индивидуально или в качестве сплавов или смесей; характеризующиеся большой площадью удельной поверхности сплавы никеля-алюминия, известные под наименованием никеля Ренея, необязательно с нанесением покрытия или легированием при использовании других катализаторов. Примеры электрокатализаторов, селективных для реакции РВК, включают металлическое железо, оксиды железа, сульфид железа и гидроксид железа, сплавы, оксиды и нитрат серебра и различные формы углерода, в том числе углеродную бумагу, углеродный войлок, графит,

технический углерод и наноразмерные разновидности углерода.

В определенных вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, газообразные побочные продукты, произведенные в результате электролиза, (например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и/или  $\text{O}_2$ ) могут иметь ценность и могут быть проданы для использования в других областях применения и технологических процессах, включающих сгорание в топливном элементе или газовой турбине или двигателе внутреннего сгорания, для целей производства энергии и мощности, в том числе электрической мощности. Однако, в некоторых прецедентах могут оказаться желательными уменьшение или исключение производства таких газов. В соответствии с этим, в некоторых вариантах осуществления один или несколько газов, произведенных при использовании реактора, рекомбинируют. В соответствии с использованием в настоящем документе термин «рекомбинация» имеет отношение к химическим или электрохимическим реакциям, которые потребляют один или несколько произведенных газов.

В некоторых вариантах осуществления водород и кислород, произведенные в результате гидролиза, рекомбинируют при использовании водородно-кислородного сгорания с образованием воды. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в некоторых вариантах осуществления газообразный водород 108, произведенный под воздействием первого электрода 104, может быть рекомбинирован с газообразным кислородом 109 с образованием воды, как это продемонстрировано на ФИГУРЕ 6А. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных вариантах осуществления газообразный водород, произведенный под воздействием первого электрода 104, может быть рекомбинирован с газообразным кислородом с образованием воды. В соответствии с определенными вариантами осуществления водородно-кислородная рекомбинация может иметь место внутри или вне реактора и может в некоторых случаях использовать материалы и конструкции электродов и необязательно катализаторы, хорошо известные для специалистов в соответствующей области техники. В определенных вариантах осуществления способ не обеспечивает производства результирующего газообразного водорода (или нетто-количество произведенного газообразного водорода соответствует менее, чем 5% (например, менее, чем 2% или менее, чем 1%) электрического тока, поданного в реактор). Например, в некоторых вариантах осуществления способ не обеспечивает выделения любого количества газообразного водорода (или количество выделенного газообразного водорода соответствует менее, чем 5% (например, менее, чем 2% или менее, чем 1%) электрического тока, поданного в реактор) в атмосферу, поскольку произведенный газообразный водород рекомбинирует с кислородом с образованием воды. Подобным образом, в некоторых случаях способ не обеспечивает производства в конечном итоге газообразного кислорода (или нетто-количество произведенного газообразного кислорода соответствует менее, чем 5% (например, менее, чем 2% или менее, чем 1%) электрического тока, поданного в реактор). Например, в определенных прецедентах способ не обеспечивает выделения любого количества газообразного кислорода (или нетто-количество выделенного газообразного кислорода соответствует менее, чем 5% (например,

менее, чем 2% или менее, чем 1%) электрического тока, поданного в реактор) в атмосферу, поскольку произведенный газообразный кислород рекомбинирует с водородом с образованием воды.

В некоторых вариантах осуществления гидролиз проводят в условиях, которые обеспечивают производство основного значения pH поблизости от первого электрода (например, катода) и кислотного значения pH поблизости от второго электрода (например, анода), соответственно, без высвобождения газообразного водорода или газообразного кислорода (или количество высвобожденных газообразного водорода или газообразного кислорода соответствует менее, чем 5% (например, менее, чем 2% или менее, чем 1%) электрического тока, поданного в реактор). Например, в некоторых вариантах осуществления  $O_2$  мог бы диффундировать (например, через электролит 235 на ФИГУРЕ 2А и/или через воздух над электролитом) от второго электрода (например, анода), где производят кислоту и  $O_2$ , к первому электроду (например, катоду), где производят основание, и где  $O_2$  восстанавливался бы с образованием  $OH^-$  ( $1/2 O_2 + H_2O + 2 e^- \rightarrow 2 OH^-$ ). В определенных вариантах осуществления данная реакция имела бы место при  $pH > 7$  и электродном потенциале, составляющем менее, чем 0,8 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Подобным образом, в некоторых случаях  $H_2$  мог бы диффундировать от первого электрода (например, катода), где производят основание, ко второму электроду (например, аноду), где производят кислоту, и где  $H_2$  окислялся бы с образованием  $H^+$  ( $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$ ). В определенных прецедентах это имело бы место при значении  $pH < 7$  и электродном потенциале, составляющем более, чем - 0,41 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В других электролизерах, таких как щелочной электролизер, прохождению данной реакции создаются препятствия сепаратором, который предотвращает переход газов между двумя электродами. Однако, в некоторых вариантах осуществления, раскрытых в настоящем документе, реактор включает сепаратор, который обеспечивает возможность перехода  $H_2$  и/или  $O_2$  и/или промотирует его таким образом, что они могут потребляться и увеличивать градиент значения pH.

В некоторых вариантах осуществления кислотные растворы (при менее, чем pH 7) образуются из нейтральных по значению pH электролитов при электродных потенциалах, составляющих более, чем 0,8 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Например, в определенных вариантах осуществления для изготовления кислотного раствора при значении pH 0 минимальный электродный потенциал составлял бы 1,23 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В некоторых случаях основные растворы (при более, чем pH 7) образуются из нейтральных по значению pH электролитов при электродных потенциалах, составляющих менее, чем - 0,4 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Например, для изготовления щелочного раствора при значении pH 14 максимальный электродный потенциал составлял бы - 0,83 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода.

Потенциал Нернста на втором электроде (например, потенциал Нернста в текучей среде, наиболее близкой ко второму электроду) может иметь любое из широкого спектра подходящих для использования значений. В некоторых вариантах осуществления потенциал Нернста на втором электроде (например, аноде) составляет более, чем или ровно  $-0,4$  В, более, чем или ровно  $-0,2$  В, более, чем или ровно  $0$  В, более, чем или ровно  $0,5$  В, более, чем или ровно  $0,8$  В, более, чем или ровно  $0,9$  В, более, чем или ровно  $1$  В, более, чем или ровно  $1,1$  В, более, чем или ровно  $1,2$  В, более, чем или ровно  $1,4$  В или более, чем или ровно  $1,6$  В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В определенных вариантах осуществления потенциал Нернста на втором электроде составляет менее, чем или ровно  $2$  В, менее, чем или ровно  $1,7$  В, менее, чем или ровно  $1,5$  В, менее, чем или ровно  $1,4$  В, менее, чем или ровно  $1,3$  В, менее, чем или ровно  $1,2$  В, менее, чем или ровно  $1,1$  В, менее, чем или ровно  $1$  В, менее, чем или ровно  $0,9$  В, менее, чем или ровно  $0,8$  В, менее, чем или ровно  $0,5$  В, менее, чем или ровно  $0$  В или менее, чем или ровно  $-0,2$  В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно  $0,8$  В и менее, чем или ровно  $2$  В, между более, чем или ровно  $1,2$  В и менее, чем или ровно  $2$  В, между более, чем или ровно  $-0,4$  В и менее, чем или ровно  $0,5$  В или между более, чем или ровно  $0$  В и менее, чем или ровно  $0,5$  В).

В определенных вариантах осуществления подходящий для использования потенциал Нернста на втором электроде зависит от типа реакции на электроде. Например, в некоторых случаях потенциал Нернста на втором электроде при окислении газообразного водорода с образованием кислоты составляет более, чем или ровно  $-0,4$  В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между более, чем или ровно  $-0,4$  В и менее, чем или ровно  $0,5$  В или между более, чем или ровно  $0$  В и менее, чем или ровно  $0,5$  В). В рамках еще одного примера, в определенных прецедентах потенциал Нернста на втором электроде при окислении воды с образованием кислоты и газообразного кислорода составляет более, чем или ровно  $0,8$  В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между более, чем или ровно  $0,8$  В и менее, чем или ровно  $2$  В или между более, чем или ровно  $1,2$  В и менее, чем или ровно  $2$  В).

Потенциал Нернста на первом электроде (например, потенциал Нернста в текучей среде, наиболее близкой к первому электроду) может иметь любое из широкого спектра подходящих для использования значений. В определенных вариантах осуществления потенциал Нернста на первом электроде (например, катоде) составляет менее, чем или ровно  $0,8$  В, менее, чем или ровно  $0,6$  В, менее, чем или ровно  $0,4$  В, менее, чем или ровно  $0$  В, менее, чем или ровно  $-0,4$  В, менее, чем или ровно  $-0,5$  В, менее, чем или ровно  $-0,6$  В, менее, чем или ровно  $-0,7$  В, менее, чем или ровно  $-0,8$  В, менее, чем или ровно  $-0,9$  В, менее, чем или ровно  $-1$  В, менее, чем или ровно  $-1,2$  В или менее, чем или ровно  $-1,4$  В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В некоторых вариантах осуществления потенциал Нернста на первом электроде составляет более, чем или ровно  $-2$  В, более, чем или ровно  $-1,7$  В, более, чем или ровно  $-1,5$  В, более, чем или

ровно - 1,2 В, более, чем или ровно - 1 В, более, чем или ровно - 0,9 В, более, чем или ровно - 0,8 В, более, чем или ровно - 0,7 В, более, чем или ровно - 0,6 В, более, чем или ровно - 0,5 В, более, чем или ровно - 0,4 В, более, чем или ровно 0 В, более, чем или ровно 0,4 В или более, чем или ровно 0,6 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно - 1,5 В и менее, чем или ровно - 0,4 В, между более, чем или ровно - 1,5 В и менее, чем или ровно - 0,8 В, между более, чем или ровно - 0,4 В и менее, чем или ровно 0,8 В или между более, чем или ровно - 0,4 В и менее, чем или ровно 0,4 В).

В определенных вариантах осуществления подходящий для использования потенциал Нернста на первом электроде зависит от типа реакции на электроде. Например, в некоторых случаях потенциал Нернста на первом электроде при окислении газообразного кислорода с образованием основания составляет менее, чем или ровно 0,8 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между менее, чем или ровно 0,8 В и более, чем или ровно - 0,4 В или между менее, чем или ровно 0,4 В и более, чем или ровно - 0,4 В). В рамках еще одного примера, в определенных прецедентах потенциал Нернста на первом электроде при восстановлении воды с образованием основания и газообразного водорода составляет менее, чем или ровно - 0,4 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между менее, чем или ровно - 0,4 В и более, чем или ровно - 1,5 В или между менее, чем или ровно - 0,8 В и более, чем или ровно - 1,5 В).

В определенных вариантах осуществления напряжение элемента (например, напряжение, приложенное к элементу, например, во время производства кислоты и/или основания) составляет более, чем или ровно 0 В, более, чем или ровно 0,5 В, более, чем или ровно 1 В, более, чем или ровно 1,23 В, более, чем или ровно 1,5 В, более, чем или ровно 2 В, более, чем или ровно 2,06 В или более, чем или ровно 2,5 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В некоторых вариантах осуществления напряжение элемента составляет менее, чем или ровно 5 В, менее, чем или ровно 4 В, менее, чем или ровно 3 В, менее, чем или ровно 2,5 В, менее, чем или ровно 2,25 В, менее, чем или ровно 2 В, менее, чем или ровно 1,5 В, менее, чем или ровно 1 В или менее, чем или ровно 0,5 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, 0-5 В или 0-2,5 В).

В некоторых вариантах осуществления система включает систему реактора для производства концентрированных кислоты и основания. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система включает первый реактор (например, любой реактор, описанный в настоящем документе). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых вариантах осуществления система 300 включает первый реактор 320. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система включает второй реактор (например, любой реактор, описанный в настоящем документе). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых вариантах осуществления система 300 включает второй реактор 301. В определенных случаях первый реактор и второй реактор соединяются

через текучую среду. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в соответствии с некоторыми вариантами осуществления первый реактор 320 соединяется через текучую среду со вторым реактором 301 при использовании тракта 330. Например, в некоторых случаях текучая среда (например, жидкость или газ), произведенная в первом реакторе, может диффундировать и/или транспортироваться во второй реактор. В рамках одного неограничивающего примера, в определенных вариантах осуществления способ включает диффузирование и/или транспортирование газообразного водорода и/или диалогенида от первого реактора ко второму реактору.

В некоторых вариантах осуществления первый реактор включает электрохимический реактор. В определенных случаях первый реактор включает первый электрод (например, любой первый электрод, описанный в настоящем документе). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3В в некоторых случаях первый реактор 320 включает первый электрод 104. В некоторых прецедентах первый реактор включает второй электрод (например, любой второй электрод, описанный в настоящем документе). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3В в некоторых случаях первый реактор 320 включает второй электрод 105. В некоторых вариантах осуществления второй электрод является электрохимически сопряженным с первым электродом (например, электроды конфигурируют таким образом, чтобы электрический ток мог бы протекать от одного электрода к другому). Говоря другими словами, электроды могут быть сконфигурированы таким образом, что они будут способны принимать участие в электрохимическом технологическом процессе. Достижения электрохимического сопряжения можно добиться, например, в результате оказания воздействия электролитом на первый и второй электроды, что облегчает транспортирование ионов между двумя электродами. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых вариантах осуществления первый электрод 104 является электрохимически сопряженным со вторым электродом 105.

В определенных прецедентах второй реактор включает топливный элемент (например,  $H_2/Cl_2$ -топливный элемент). В некоторых вариантах осуществления способ включает производство кислоты во втором реакторе. Например, в определенных случаях второй реактор 301 на ФИГУРЕ 3А конфигурируют для производства кислоты (например, любой кислоты, описанной в настоящем документе).

В определенных вариантах осуществления способ включает производство основания (например, любого основания, описанного в настоящем документе), диалогенида и/или газообразного водорода в первом реакторе. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых случаях первый реактор 320 конфигурируют для производства основания, диалогенида и/или газообразного водорода. В некоторых прецедентах диалогенид производят поблизости от второго электрода первого реактора (например, диалогенид производят в качестве результата электрохимической реакции во втором электроде первого реактора). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3В в определенных случаях диалогенид производят поблизости от второго электрода 105 первого реактора 320. В некоторых вариантах осуществления основание и/или

газообразный водород производят поблизости от первого электрода (например, основание и/или газообразный водород производят в качестве результата электрохимической реакции в первом электроде). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3В в определенных случаях основание производят поблизости от первого электрода 104.

Потенциал Нернста на втором электроде первого электрода (например, потенциал Нернста в текучей среде, наиболее близкой ко второму электроду) может иметь любое из широкого спектра подходящих для использования значений. В некоторых вариантах осуществления потенциал Нернста на втором электроде (например, аноде) первого реактора составляет более, чем или ровно 1,3 В, более, чем или ровно 1,5 В, более, чем или ровно 1,7 В, более, чем или ровно 1,9 В, более, чем или ровно 2,1 В или более, чем или ровно 2,3 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В определенных вариантах осуществления потенциал Нернста на втором электроде первого реактора составляет менее, чем или ровно 2,5 В, менее, чем или ровно 2,3 В, менее, чем или ровно 2,1 В, менее, чем или ровно 1,9 В, менее, чем или ровно 1,7 В или менее, чем или ровно 1,5 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 1,3 В и менее, чем или ровно 2,5 В).

В определенных вариантах осуществления подходящий для использования потенциал Нернста на втором электроде первого реактора зависит от типа реакции на электроде. Например, в некоторых случаях потенциал Нернста на втором электроде при производстве дигалогенида (например, хлорид-ионы окисляются с образованием  $Cl_2$ ) составляет более, чем или ровно 1,3 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между более, чем или ровно 1,3 В и менее, чем или ровно 2,5 В).

В некоторых вариантах осуществления  $Cl_2$  образуется из  $Cl^-$  при потенциалах Нернста, составляющих более, чем 1,36 В, в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, составляющих более, чем или ровно 1,4 В, более, чем или ровно 1,5 В, более, чем или ровно 1,7 В или более, чем или ровно 2 В; менее, чем или ровно 5 В, менее, чем или ровно 3 В, менее, чем или ровно 2 В или менее, чем или ровно 1,5 В; также возможными являются и комбинации) в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода.

В определенных вариантах осуществления  $Br_2$  образуется из  $Br^-$  при потенциалах Нернста, составляющих более, чем 1,06 В, в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, составляющих более, чем или ровно 1,1 В, более, чем или ровно 1,2 В, более, чем или ровно 1,3 В, более, чем или ровно 1,5 В или более, чем или ровно 1,8 В; менее, чем или ровно 4 В, менее, чем или ровно 3 В, менее, чем или ровно 2 В или менее, чем или ровно 1,5 В; также возможными являются и комбинации).

В некоторых случаях  $I_2$  образуется из  $I^-$  при потенциалах Нернста, составляющих более, чем 0,54 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, более, чем или ровно 0,6 В, более, чем или ровно 0,7 В, более, чем или ровно 0,8

В, более, чем или ровно 0,9 В, более, чем или ровно 1 В или более, чем или ровно 1,2 В; менее, чем или ровно 3 В, менее, чем или ровно 2 В, менее, чем или ровно 1,5 В, менее, чем или ровно 1,3 В или менее, чем или ровно 1 В; также возможными являются и комбинации).

Потенциал Нернста на первом электроде первого реактора (например, потенциал Нернста в текучей среде, наиболее близкой к первому электроду) может иметь любое из широкого спектра подходящих для использования значений. В определенных вариантах осуществления потенциал Нернста на первом электроде (например, катоде) первого реактора составляет более, чем или ровно - 2 В, более, чем или ровно - 1,8 В, более, чем или ровно - 1,6 В, более, чем или ровно - 1,4 В, более, чем или ровно - 1,2 В, более, чем или ровно - 1,0 В, более, чем или ровно - 0,8 В, более, чем или ровно - 0,6 В, более, чем или ровно - 0,4 В, более, чем или ровно - 0,2 В, более, чем или ровно 0 В, более, чем или ровно 0,2 В, более, чем или ровно 0,4 В или более, чем или ровно 0,6 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. В определенных вариантах осуществления потенциал Нернста на первом электроде первого реактора составляет менее, чем или ровно 0,8 В, менее, чем или ровно 0,6 В, менее, чем или ровно 0,4 В, менее, чем или ровно 0,2 В, менее, чем или ровно 0 В, менее, чем или ровно - 0,2 В, менее, чем или ровно - 0,4 В, менее, чем или ровно - 0,6 В, менее, чем или ровно - 0,8 В, менее, чем или ровно - 1,0 В, менее, чем или ровно - 1,2 В, менее, чем или ровно - 1,4 В или менее, чем или ровно - 1,6 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно 0,8 В, между более, чем или ровно - 1,4 В и менее, чем или ровно 0,4 В, между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно - 0,4 В или между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно - 0,8 В).

В определенных вариантах осуществления подходящий для использования потенциал Нернста на первом электроде первого реактора зависит от типа реакции на электроде. Например, в некоторых случаях потенциал Нернста на первом электроде при восстановлении кислорода с образованием основания составляет менее, чем или ровно 0,8 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно 0,8 В или между более, чем или ровно - 1,4 В и менее, чем или ровно 0,4 В). В рамках еще одного примера, в определенных прецедентах потенциал Нернста на первом электроде при восстановлении воды с образованием газообразного водорода и основания составляет менее, чем или ровно - 0,4 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода (например, между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно - 0,4 В или между более, чем или ровно - 2 В и менее, чем или ровно - 0,8 В).

В определенных вариантах осуществления первый реактор производит основной/щелочной раствор, дигалогенид и газообразный водород из электролита, содержащего соль галогенисто-водородной кислоты. На ФИГУРЕ 11 демонстрируется в соответствии с определенными вариантами осуществления реактор на основе электролизера для разложения нейтральной воды в соответствии с раскрытием изобретения

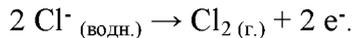
в настоящем документе, в результате чего электролиз или гидролиз обеспечивают производство кислотного раствора и щелочного раствора, при этом после этого кислотный раствор используют для декарбонизации исходного карбоната металла, и причем вслед за этим щелочной раствор используют для осаждения гидроксида металла из растворенных ионов металла исходного карбоната металла. В некоторых вариантах осуществления объемные концентрации реагентов, на основе которых функционирует такой реактор, определяют при использовании значений рН, произведенных электролизером.

В соответствии с определенными вариантами осуществления на ФИГУРЕ 12 демонстрируется одна альтернативная концепция реактора. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления данный реактор способен производить более значительные концентрации кислоты и основания, чем реактор на ФИГУРЕ 11. В некоторых вариантах осуществления система включает первый реактор, который электролитически окисляет близкий к нейтральному раствор растворенной металлической соли для производства щелочного раствора, водорода и соединения, обогащенного по аниону металлической соли. В некоторых вариантах осуществления металлическая соль является солью в виде галогенида щелочного элемента или солью в виде галогенида щелочноземельного элемента, и упомянутое произведенное соединение представляет собой дигалогенид. Второй реактор производит в соответствии с определенными вариантами осуществления кислотный раствор в результате проведения реакции между упомянутым соединением и водородом и водой. Упомянутый кислотный раствор, произведенный вторым реактором, и упомянутый щелочной раствор, произведенный первым реактором, после этого используют в некоторых вариантах осуществления, соответственно, для растворения упомянутого карбоната металла, выделяющего  $\text{CO}_2$ , и осаждения упомянутого гидроксида металла. В отличие от реактора на ФИГУРЕ 11, где может оказаться затруднительным достижение абсолютных концентраций  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , составляющих более, чем приблизительно 1 моль/л, реактор на ФИГУРЕ 12 может достигать концентрации 3 моль/л, 5 моль/л и еще более того в определенных вариантах осуществления.

В определенных вариантах осуществления первый реактор включает второй электрод (например, анод), первый электрод (например, катод), полупроницаемую мембрану между двумя электродами, впускные отверстия для электролита и выпускные отверстия для продуктов электролиза ( $\text{H}_2$ , дигалогенида и щелочного раствора). В некоторых вариантах осуществления дополнительное впускное отверстие в окрестности первого электрода обеспечивает введение  $\text{O}_2$ . В некоторых случаях электролит представляет собой близкий к нейтральному водный раствор, в котором растворена металлическая соль. В определенных случаях водный раствор содержит галогенид-анионы (например,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) и соответствующие катионы (например,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ). В определенных вариантах осуществления концентрация соли галогенисто-водородной кислоты в электролите может иметь любое значение в диапазоне 0,01-50% (масс.). В некоторых вариантах осуществления электролит вводят ко второму электроду (например, аноду) при использовании впускного отверстия. В определенных случаях

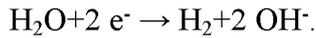
активный материал на поверхности второго электрода может содержать платину, графит, платинированный титан, смешанные оксиды металлов, титан, плакированный смешанным оксидом металлов, платинированные оксиды металлов (например, платинированный оксид свинца, диоксид марганца), платинированный ферросилиций, сплавы платины-иридия, оксиды рутения, оксиды титана, рутениевые и/или титановые смешанные оксиды металлов.

В некоторых случаях на втором электроде в реакторе 1 галогенид-анионы окисляют для производства дигалогенидов (например,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ ). Например, в определенных прецедентах окисление растворенного аниона  $\text{Cl}^-$  приводит к получению  $\text{Cl}_2$  в газообразном состоянии.

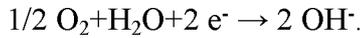


В определенных вариантах осуществления при комнатной температуре окисление  $\text{Br}^-$  приводит к получению  $\text{Br}_2$ , что представляет собой дымящую жидкость, а окисление  $\text{I}^-$  приводит к получению  $\text{I}_2$ , что представляет собой твердое вещество. Дигалогенид собирают из электролизера в некоторых случаях через выпускное отверстие и используют для изготовления кислоты на последующей стадии, описанной ниже. В определенных прецедентах электролит, содержащий катион (например,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), перемещается через полупроницаемую мембрану (диафрагму или ионообменную мембрану) в направлении к первому электроду (например, катоду). В некоторых случаях диафрагма или мембрана предотвращают увеличение значения pH для щелочного раствора, выработанного на первом электроде, на втором электроде. В определенных вариантах осуществления поверхность первого электрода может содержать электрокаталитические соединения. Примеры электрокаталитических соединений включают платину, платинированный титан, титан, плакированный смешанным оксидом металлов, платинированные оксиды металлов (например, платинированные оксид свинца, диоксид марганца), платинированный ферросилиций, сплавы платины-иридия, нержавеющую сталь, графит, нелегированный титан, нержавеющую сталь, никель, оксиды никеля. В определенных вариантах осуществления второй электрод включает металлический электрод, такой как в случае платины, золота, никеля, иридия, меди, железа, стали, нержавеющей стали, марганца и цинка, или углерод, такой как в случае графита или неупорядоченных разновидностей углерода, или карбид металла, такой как в случае карбида кремния, карбида титана и/или карбида вольфрама. В определенных вариантах осуществления второй 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 материал электрокатализатора или электрода диспергируют на проводящем носителе или наносят на него в виде покрытия. В некоторых вариантах осуществления, как это продемонстрировано на ФИГУРЕ 13А, на первом электроде (например, катоде) реактора 1

воду восстанавливают для получения  $\text{OH}^-$  (щелочного раствора) и  $\text{H}_2$  (г.):

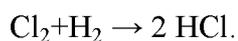


В еще одном варианте осуществления на первом электроде (например, катоде) реактора 1  $\text{O}_2$  восстанавливают для получения  $\text{OH}^-$  (щелочного раствора); смотрите ФИГУРУ 13А:



В некоторых вариантах осуществления заряд  $\text{OH}^-$  компенсируется катионом в электролите, который проходит через диафрагму или мембрану, как это продемонстрировано, например, на ФИГУРЕ 13. В определенных случаях раствор гидроксида щелочного металла (например,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ), характеризующийся значением рН, составляющим более, чем 7, и концентрацией щелочи, составляющей 0,01 моль/л и более, собирают из реактора из одного выпускного отверстия. В определенных прецедентах  $\text{H}_2$  собирают из реактора из другого выпускного отверстия. В некоторых случаях реактор 1 производит щелочной раствор на одном электроде и водород и дигалогенид (в прецеденте, в котором металлическая соль представляет собой галогенид металла) на другом электроде.

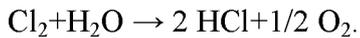
В соответствии с некоторыми вариантами осуществления на ФИГУРЕ 12 реактор 2 является реактором, который производит кислоту в результате проведения реакции между газообразным водородом и дигалогенидом, произведенным на аноде реактора 1, или в результате проведения реакции между дигалогенидом и водой. Как это можно сказать без наложения ограничений следующими далее примерами, на ФИГУРАХ 14А - 14В демонстрируются два варианта осуществления данного реактора. В соответствии с определенными вариантами осуществления на ФИГУРЕ 14А реактор включает первую камеру, впускное отверстие, через которое в первую камеру вводят  $\text{H}_2$ , второе впускное отверстие, через которое в первую камеру вводят дигалогенид, и выпускное отверстие, через которое из первой камеры удаляют галогенистый водород (например,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ), впускное отверстие, через которое во вторую камеру вводят галогенистый водород, впускное отверстие, через которое во вторую камеру вводят воду, и выпускное отверстие, через которое из второй камеры удаляют водный кислотный раствор галогенистого водорода. В некоторых вариантах осуществления в первой камере дигалогенид вступает в реакцию с  $\text{H}_2$  с образованием галогенистого водорода. В определенных вариантах осуществления реакции между  $\text{H}_2$  и дигалогенидом могут поспособствовать нагревание или облучение при использовании электромагнитных волн. Например, в некоторых вариантах осуществления для случая дигалогенида в виде  $\text{Cl}_2$  в реакторе 2 имеет место следующая далее реакция:



В некоторых случаях во второй камере галогенистый водород растворяют в воде для получения кислотного раствора. Например,  $\text{HCl}$  мог бы быть растворен в воде для получения протонов.

В соответствии с определенными вариантами осуществления на ФИГУРЕ 14В дигалогенид вводят в реакцию с водой для производства желательной кислоты и кислорода

в качестве побочного продукта. В некоторых случаях типовой реактор включает первую камеру, впускное отверстие, через которое в первую камеру вводят  $\text{H}_2\text{O}$ , и второе впускное отверстие, через которое в первую камеру вводят дигалогенид. В определенных прецедентах реактор также включает выпускное отверстие, через которое из первой камеры удаляют галогенистый водород (например,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ), и выпускное отверстие, через которое из первой камеры удаляют  $\text{O}_2$ . В некоторых случаях реакция между хлором в качестве типового дигалогенида и водой представляет собой:



В некоторых вариантах осуществления относительные количества дигалогенида и воды будут определять то, будут ли произведены либо чистый галогенистый водород, либо смесь из галогенистого водорода и воды, включающая, например, раствор галогенистого водорода в воде. Необязательно в определенных вариантах осуществления реактор может включать вторую камеру, где галогенистый водород растворяют в воде для изготовления кислотного раствора, с впускным отверстием, через которое вводят галогенистый водород, впускным отверстием, через которое во вторую камеру вводят воду, и выпускным отверстием, через которое из реактора удаляют водный раствор галогенистого водорода, как это продемонстрировано на ФИГУРЕ 14В.

В некоторых вариантах осуществления система включает аппарат. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных случаях система включает первый аппарат 118. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых прецедентах система включает первый аппарат 118. В определенных прецедентах аппарат представляет собой контейнер (например, контейнер, который не открыт на атмосферу). В соответствии с определенными вариантами осуществления аппарат конфигурируют для сбора одного или нескольких продуктов или побочных продуктов из реактора (например, кислоты, основания, газообразного водорода, газообразного кислорода и/или газообразного диоксида углерода и тому подобного), хранения одного или нескольких из одного или нескольких продуктов или побочных продуктов и/или проведения реакции в отношении одного или нескольких из одного или нескольких продуктов или побочных продуктов (например, при химическом растворении и/или реакции осаждения).

В определенных вариантах осуществления система включает множество аппаратов. В некоторых вариантах осуществления система включает более, чем или ровно 1, более, чем или ровно 2, более, чем или ровно 3, более, чем или ровно 4 или более, чем или ровно 5, аппаратов. В некоторых случаях система включает менее, чем или ровно 6, менее, чем или ровно 5, менее, чем или ровно 4, менее, чем или ровно 3 или менее, чем или ровно 2, аппарата. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, 1-6 аппаратов). В некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат и второй аппарат. Например, на ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119. Подобным образом, исходя из

обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых случаях система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119. Каждый аппарат может независимо исполнять одну или несколько функций. Любые аппарат или конфигурация аппаратов, раскрытые в настоящем документе, могут быть использованы в отношении любой системы, раскрытой в настоящем документе.

В определенных вариантах осуществления аппарат через текучую среду соединяется с реактором. Например, в некоторых прецедентах аппарат соединяется с реактором при использовании тракта (например, трубки, канала, иглы или трубы), через который может протекать текучая среда. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления аппарат 118 через текучую среду соединяется с реактором при использовании тракта. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления аппарат 118 через текучую среду соединяется с реактором при использовании тракта. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых прецедентах аппарат 118 через текучую среду соединяется с реактором при использовании тракта.

В определенных случаях аппарат через текучую среду соединяется с одним или несколькими другими аппаратами (например, при использовании тракта, такого как трубка, канал, игла или труба). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1D первый аппарат 118 через текучую среду соединяется с третьим аппаратом 120 при использовании тракта. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 через текучую среду мог бы быть соединен с третьим аппаратом (например, при использовании тракта). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых случаях первый аппарат 118 через текучую среду мог бы быть соединен с третьим аппаратом (например, при использовании тракта). В рамках еще одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1Е в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 через текучую среду соединяется с третьим аппаратом 120 (например, при использовании тракта), который через текучую среду соединяется с пятым аппаратом 122 (например, при использовании тракта), в то время как второй аппарат 119 через текучую среду соединяется с четвертым аппаратом 121 (например, при использовании тракта), который через текучую среду соединяется с шестым аппаратом 123 (например, при использовании тракта).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает сбор кислоты и/или основания. Например, в некоторых вариантах осуществления способ включает удаление кислоты и/или основания из емкости, в которой это производили, (например, реактора). Один неограничивающий пример подходящего для использования способа сбора кислоты и/или основания включает перемещение кислоты и/или основания при использовании тракта (например, трубки, канала, иглы или трубы) в отдельный контейнер. Другие подходящие для использования примеры сбора кислоты и/или основания включают перемещение кислоты и/или основания непосредственно в отдельный

контейнер (например, контейнер, соединенный с реактором при использовании панели, которая может перемещаться для блокирования или обеспечения возможности диффундирования текучих сред). В некоторых вариантах осуществления кислоту и/или основание собирают непрерывно или периодически. В определенных вариантах осуществления кислоту и/или основание собирают автоматически или вручную.

В некоторых вариантах осуществления аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода (и/или второго реактора) и/или основания поблизости от первого электрода (и/или первого реактора) (например, сбора кислоты из кислотной области и/или сбора основания из щелочной области). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118, который конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления система включает первый аппарат 118, который конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А система 300 включает первый аппарат 118, который конфигурируют для сбора основания поблизости от первого реактора 320 (например, поблизости от первого электрода 104 первого реактора 320). В некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 мог бы быть сконфигурирован для сбора кислоты поблизости от второго электрода (и/или второго реактора) в дополнение к сбору основания поблизости от первого электрода (и/или первого реактора) или вместо данного сбора.

В определенных вариантах осуществления второй аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода (и/или второго реактора) и/или основания поблизости от первого электрода (и/или первого реактора). В некоторых вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода, второй аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104, а второй аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода 105. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104, а второй аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода 105. Подобным образом, на ФИГУРЕ 3А в некоторых прецедентах система 300 включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого реактора 320 (например, первого электрода 104), а аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго реактора 301. Альтернативным образом, в вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода (и/или второго реактора), второй

аппарат может быть сконфигурирован для сбора основания поблизости от первого электрода (и/или первого реактора).

В определенных вариантах осуществления сбор кислоты включает сбор кислоты, произведенной под воздействием электрода, из окрестности, достаточно близкой к электроду, когда кислота не была значительно разбавленной и/или прореагировавшей (например, значение рН собранной кислоты находится в пределах 1 единицы измерения значения рН кислоты по отношению к наименьшему значению рН в реакторе). Подобным образом, в некоторых вариантах осуществления сбор кислоты включает сбор основания, произведенного под воздействием электрода, из окрестности, достаточно близкой к электроду, когда основание не было значительно разбавленным и/или прореагировавшим (например, значение рН собранного основания находится в пределах 1 единицы измерения значения рН основания по отношению к наибольшему значению рН в реакторе).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает хранение кислоты и/или основания. Например, в определенных вариантах осуществления сразу после сбора кислоты и/или основания в отдельном контейнере способ включает удерживание кислоты и/или основания в отдельном контейнере на протяжении, по меньшей мере, некоторого периода времени. В некоторых вариантах осуществления способ включает хранение кислоты и/или основания на протяжении более, чем или ровно 5 минут, более, чем или ровно 15 минут, более, чем или ровно 30 минут, более, чем или ровно 1 часа, более, чем или ровно 5 часов, более, чем или ровно 12 часов, более, чем или ровно 1 дня, более, чем или ровно 2 дней, более, чем или ровно 3 дней, более, чем или ровно 1 недели, более, чем или ровно 2 недель или более, чем или ровно 1 месяца. В определенных вариантах осуществления способ включает хранение кислоты и/или основания на протяжении менее, чем или ровно 1 года, менее, чем или ровно 6 месяцев, менее, чем или ровно 3 месяцев, менее, чем или ровно 2 месяцев, менее, чем или ровно 1 месяца, менее, чем или ровно 2 недель, менее, чем или ровно 1 недели, менее, чем или ровно 3 дней, менее, чем или ровно 2 дней, менее, чем или ровно 1 дня или менее, чем или ровно 12 часов. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем или ровно 5 минутами и менее, чем или ровно 1 годом, между более, чем или ровно 5 часами и менее, чем или ровно 1 днем или между более, чем или ровно 1 неделей и менее, чем или ровно 1 годом).

В определенных вариантах осуществления аппарат (например, первый аппарат и/или второй аппарат) конфигурируют для хранения кислоты и/или основания. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых случаях первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания.

В рамках еще одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых

вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых прецедентах второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты.

В некоторых вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для хранения основания, второй аппарат конфигурируют для хранения кислоты. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания, а второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в некоторых прецедентах система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания, а второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты. Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в соответствии с определенными вариантами осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для хранения основания, а второй аппарат 119 конфигурируют для хранения кислоты. Альтернативным образом, в вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для хранения кислоты, второй аппарат может быть сконфигурирован для хранения основания.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления способ включает проведение реакции в отношении кислоты и/или основания при химическом растворении и/или при реакции осаждения. В определенных вариантах осуществления химическое растворение происходит до реакции осаждения (например, продукт химического растворения используют при реакции осаждения). В некоторых случаях реакция осаждения происходит до химического растворения (например, продукт реакции осаждения используют при химическом растворении). В определенных прецедентах химическое растворение и реакция осаждения являются одновременными и/или несвязанными друг с другом (например, продукт одного представителя из них не используется в другом, и наоборот).

В некоторых вариантах осуществления аппарат (например, первый аппарат и/или второй аппарат) конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты при химическом растворении и/или при реакции осаждения. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в соответствии с определенными вариантами осуществления второй аппарат 119

конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В определенных вариантах осуществления аппарат (например, первый аппарат и/или второй аппарат) конфигурируют для проведения реакции в отношении основания при химическом растворении и/или при реакции осаждения. В рамках еще одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в определенных вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в соответствии с некоторыми вариантами осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В некоторых вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), второй аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), а второй аппарат 119 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), а второй аппарат 119 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в соответствии с определенными вариантами осуществления система включает первый аппарат 118 и второй аппарат 119, и в определенных случаях первый аппарат 118 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), а второй аппарат 119 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Альтернативным образом, в вариантах осуществления, где первый аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты, второй аппарат может быть сконфигурирован для проведения реакции в отношении основания.

В соответствии с определенными вариантами осуществления аппарат (например,

первый аппарат и/или второй аппарат) могут быть сконфигурированы для (i) сбора кислоты поблизости от второго электрода и/или основания поблизости от первого электрода; (ii) хранения кислоты и/или основания; и/или (iii) проведения реакции в отношении кислоты и/или основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для (i) сбора основания поблизости от первого электрода; (ii) хранения основания; и (iii) проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для (i) сбора основания поблизости от первого электрода; (ii) хранения основания; и (iii) проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А в некоторых случаях первый аппарат 118 конфигурируют для (i) сбора основания поблизости от первого электрода; (ii) хранения основания; и (iii) проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В рамках еще одного примера, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1В в некоторых вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для (i) сбора кислоты поблизости от второго электрода; (ii) хранения кислоты; и (iii) проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2С в определенных вариантах осуществления второй аппарат 119 конфигурируют для (i) сбора кислоты поблизости от второго электрода; (ii) хранения кислоты; и (iii) проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Аналогичным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 3А второй аппарат 119 конфигурируют для (i) сбора кислоты поблизости от второго электрода; (ii) хранения кислоты; и (iii) проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления каждый аппарат может исполнять только одну функцию. Например, в определенных вариантах осуществления первый аппарат конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода, второй аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода, а третий аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении основания и/или кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Например, на ФИГУРЕ 1D в определенных вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104, второй аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода 105, а третий аппарат 120 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). В рамках еще одного неограничивающего примера, в некоторых вариантах осуществления первый аппарат

конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода и хранения основания; второй аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода, хранения кислоты и проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения); а третий аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Например, на ФИГУРЕ 1D в некоторых вариантах осуществления первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104 и хранения основания; второй аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода 105, хранения кислоты и проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения); а третий аппарат 120 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В рамках еще одного дополнительного примера, в некоторых вариантах осуществления первый аппарат конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода, второй аппарат конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода, третий аппарат конфигурируют для хранения основания, четвертый аппарат конфигурируют для хранения кислоты, пятый аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), а шестой аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения). Например, на ФИГУРЕ 1E в некоторых прецедентах первый аппарат 118 конфигурируют для сбора основания поблизости от первого электрода 104, второй аппарат 119 конфигурируют для сбора кислоты поблизости от второго электрода 105, третий аппарат 120 конфигурируют для хранения основания, четвертый аппарат 121 конфигурируют для хранения кислоты, пятый аппарат 122 конфигурируют для проведения реакции в отношении основания (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения), а шестой аппарат 123 конфигурируют для проведения реакции в отношении кислоты (например, при химическом растворении и/или при реакции осаждения).

В некоторых вариантах осуществления для кислоты и/или основания, описанных в настоящем документе, проходит реакция при химическом растворении и/или реакции осаждения. В определенных случаях для кислоты и/или основания проходит реакция при химическом растворении. В некоторых вариантах осуществления химическое растворение включает растворение твердого вещества для формирования двух солубилизованных ионов. В некоторых вариантах осуществления твердое вещество содержит металл, металлический сплав, металлоид, металлическую соль, оксид металла, гидроксид металла и/или силикат. В определенных вариантах осуществления твердое вещество является кристаллическим, аморфным, нанокристаллическим и/или представляет собой смесь из данных состояний. В некоторых вариантах осуществления твердое вещество содержит Ag, Al, As, Au, Ba, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn,

Ti, Tl, V, W и/или Zn (например, в элементной форме или в виде соли).

В некоторых вариантах осуществления металл и/или металлический сплав содержат железо, сплав на основе железа, нержавеющей сталь, цветной металл, сплав на основе цветного металла, алюминий, латунь, бронзу, медь, цинк, олово и/или монетный сплав.

Примеры металлических солей, оксидов металлов и гидроксидов металлов включают соли, оксиды и гидроксиды кальция, магния, бария, стронция, марганца, железа, кобальта, цинка, кадмия, свинца и/или никеля. Например, в некоторых вариантах осуществления металлическая соль включает карбонат металла. Примеры подходящих для использования карбонатов металлов включают карбонат кальция, карбонат магния, карбонат бария, карбонат стронция, карбонат марганца, карбонат железа, карбонат кобальта, карбонат цинка, карбонат кадмия, карбонат свинца и/или карбонат никеля.

Примеры подходящих для использования оксидов металлов включают оксид кальция, оксид магния, оксид стронция, оксид марганца, оксид железа, оксид кобальта, оксид никеля, оксид цинка, оксид кадмия, оксид свинца, оксид кремния и/или оксид алюминия.

Примеры подходящих для использования гидроксидов металлов включают гидроксид кальция, гидроксид магния, гидроксид стронция, гидроксид марганца, гидроксид железа, гидроксид кобальта, гидроксид никеля, гидроксид цинка, гидроксид кадмия, гидроксид свинца, гидроксид кремния и/или гидроксид алюминия.

В некоторых вариантах осуществления для кислоты проходит реакция при химическом растворении металла, металлического сплава, металлоида, металлической соли, оксида металла и/или гидроксида металла. В определенных вариантах осуществления для основания проходит реакция при химическом растворении оксида металла (например, диоксида кремния и/или оксида алюминия) и/или гидроксида металла (например, гидроксида кремния и/или гидроксида алюминия).

В некоторых прецедентах для кислоты и/или основания проходит реакция при реакции осаждения. В определенных вариантах осуществления реакция осаждения включает объединение двух солюбилизированных ионов для формирования твердого осадка. В некоторых вариантах осуществления твердый осадок содержит гидроксид металла. Примеры подходящих для использования гидроксидов металлов включают гидроксид кальция, гидроксид магния, гидроксид бария, гидроксид стронция, гидроксид марганца, гидроксид железа, гидроксид кобальта, гидроксид цинка, гидроксид кадмия, гидроксид свинца и/или гидроксид никеля.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для основания проходит реакция при реакции осаждения для формирования гидроксида металла. В определенных вариантах осуществления для кислоты проходит реакция при реакции осаждения для формирования гидроксида металла.

В определенных вариантах осуществления реактор прерывисто эксплуатируют в первом режиме (например, в соответствии с представленным выше описанием изобретения). В некоторых случаях реактор непрерывно эксплуатируют в первом режиме.

В определенных прецедентах реактор прерывисто эксплуатируют в первом режиме, в то время как реакции с собранными кислотой и/или основанием (например, химическое растворение и/или реакция осаждения) проходят непрерывно. Например, в некоторых вариантах осуществления реактор производит достаточное количество кислоты и/или основания при эксплуатации в первом режиме, при котором требуется только прерывистая эксплуатация для производства достаточного количества кислоты и/или основания в целях непрерывного проведения реакций (например, химического растворения и/или реакции осаждения).

В некоторых вариантах осуществления желательную химическую реакцию проводят в результате сбора растворов или суспензий различающихся составов, произведенных электролитически, и использования упомянутых раствора или растворов для производства продукта из упомянутого реагента в части реактора или в отдельном аппарате. Например, на ФИГУРАХ 4А - 4В демонстрируется в соответствии с определенными вариантами осуществления реактор, в котором электролизер производит растворы, характеризующиеся низким и высоким значениями рН, которые направляют в отдельную зону реактора или в отдельный реактор. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления кислотный раствор используют для растворения  $\text{CaCO}_3$  в первой камере при высвобождении  $\text{CO}_2$  в газообразном состоянии в технологическом процессе (смотрите ФИГУРУ 4В). Во второй камере в некоторых вариантах осуществления раствор после растворения вступает в реакцию с щелочным раствором, произведенным при использовании электролизера, при производстве  $\text{Ca(OH)}_2$  (смотрите ФИГУРУ 4В). В некоторых вариантах осуществления две камеры представляют собой резервуары для хранения кислотных и щелочных растворов. В определенных вариантах осуществления резервуар для хранения кислоты содержит полимерный материал или стеклянную футеровку. В некоторых вариантах осуществления резервуар для хранения щелочи содержит полимерный материал или металл. В некоторых вариантах осуществления металлический резервуар содержит железо или сталь.

В определенных случаях побочный продукт реакции осаждения подают обратно в систему (например, первый реактор). В некоторых прецедентах систему конфигурируют для подачи побочного продукта от реакции осаждения в систему (например, первый реактор). В некоторых вариантах осуществления побочный продукт характеризуется нейтральным значением рН. Например, в определенных случаях побочный продукт характеризуется значением рН, составляющим более, чем 6, более, чем или ровно 6,25, более, чем или ровно 6,5, более, чем или ровно 6,75 или более, чем или ровно 6,9. В некоторых прецедентах побочный продукт характеризуется значением рН, составляющим менее, чем 8, менее, чем или ровно 7,75, менее, чем или ровно 7,5, менее, чем или ровно 7,25 или менее, чем или ровно 7,1. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем 6 и менее, чем 8 или между более, чем или ровно 6,9 и менее, чем или ровно 7,1). В некоторых вариантах осуществления побочный продукт характеризуется значением рН 7.

В некоторых прецедентах побочный продукт содержит галогенид щелочного

металла (например, побочный продукт при осаждении гидроксида щелочного металла) (например, NaCl). В определенных случаях побочный продукт содержит соль щелочного металла (например, NaClO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, трифторметансульфонат натрия и/или ацетат натрия).

В некоторых вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора во втором режиме. В определенных случаях полярность реактора во втором режиме обращена в сопоставлении с полярностью реактора в первом режиме. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления эксплуатация реактора в первом режиме использует больше электрической энергии, чем эксплуатация реактора во втором режиме. Например, в определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора в первом режиме использует на, по меньшей мере, 10%, по меньшей мере, 20%, по меньшей мере, 30% или, по меньшей мере, 40% больше электрической энергии, чем эксплуатация реактора во втором режиме. В некоторых случаях эксплуатация реактора в первом режиме использует на менее, чем или ровно 50%, менее, чем или ровно 40%, менее, чем или ровно 30% или менее, чем или ровно 20% больше электрической энергии, чем эксплуатация реактора во втором режиме. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между, по меньшей мере, 10% и менее, чем или ровно 50%). Любой вариант осуществления, относящийся ко второму режиму, может быть применен к любой из систем, описанных в настоящем документе.

В некоторых вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление основания в реактор поблизости от второго электрода. Например, в определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление основания в реактор таким образом, чтобы основание могло бы быть использовано в электрохимической реакции во втором электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление основания поблизости от второго электрода 105. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление основания поблизости от второго электрода 105. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления основание, добавленное в реактор, собирали из области поблизости от первого электрода при эксплуатации реактора в первом режиме и хранили вплоть до эксплуатации реактора во втором режиме. В определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает окисление добавленного основания (например, основания, которое сохранили) поблизости от второго электрода для производства газообразного кислорода. Например, в некоторых случаях эксплуатация реактора во втором режиме включает окисление добавленного основания с образованием газообразного кислорода под воздействием второго электрода.

В определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление кислоты в реактор поблизости от первого электрода. Например, в определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление кислоты в реактор таким образом, чтобы кислота могла бы быть

использована в электрохимической реакции в первом электроде. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1А в некоторых вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление кислоты поблизости от первого электрода 104. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2А в определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает добавление кислоты поблизости от первого электрода 104. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления кислоту, добавленную в реактор, собирали из области поблизости от второго электрода при эксплуатации реактора в первом режиме и хранили вплоть до эксплуатации реактора во втором режиме. В определенных вариантах осуществления эксплуатация реактора во втором режиме включает восстановление добавленной кислоты (например, кислоты, которую сохранили) поблизости от первого электрода для производства газообразного водорода. Например, в некоторых случаях эксплуатация реактора во втором режиме включает восстановление добавленной кислоты с образованием газообразного водорода под воздействием первого электрода.

В противоположность этому, в некоторых вариантах осуществления эксплуатация реактора в первом режиме включает добавление близкого к нейтральному впускаемого раствора в реактор. В определенных случаях близкий к нейтральному впускаемый раствор характеризуется значением рН, составляющим более, чем 6, более, чем или ровно 6,25, более, чем или ровно 6,5, более, чем или ровно 6,75 или более, чем или ровно 6,9. В некоторых прецедентах близкий к нейтральному впускаемый раствор характеризуется значением рН, составляющим менее, чем 8, менее, чем или ровно 7,75, менее, чем или ровно 7,5, менее, чем или ровно 7,25 или менее, чем или ровно 7,1. Также возможными являются и комбинации из данных диапазонов (например, между более, чем 6 и менее, чем 8 или между более, чем или ровно 6,9 и менее, чем или ровно 7,1). В некоторых вариантах осуществления близкий к нейтральному впускаемый раствор характеризуется значением рН 7. В определенных вариантах осуществления близкий к нейтральному впускаемый раствор содержит соль. Примеры подходящих для использования солей включают сульфат щелочного металла, хлорат щелочного металла, галогенид щелочного металла, нитрат щелочного металла, перхлорат щелочного металла, ацетат щелочного металла, нитрит щелочного металла и/или трифторметансульфонат щелочного металла.

В некоторых вариантах осуществления может оказаться выгодной эксплуатация реактора во втором режиме, а не в первом режиме при высоком уровне расходов на оплату электрической энергии и/или недостаточности обеспечения электрической энергией. Например, в определенных вариантах осуществления в случае приобретения электрической энергии у поставщика электрической энергии расходы на оплату электрической энергии и/или доступность электрической энергии у поставщика электрической энергии могут флуктуировать, и выгодными могут оказаться эксплуатация реактора в первом режиме при низком уровне расходов на оплату электрической энергии и/или высоком уровне доступности электрической энергии, а после этого эксплуатация реактора во втором режиме при высоком уровне расходов на оплату электрической энергии и/или низком

уровне доступности электрической энергии. В рамках еще одного примера в случае получения электрической энергии из возобновляемого источника, такого как солнечная энергия или ветровая энергия, в определенных вариантах осуществления могут иметь место флуктуации доступности электрической энергии таким образом, что могут оказаться выгодными эксплуатация реактора в первом режиме при высоком уровне доступности электрической энергии (например, в дневное время и/или в летнее время для солнечной энергии или во время периодов ветреной погоды для ветровой энергии), а после этого эксплуатация реактора во втором режиме при низком уровне доступности электрической энергии (например, в ночное время и/или в зимнее время для солнечной энергии или во время периодов отсутствия значительного ветра). В некоторых случаях реактор эксплуатируют в первом режиме при расходах на оплату электрической энергии в виде первых расходов и доступности электрической энергии в виде первой доступности, и реактор эксплуатируют во втором режиме при расходах на оплату электрической энергии в виде вторых расходов и доступности электрической энергии в виде второй доступности, где вторые расходы являются большими, чем первые расходы (например, на, по меньшей мере, 10%, 25%, 50% или 100% большими), и/или первая доступность является большей, чем вторая доступность (например, на, по меньшей мере, 10%, 25%, 50% или 100% большей).

В некоторых вариантах осуществления кислотный и/или основной растворы, произведенные при использовании электролизного реактора, по меньшей мере, частично собирают и/или хранят во время периодов высокого уровня доступности электрической энергии и/или низкого уровня расходов на оплату электрической энергии, что допускает проведение реакции химического растворения в кислоте, производящей  $\text{CO}_2$ , и реакции химического осаждения, протекающей в основании, во время периодов пониженных или низких уровней функционирования электролизера или доступности электрической энергии и/или высокого уровня расходов на оплату электрической энергии. В некоторых вариантах осуществления хранение кислотного и основного растворов исполняет функцию хранения химического реагента, что обеспечивает возможность меньшей варьированности или наличия сглаженности выпуска химически прореагировавшего продукта, который в общем случае может быть твердым, жидким или газообразным, в сопоставлении с нормой выработки выпуска у электролизера. В некоторых вариантах осуществления сохраненные кислотный или основной растворы имеют размер или объем, допускающие производство химически прореагировавшего продукта с нормой выработки, которая не полностью исчерпывает сохраненные кислотный или основной растворы во время периодов пониженного или низкого уровня функционирования электролизера или доступности электрической энергии и/или высокого уровня расходов на оплату электрической энергии. В некоторых вариантах осуществления система включает источник варьируемой электрической энергии, упомянутый электролизер и упомянутые резервуары для хранения химических реагентов и химический реактор. В некоторых вариантах осуществления способ включает функционирование такой системы таким образом, чтобы производить менее варьируемый

или постоянный или относительно постоянный поток продукта химической реакции от источника более варьированной или прерывистой электрической энергии.

В определенных вариантах осуществления способ включает производство кислоты и основания в низковольтном режиме (например, при меньшем напряжении, чем при высоковольтном режиме, описанном в настоящем документе). Любой вариант осуществления, относящийся к низковольтному режиму, может быть использован для любой системы, раскрытой в настоящем документе. В некоторых вариантах осуществления способ не производит газообразного кислорода и/или газообразного водорода. Например, в определенных вариантах осуществления электролитические реакции, проходящие в низковольтном режиме, могут представлять собой окисление водорода на втором электроде ( $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ ) и восстановление воды на первом электроде ( $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ ) таким образом, что газообразный кислород не производится. В еще одном примере в определенных вариантах осуществления электролитические реакции, протекающие в низковольтном режиме, могут представлять собой окисление воды на первом электроде ( $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ ) и восстановление кислорода на втором электроде ( $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ ) таким образом, что газообразный водород не производится.

Для иллюстрирования ниже описываются некоторые типовые системы.

**Система 1: Типовые системы для производства  $\text{H}_2$  при низких затратах с постоянной нормой выработки при использовании прерывистой энергии из возобновляемых источников.**

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система может включать реактор, включающий область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH). В некоторых вариантах осуществления реактор может включать первый электрод и второй электрод, одно или несколько впускных отверстий, подающих жидкости и/или газ, которые претерпевают электролитические реакцию или реакции, и часть реактора или отдельный аппарат, в которых растворы хранят после прохождения электролитических реакций.

В определенных вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора в первом режиме (например, высоковольтном режиме, как это продемонстрировано на ФИГУРАХ 5А - 5В); где первый режим включает: производство основания поблизости от первого электрода; производство кислоты поблизости от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; сбор кислоты и/или основания; и проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания при химическом растворении и/или при реакции осаждения.

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции могут производить  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , кислотный раствор и основной раствор. Это один пример высоковольтного режима, который требует наличия большего напряжения, чем при низковольтном режиме. Одним неограничивающим примером электролитической реакции, протекающей в высоковольтном режиме, являются окисление воды на втором электроде ( $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ ) и восстановление воды на первом электроде ( $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2$

ОН<sup>-</sup>); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 2 В при значении рН на втором электроде 0 и при значении рН на первом электроде 14 (смотрите ФИГУРЫ 5А - 5В). В определенных вариантах осуществления кислотный и основной растворы, произведенные на электродах, могут быть собраны и сохранены отдельно.

В определенных вариантах осуществления способ включает эксплуатацию реактора во втором режиме (например, низковольтном режиме, как это продемонстрировано на ФИГУРАХ 6А - 6В). В некоторых вариантах осуществления полярность реактора во втором режиме обращена в сопоставлении с полярностью реактора в первом режиме. В некоторых вариантах осуществления второй режим включает добавление собранного и/или сохраненного основания в реактор поблизости от второго электрода. В определенных вариантах осуществления второй режим включает окисление добавленного основания поблизости от второго электрода для производства газообразного кислорода. В некоторых вариантах осуществления второй режим включает добавление собранной и/или сохраненной кислоты в реактор поблизости от первого электрода. В определенных вариантах осуществления второй режим включает восстановление добавленной кислоты поблизости от первого электрода для производства газообразного водорода.

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции могут нейтрализовать кислотный и основной растворы при одновременном производстве H<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>. Это один пример низковольтного режима, который требует наличия меньшего напряжения, чем при вышеупомянутом высоковольтном режиме. Одним неограничивающим примером электролитической реакции, протекающей в низковольтном режиме, являются окисление гидроксид-ионов на втором электроде (например, аноде) ( $4 \text{ OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^-$ ) и восстановление протонов на первом электроде (например, катоде) ( $2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2$ ); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 0,4 В при значении рН на втором электроде 14 и при значении рН на первом электроде 0 (смотрите ФИГУРЫ 6А - 6В). В определенных вариантах осуществления впускные отверстия реактора могут подавать раствор, характеризующийся значением рН, составляющим более, чем 8, на второй электрод и раствор, характеризующийся значением рН, составляющим менее, чем 6, на первый электрод.

В определенных вариантах осуществления различные реакторы могут функционировать в высоковольтном и низковольтном режимах. В еще одном варианте осуществления один реактор может быть сконфигурирован таким образом, чтобы он мог бы функционировать в высоковольтном режиме или в низковольтном режиме. В некоторых вариантах осуществления реактор может быть переключен из высоковольтного режима на низковольтный режим в результате изменения значения рН у жидкости, которая протекает к электроду. Например, для переключения на низковольтный режим из высоковольтного режима ко второму электроду мог бы быть введен щелочной раствор в то время, как к первому электроду мог бы быть введен кислотный раствор.

В некоторых вариантах осуществления решение о переключении между высоковольтным режимом (например, производством H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> при одновременном создании

кислоты/основания) и низковольтным режимом (например, производством  $H_2/O_2$  при одновременной нейтрализации кислоты/основания) может иметь в своей основе расходы на оплату или доступность электрической энергии, которые могут флуктуировать на всем протяжении дня, месяца или года. В определенных вариантах осуществления при расходах на оплату электрической энергии, меньших, чем определенное значение, реактор можно эксплуатировать в высоковольтном режиме (например, с потреблением большей мощности при одновременном производстве  $H_2$ ,  $O_2$ , кислоты и основания); при расходах на оплату электрической энергии, больших, чем определенное значение, реактор можно эксплуатировать в низковольтном режиме (например, с потреблением меньшей мощности при одновременном использовании кислотного и основного растворов для производства  $H_2$  и  $O_2$ ). В некоторых вариантах осуществления система может эффективно проводить арбитраж по расходам на оплату электрической энергии для производства  $H_2$ : при недорогой электрической энергии в системе ее используют больше в результате функционирования в высоковольтном режиме, в котором некоторое количество недорогой электрической энергии превращается в химическую энергию, которая может быть физически сохранена (например, в форме кислотного и основного растворов); при дорогой электрической энергии система может ее использовать меньше в результате функционирования в низковольтном режиме, при котором сохраненная химическая энергия (например, кислотный и основной растворы) могут быть использованы для уменьшения потребности в энергии при производстве  $H_2$  и  $O_2$ . В некоторых вариантах осуществления система может исполнять функцию уменьшения расходов на оплату электрической энергии при производстве  $H_2$  и  $O_2$ . В некоторых вариантах осуществления система может исполнять функцию производства водорода и кислорода при постоянной норме выработки, используя электрическую энергию, которая флуктурует по цене или доступности.

На ФИГУРЕ 7 иллюстрируется один неограничивающий пример, в котором система на 20% уменьшает расходы на оплату энергии для производства  $H_2$  при использовании прерывистой электрической энергии из возобновляемых источников. В данном примере расходы на оплату энергии из возобновляемых источников флуктурует в диапазоне между 0,02 доллара США/кВт-час и 0,07 доллара США/кВт-час (в соответствии с нормой выработки при производстве энергии для типичной ветровой турбины в типичный день). На ФИГУРЕ 7 демонстрируются расходы на оплату электрической энергии в зависимости от времени для щелочного электролизера или PEM-электролизера (с протонообменной мембраной) на 1 кВт, функционирующих при фиксированном напряжении (1,2 В, 32 кВт-час/кг  $H_2$ ). На ФИГУРЕ 7 также демонстрируются расходы на оплату энергии для электролизера при варьирующемся напряжении, который функционирует в высоковольтном режиме (2 В, 54 кВт-час/кг  $H_2$ ) при расходах на оплату электрической энергии, меньших среднего значения (0,05 доллара США/кВт-час), и в низковольтном режиме (0,4 В, 10 кВт-час/кг  $H_2$ ) при расходах на оплату электрической энергии, больших среднего значения, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. В данном примере оба электролизера производят  $H_2$  при одной и той же норме выработки и в среднем

используют одно и то же количество энергии (32 кВт-час/кг H<sub>2</sub>), однако, расходы на оплату энергии для эксплуатации двух элементов являются различными. В данном примере в электролизере с варьирующимся напряжением используется меньше дорогой электрической энергии (в результате функционирования в низковольтном режиме) и больше недорогой электрической энергии (в результате функционирования в высоковольтном режиме). В данном примере средние расходы на оплату энергии для электролизера с фиксированным напряжением составляют 0,05 доллара США/кВт-час, а средние расходы на оплату энергии для электролизера с варьирующимся напряжением составляют 0,04 доллара США/кВт-час (на 20% меньше). Как это должно быть отмечено, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления величина экономии расходов, возможная при использовании электролизера с варьирующимся напряжением, пропорциональна величине флуктуаций расходов: чем большим будет варьирование расходов на оплату электрической энергии, тем большей будет экономия расходов.

**Система 2: Типовые системы для совместного производства водорода при низких затратах и кислотного/основного растворов при использовании прерывистой энергии из возобновляемых источников.**

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система может включать реактор, включающий область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH). В некоторых вариантах осуществления реактор может включать первый электрод и второй электрод, одно или несколько впускных отверстий, подающих жидкость и/или газ, которые претерпевают электролитические реакцию или реакции, и часть реактора или отдельный аппарат, в которых растворы хранят после прохождения электролитических реакций. В некоторых вариантах осуществления электролитические реакции могут производить значение pH, составляющее менее, чем приблизительно шесть, в окрестности второго электрода и значение pH, составляющее более, чем приблизительно восемь, в окрестности первого электрода; растворы, характеризующиеся высоким и низким значениями pH, могут быть собраны и сохранены раздельно. В некоторых вариантах осуществления электроды могут быть сконфигурированы для проведения одной или нескольких электролитических реакций в целях производства растворов, характеризующихся высоким или низким значениями pH.

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции могут производить H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, кислотный раствор и основной раствор. Это один пример высоковольтного режима, который требует наличия большего напряжения, чем при низковольтном режиме. Одним неограничивающим примером электролитической реакции, протекающей в высоковольтном режиме, являются окисление воды на втором электроде (например, аноде) ( $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ ) и восстановление воды на первом электроде (например, катоде) ( $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ ); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 2 В при значении pH на втором электроде 0 и при значении pH на первом электроде 14 (смотрите ФИГУРЫ 5А - 5В). В определенных вариантах

осуществления кислотный и основной растворы, произведенные на электродах, могут быть собраны и сохранены отдельно.

В определенных вариантах осуществления реактор время от времени может производить кислотный и основной растворы в низковольтном режиме, который требует использования меньшего напряжения, чем высоковольтный режим. Неограничивающие примеры электролитических реакций, производящих кислотный и основной растворы в низковольтном режиме, включают нижеследующее.

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции, протекающие в низковольтном режиме, могут представлять собой окисление водорода на втором электроде (например, аноде) ( $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ ) и восстановление воды на первом электроде (например, катоде) ( $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ ) (например, реакции РОВ/РГВ); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 0,8 В при значении рН на втором электроде 0 и при значении рН на первом электроде 14 (смотрите ФИГУРЫ 8А - 8В).

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции, протекающие в низковольтном режиме, могут представлять собой окисление воды на втором электроде (например, аноде) ( $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ ) и восстановление кислорода на первом электроде (например, катоде) ( $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ ) (например, реакции РГК/РВК); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 0,8 В при значении рН на втором электроде 0 и при значении рН на первом электроде 14 (смотрите ФИГУРЫ 9А - 9В).

В некоторых вариантах осуществления решение о переключении между высоковольтным режимом (например, созданием кислоты/основания при совместной выработке  $\text{H}_2/\text{O}_2$ ) или низковольтным режимом (например, созданием кислоты/основания без производства нетто-количества газа) может иметь в своей основе расходы на оплату или доступность электрической энергии, которые могут флуктуировать на всем протяжении дня, месяца или года. В определенных вариантах осуществления при расходах на оплату электрической энергии, меньших, чем определенное значение, реактор можно эксплуатировать в высоковольтном режиме (например, с потреблением большей мощности при одновременном производстве  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , кислоты и основания). В определенных вариантах осуществления при расходах на оплату электрической энергии, больших, чем определенное значение, реактор можно эксплуатировать в низковольтном режиме (например, с потреблением меньшей мощности при производстве только кислоты и основания).

В некоторых вариантах осуществления система может пользоваться преимуществами низких цен на электрическую энергию в результате совместного производства  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$  совместно с кислотным и основным растворами: при недорогой электрической энергии в системе ее могут использовать больше в результате функционирования в высоковольтном режиме, в котором производят кислоту, основание,  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ ; при дорогой электрической энергии в системе ее могут использовать меньше в результате функционирования в низковольтных режимах, при которых производят кислоту

и основание, но не производят неттоколичества  $H_2$  или  $O_2$ . В некоторых вариантах осуществления система исполняет функцию уменьшения расходов на оплату электрической энергии при производстве  $H_2$  и  $O_2$ .

**Система 3: Типовые системы для производства кислоты/основания при низких затратах с постоянной нормой выработки при использовании прерывистой энергии из возобновляемых источников.**

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система может включать реактор, включающий область, включающую пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH). В некоторых вариантах осуществления реактор может включать первый электрод и второй электрод, одно или несколько впускных отверстий, подающих жидкость и/или газ, которые претерпевают электролитические реакцию или реакции, и часть реактора или отдельный аппарат, в которых растворы хранят после прохождения электролитических реакций. В некоторых вариантах осуществления электролитические реакции могут производить значение pH, составляющее менее, чем приблизительно шесть, в окрестности второго электрода и значение pH, составляющее более, чем приблизительно восемь, в окрестности первого электрода; растворы, характеризующиеся высоким и низким значениями pH, могут быть собраны и сохранены отдельно. В некоторых вариантах осуществления электроды могут быть сконфигурированы для проведения одной или нескольких электролитических реакций в целях производства растворов, характеризующихся высоким или низким значениями pH.

В определенных вариантах осуществления электролитические реакции могут производить  $H_2$ ,  $O_2$ , кислотный раствор и основной раствор. Это один пример электролитического режима, поскольку он требует наличия большего напряжения, чем при режиме топливного элемента, который будет описываться ниже. Одним неограничивающим примером электролитической реакции, протекающей в электролитическом режиме, являются окисление воды на втором электроде (например, аноде) ( $2 H_2O \rightarrow O_2 + 4 H^+ + 4 e^-$ ) и восстановление воды на первом электроде (например, катоде) ( $2 H_2O + 2 e^- \rightarrow H_2 + 2 OH^-$ ); данная реакция требует наличия минимального напряжения в 2 В при значении pH на втором электроде 0 и при значении pH на первом электроде 14 (смотрите ФИГУРЫ 5А - 5В). В определенных вариантах осуществления кислотный и основной растворы, произведенные на электродах, могут быть собраны и сохранены отдельно.

В определенных вариантах осуществления реакции, протекающие в режиме топливного элемента, могут представлять собой окисление водорода на втором электроде (например, аноде) ( $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$ ) и восстановление кислорода на первом электроде (например, катоде) ( $O_2 + 2 H_2O + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$ ) (например, реакции РОВ/РВК); это в результате приводит к прохождению самопроизвольной реакции, которая обеспечивает производство энергии, (смотрите ФИГУРЫ 10А - 10В).

В некоторых вариантах осуществления система может эффективно проводить

арбитраж по расходам на оплату электрической энергии для производства кислотного и основного растворов: при недорогой электрической энергии в системе ее используют больше в результате функционирования в электролитическом режиме, в котором некоторое количество недорогой электрической энергии превращается в химическую энергию, которая может быть физически сохранена (в форме  $H_2$  и  $O_2$  в газообразном состоянии); при дорогой электрической энергии система может ее использовать меньше в результате функционирования в режиме топливного элемента, при котором сохраненная химическая энергия ( $H_2$  и  $O_2$  в газообразном состоянии) могут быть использованы для создания кислоты, основания и электрической энергии. В некоторых вариантах осуществления система выполняет функцию уменьшения расходов на оплату электрической энергии при производстве растворов кислоты и основания. В некоторых вариантах осуществления данная система выполняет функцию производства кислотного и основного растворов при постоянной норме выработки, используя электрическую энергию, которая флуктуирует по цене или доступности.

В некоторых вариантах осуществления химическое растворение и/или реакция осаждения протекают внутри реактора.

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, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2В в некоторых случаях система 200 включает щелочную область 106 поблизости от первого электрода 104 и кислотную область 107 поблизости от второго электрода 105; таким образом, система 200 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 выдержан, по меньшей мере, частично, в результате электролиза. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2В в определенных прецедентах система 200 включает пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH), включающий щелочную область 106 и кислотную область 107. В некоторых таких вариантах осуществления данный пространственно варьирующийся градиент химического состава (например, пространственно варьирующийся градиент значения pH) устанавливают и/или выдерживают в результате электролиза. Электролиз нейтрального электролита в

соответствии с некоторыми вариантами осуществления может обеспечить производство пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH) между электродами, такими как первый электрод 104 и второй электрод 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» имеет отношение к электролизу воды. Например, в некоторых вариантах осуществления реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  и 2 электрона в  $\text{H}_2$  и 2  $\text{OH}^-$ , в то время как реакция, протекающая в аноде, превращает 2 молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  в 4 электрона,  $\text{O}_2$  и 4 протона. В некоторых вариантах осуществления выработка гидроксид-ионов поблизости от первого электрода 104 обеспечивает установление и/или выдерживание щелочного значения pH поблизости от первого электрода 104 или поблизости от него, устанавливая и/или выдерживая щелочную область 106, в то время как выработка протонов поблизости от второго электрода 105 обеспечивает установление кислотного значения pH поблизости от второго электрода 105, устанавливая и/или выдерживая 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 выдержан, по меньшей мере, частично, в результате гидролиза.

В соответствии с определенными вариантами осуществления реактор включает выпускное отверстие, соединенное с первой областью (например, кислотной областью) пространственно варьирующегося градиента химического состава (например, пространственно варьирующегося градиента значения pH). В определенных вариантах осуществления электрохимический реактор и/или выпускное отверстие конфигурируют для приема твердого вещества (например,  $\text{CaCO}_3$ ).

В некоторых вариантах осуществления реактор включает выпускное отверстие реактора. В некоторых вариантах осуществления выпускное отверстие реактора конфигурируют для выгрузки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (например, твердого гидроксида кальция) и/или негашеной извести ( $\text{CaO}$ ). 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 рН). В определенных вариантах осуществления выпускное отверстие конфигурируют таким образом, чтобы твердое вещество могло бы быть вытолкнуто из реактора. 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 конфигурируют для удаления твердого вещества (такого как твердые гидроксиды металлов, такие как твердый гидроксид никеля, твердый гидроксид кальция или твердый гидроксид магния) из реактора. 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, фильтрования, осаждения, центробежной силы, электрофореза, диэлектрофореза или магнитного разделения.

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.

В определенных вариантах осуществления второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки газа (например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$ ). В некоторых прецедентах  $\text{CO}_2$  необходимо изолировать, 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  $\text{O}_2$  необходимо изолировать, использовать в форме кислородно-топливной смеси, использовать в области применения технологии CCS и/или использовать в методах повышения нефтеотдачи. В определенных случаях  $\text{H}_2$  необходимо изолировать 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)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$ , выгруженную из системы, подают в обжигательную печь.

В некоторых вариантах осуществления реактор включает третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие. В некоторых случаях второе выпускное отверстие, третье выпускное отверстие и/или четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$ . Например, в некоторых случаях второе

выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в то время, как третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{H}_2$ . В определенных прецедентах второе выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{CO}_2$ , третье выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{O}_2$ , а четвертое выпускное отверстие конфигурируют для выгрузки  $\text{H}_2$ .

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. 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, обеспечивает возможность сквозного прохождения ионов при одновременном ограничении (или исключении) прохождения твердого вещества. Например, в некоторых вариантах осуществления ион металла (например,  $\text{Ca}^{2+}$ ) может проходить насквозь, в то время как твердая металлическая соль (например, твердый карбонат металла, такой как  $\text{CaCO}_3$  в твердом состоянии) или осадок (например, твердый гидроксид металла, такой как  $\text{Ca(OH)}_2$  в твердом состоянии) ограничивается (или совершенно не проходит насквозь).

В некоторых вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, обеспечивает возможность сквозного прохождения ионов, но ограничивает (или исключает) прохождение неионных соединений. В определенных вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, обеспечивает возможность сквозного прохождения ионов при первой скорости и обеспечивает возможность сквозного прохождения неионных соединений при второй скорости, которая является меньшей, чем первая скорость. В некоторых вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, обеспечивает возможность сквозного прохождения определенных ионов, но ограничивает (или исключает) прохождение других ионов. В определенных вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, обеспечивает возможность сквозного прохождения определенных ионов при первой скорости и обеспечивает возможность сквозного прохождения других ионов при второй скорости, которая является меньшей, чем первая скорость. В некоторых вариантах осуществления мембраны, селективно проницаемые для ионов, могут обеспечить возможность сквозного прохождения определенных ионов металлов, но ограничивают (или исключают) прохождение других (или обеспечивают возможность более быстрого сквозного прохождения определенных ионов металлов, чем других), могут обеспечить возможность

сквозного прохождения  $H^+$ , но ограничивают (или исключают) прохождение  $OH^-$  (или обеспечивают возможность более быстрого сквозного прохождения  $H^+$ , чем  $OH^-$ ), могут обеспечить возможность сквозного прохождения  $OH^-$ , но ограничивают (или исключают) прохождение  $H^+$  (или обеспечивают возможность более быстрого сквозного прохождения  $OH^-$ , чем  $H^+$ ), могут обеспечить возможность сквозного прохождения ионов металлов, но ограничивают (или исключают) прохождение  $H^+$  и/или  $OH^-$  (или обеспечивают возможность более быстрого сквозного прохождения ионов металлов, чем  $H^+$  и/или  $OH^-$ ) и/или могут обеспечить возможность сквозного прохождения  $H^+$  и/или  $OH^-$ , но ограничивают (или исключают) прохождение ионов металлов (или обеспечивают возможность более быстрого сквозного прохождения  $H^+$  и/или  $OH^-$ , чем ионов металлов).

Например, в некоторых вариантах осуществления мембрана, селективно проницаемая для ионов, является проницаемой для ионов  $OH^-$ , но относительно менее проницаемой для ионов  $Ca^{2+}$ , в то время как мембрана, селективно проницаемая для ионов, является проницаемой для ионов  $Ca^{2+}$ , но относительно менее проницаемой для ионов  $OH^-$ . В данном примере  $Ca^{2+}$  из первой области (например, кислотной области) могли бы диффундировать через мембрану, селективно проницаемую для ионов, в отдельную камеру, но не могли бы диффундировать через мембрану, селективно проницаемую для различных ионов, во вторую область (например, щелочную область). В дополнение к этому, в данном примере ионы  $OH^-$  из второй области (например, щелочной области) могли бы диффундировать через мембрану, селективно проницаемую для ионов, в отдельную камеру, но не могли бы диффундировать через мембрану, селективно проницаемую для других ионов. Таким образом, в данном примере  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$  были бы только способны вступать в реакцию, образуя  $Ca(OH)_2$  в твердом состоянии, в отдельной камере, предотвращая образование  $Ca(OH)_2$  в твердом состоянии на катоде или аноде. 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  $Ca(OH)_2$  в твердом состоянии) на первом электроде (например, катоде), предотвратить пассивирование твердым веществом (например, твердым гидроксидом металла, таким как  $Ca(OH)_2$  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  $Ca(OH)_2$  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 минеральной или металлической соли для ее разложения, уменьшаются или избегаются использование

ископаемых топлив для производства тепловой энергии и связанное с этим производство парниковых газов (например,  $\text{CO}_2$ ) или газов, которые представляют собой атмосферные загрязнители.

Определенные аспекты относятся к системам для производства цемента. В некоторых вариантах осуществления система включает реактор. В определенных вариантах осуществления реактор включает любой из вариантов осуществления реактора, раскрытых выше или в других местах в настоящем документе, или их комбинации.

В определенных вариантах осуществления система (например, любая система, описанная в настоящем документе) включает обжигательную печь. Например, исходя из обращения к ФИГУРЕ 1F в некоторых вариантах осуществления система включает электрохимический реактор и обжигательную печь 150. Подобным образом, исходя из обращения к ФИГУРЕ 2D в определенных вариантах осуществления система включает электрохимический реактор и обжигательную печь 150. В некоторых вариантах осуществления обжигательная печь включает впускное отверстие обжигательной печи. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления обжигательную печь скрепляют непосредственно с реактором и/или аппаратом (например, аппаратом, сконфигурированным для проведения реакции в отношении кислоты и/или основания при реакции осаждения). Обжигательная печь (например, любая обжигательная печь, описанная в настоящем документе) может быть использована в любой системе, описанной в настоящем документе.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления обжигательная печь располагается по ходу технологического потока ниже реактора, выпускного отверстия реактора и/или одного или нескольких аппаратов. В соответствии с определенными вариантами осуществления система, кроме того, включает нагреватель между реактором, выпускным отверстием реактора и/или одним или несколькими аппаратом и впускным отверстием обжигательной печи. Примеры нагревателей включают устройства, которые нагревают или дегидратируют вещество, расположенное внутри них. В некоторых вариантах осуществления выпускное отверстие реактора скрепляют непосредственно с впускным отверстием обжигательной печи.

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 рамках одного иллюстративного примера, тракт, который соединяет первую и вторую установки, и в котором давление и температуру содержимого тракта 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 тракта во время его прохождения от первой установки до второй установки, тракт 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 выпускное 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 реактора, выпускного отверстия реактора и/или нескольких аппаратов, а реактор, выпускное отверстие реактора и/или несколько аппаратов непосредственно скрепляют с выпускным отверстием обжигательной печи таким образом, чтобы выпускное отверстие обжигательной печи было бы сконфигурировано для приема, по меньшей мере, части твердого гидроксида кальция. В определенных вариантах осуществления гидроксид кальция собирают из реактора, выпускного отверстия реактора и/или нескольких аппаратов и транспортируют в нагреватель. В некоторых вариантах осуществления нагреватель превращает гидроксид кальция в оксид кальция, полностью или частично. В некоторых вариантах осуществления выпускное 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, из нагревателя.

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  $\text{SiO}_2$  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 прецедентах система характеризуется результирующими нулевыми выбросами углерода.

Определенные аспекты относятся к способам формирования осадков в пространственно варьирующемся градиенте химического состава (например,

пространственно варьирующемся градиенте значения pH). 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 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.

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  $\text{NaSO}_4$  и  $\text{NaClO}_4$ . 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, химическое соединение (например, металлическую соль) (например, карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область), и химическое соединение (например, металлическая соль) (например, карбонат кальция) вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) (например, карбонат кальция) растворялось бы, образуя один или несколько элементов, таких как металл (например, образуя  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  или  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). В некоторых вариантах осуществления один или несколько элементов (например, металл, такой как  $\text{Ca}^{2+}$ ) перемещаются во вторую область (например, щелочную область), где они вступают в

реакцию с гидроксид-ионами во второй области (например, щелочной области), формируя осадок (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  $\text{Ca}^{2+}$ ) 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  $\text{Ca}^{2+}$ ) 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  $\text{Ca}^{2+}$ ) перемещаются во вторую область (например, щелочную область), где они вступают в реакцию с гидроксид-ионами во второй области (например, щелочной области), формируя осадок (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), включают диффузирование, транспортирование в результате конвекции и/или транспортирование в результате течения.

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 соответствии с использованием в настоящем документе имеет отношение 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 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 некоторых вариантах осуществления это включает отвод гидроксида кальция из реактора и расположение его непосредственно в обжигательной печи. Альтернативным образом, в определенных вариантах осуществления имеют место стадии в промежутке между сбором гидроксида кальция и нагреванием в обжигательной печи (например, нагревателе). В некоторых вариантах осуществления нагреватель превращает гидроксид кальция в его оксид кальция, а после этого гидроксид кальция и/или оксид кальция нагревают в обжигательной печи. В некоторых вариантах осуществления нагреватель превращает 100% (масс.) гидроксида кальция в его оксид кальция, и только оксид кальция нагревают в обжигательной печи. В других вариантах осуществления нагреватель 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 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  $\text{SiO}_2$  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  $\text{CaCO}_3$ ) 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 возможности 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и/или  $\text{H}_2$ . Например, в некоторых вариантах осуществления в реакторе проводят гидролиз, и реакция, протекающая в катоде, превращает 2 молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  и 2 электрона в  $\text{H}_2$  (г.) и 2  $\text{OH}^-$ , в то время как реакция, протекающая в аноде, превращает две молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  в  $\text{O}_2$  (г.), 4 электрона и 4 протона. В определенных вариантах осуществления химическое соединение (например, металлическую соль) (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) добавляют в первую область (например, кислотную область), и химическое соединение (например, металлическая соль) (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) вступает в реакцию с протонами в первой области (например, кислотной области) таким образом, чтобы химическое соединение (например, металлическая соль) (например, карбонат металла, такой как карбонат кальция) растворялось бы, образуя один или несколько элементов (например, металл). В некоторых вариантах осуществления результирующая реакция между  $\text{CaCO}_3$  и двумя протонами в результате приводит к образованию  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_2$  (г.).

В соответствии с определенными вариантами осуществления способ, кроме того, включает сбор побочного продукта. Например, в некоторых вариантах осуществления побочный продукт включает  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$ . В определенных вариантах осуществления сбор побочного продукта включает сбор каждого представителя, выбираемого из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$ ; сбор только  $\text{CO}_2$ ; сбор только  $\text{O}_2$ ; сбор только  $\text{H}_2$ ; сбор  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ ; сбор  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  или сбор  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$ . Например, в определенных вариантах осуществления побочный продукт включает  $\text{CO}_2$ , а сбор побочного продукта включает изолирование  $\text{CO}_2$ .

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления побочный продукт используют в качестве топлива. В некоторых вариантах осуществления  $\text{H}_2$  можно использовать в качестве топлива. Неограничивающие примеры включают непосредственное сжигание  $\text{H}_2$  или использование его вместе с топливом, таким как природный газ. В некоторых вариантах осуществления  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  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  $Ca(OH)_2$ , произведенное при использовании способов, реакторов и/или систем, описанных в настоящем документе, можно использовать для производства  $CaO$  при изготовлении цемента вместо традиционного прокаливания  $CaCO_3$  для получения  $CaO$ . Термическая дегидратация  $Ca(OH)_2$  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 запитываются, частично или полностью, электрической энергией из возобновляемых источников (например, солнечной энергии, ветровой энергии и/или гидроэлектрической энергии).

В соответствии с определенными вариантами осуществления вырабатываются 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 форме дымовых газов, подходящих для использования при улавливании и изолировании 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. В некоторых вариантах осуществления такой элемент при проведении электролиза производит высокое значение pH на катоде, где протекает реакция генерирования водорода (РГВ) при производстве  $\text{OH}^-$ , и производит низкое значение pH на аноде, где протекает реакция генерирования кислорода (РГК) при производстве  $\text{H}^+$ . Поэтому между катодом и анодом в соответствии с определенными вариантами осуществления 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  $\text{CO}_2$  в газообразном состоянии, и в растворе производятся катионы металлов карбоната. 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 РГВ на катоде. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления реакция между ионом металла и ионами  $\text{OH}^-$ , 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. 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  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{NiCO}_3$ . 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. 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 для осадка может быть обеспечена возможность образовывать отложения на поверхности, откуда его непрерывно или периодически удаляют при одновременном продолжении функционирования реактора.

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 для целей 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  $\text{CaCO}_3$  и производства  $\text{Ca(OH)}_2$  в качестве предшественника для производства цемента, такого как портландцемент. 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  $\text{CaO}$  и алюмосиликатами и другими компонентами для получения портландцемента, является идентичной для двух технологических процессов. Было рассмотрено потребление энергии для доведения вещества  $\text{CaO}$ , произведенного в результате термического прокаливания  $\text{CaCO}_3$  и в результате электрохимической декарбонизации со следующей далее термической дегидратацией  $\text{Ca(OH)}_2$ , до одной и той же исходной температуры  $900^\circ\text{C}$ . 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  $\text{CaCO}_3$  с соответствующей энергией для термической дегидратации  $\text{Ca(OH)}_2$ , 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  $\text{CaCO}_3$  превращается в  $\text{Ca(OH)}_2$  при свободной энергии в стандартных условиях 74,3 кДж/моль; это дополнительное потребление энергии для электрохимического технологического процесса. Однако, данный типовой технологический процесс, а также реакция электролиза могут быть запитаны электричеством из возобновляемых источников, характеризующихся низкими или нулевыми выбросами углерода, при почти что нулевых предельных расходах на оплату электрической энергии.

Реакция электролиза, необходимая для функционирования реактора, в данном

типовом 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 функционирования электролизера или для нагревания 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, произведенные в настоящем документе (например, исходя из реакции осаждения), могут быть использованы 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 форме взвеси) используют при изготовлении железа и/или стали в качестве смазки 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 прецедентах 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. Негашенная 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, негашенная известь и гашеная известь могут быть использованы при флотации или извлечении для руд цветных металлов. В определенных случаях негашенная известь выполняет функцию средства для содействия отстаиванию, для выдерживания надлежащей щелочности и/или удаления примесей (таких как сера и/или кремний). В некоторых прецедентах 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 прецедентах 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 прецедентах гашеную известь используют для выдерживания щелочного значения pH для растворения золота, серебра и/или никеля при цианидном экстрагировании. 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 негашенная известь и/или гашеная известь могут быть смешаны с другими добавками и подвергнуты воздействию диоксида углерода для производства карбоната кальция, негашенная известь и/или гашеная известь могут быть введены в реакцию с другими добавками (такими как алюмосиликаты) для получения вяжущего материала, и/или негашенная известь и/или гашеная известь могут быть использованы в качестве источника кальция. В прецеденте 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 негашенной извести и/или гашеной извести в реакцию с атмосферным диоксидом углерода с образованием карбоната кальция. Для случая гидравлических пуццолановых цементов в определенных случаях негашеную известь и/или гашеную известь 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 в некоторых прецедентах негашеную известь и/или гашеную известь 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, трехкальциевый силикат и/или однокальциевый 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 силикатов 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, литые или прессованные 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.

#### **в) 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 прецедентах 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, поскольку 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 прецедентах гашеная известь может вступать в реакцию с алюмосиликатами и/или диоксидом углерода, которая приводит к созданию твердого продукта, который улучшает связь между вяжущим и наполнителем в асфальте. В качестве минерального наполнителя в некоторых прецедентах 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 прецедентах 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 замкнутых окружающих средах для дыхания, таких 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 изолирован.

#### **в) 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, подавления патогенов, отпугивания мух или грызунов, устранения неприятных запахов, предотвращения выщелачивания и/или стабилизации и/или осаждения загрязнителей (таких как тяжелые металлы, хром, медь и/или суспендированные/растворенные твердые вещества) и/или растворенных ионов, которые вызывают окалинообразование (ионы кальция и/или магния). В определенных прецедентах 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 прецедентах негашеная известь и/или гашеная известь могут быть использованы для ускорения разложения органического вещества в результате выдерживания 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 осаднения 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 форме добавки в удобрении, для регулирования значения рН 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 в целях увеличения значения рН для сиропа сахара-сырца, разрушения ферментов в сиропе сахара-сырца и/или вступления в реакцию с неорганическими и/или органическими частицами с формированием осадков. В определенных прецедентах 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 прецедентах 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 тетрамеда (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, задерживая инсектицид на листьях. В некоторых прецедентах 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 случаях 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 осажденного карбоната кальция. В некоторых прецедентах раствор и/или взвесь гашеной извести и/или раствор ионов кальция 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 прецедентах осажденный 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 осажденный 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 ацетилена - 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 ионами кальция 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 прецедентах 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 прецедентах трехкальциевый фосфат используют в зубных пастах и/или в качестве противослеживающегося 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 противослеживающихся 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.

### **в) 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 прецедентах молочная кислота может быть введена в реакцию на второй стадии с серной кислотой для производства чистой молочной кислоты. В некоторых прецедентах 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 прецедентах 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 получении 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 прецедентах 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 прецедентах 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 ионы магния, (например, морской воде и/или концентрированным соляным растворам) стимулирует осаждение гидроксида магния из раствора.

#### **d) Органические химические реагенты**

##### **- Алкенокислоты**

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 алкенокислот. В некоторых прецедентах негашеную известь используют для омыления или дегидрохлорирования пропилен- и/или бутенхлоргидринов для производства соответствующих оксидов. После этого в некоторых прецедентах 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 для 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 прецедентах 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 прецедентах 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 связыванию 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 прецедентах 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 выдерживания высокой щелочности и/или сохранения 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 прецедентах буровой раствор переносит фрагменты горной породы, произведенные 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 алкилфенолями 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 в целях 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 получения щелока. В определенных случаях гашеную известь добавляют к раствору сернистой кислоты для получения кислой соли сернистой кислоты. Смесь из сернистой кислоты и бисульфита в некоторых случаях используют для варки волокнистой массы. В некоторых прецедентах 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 аккумуляирования 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 аккумуляирования термохимической энергии (например, для саморазогревающегося контейнера для пищевых продуктов и/или для аккумуляирования 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 прецедентах 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**

В данном примере описывается система, эксплуатируемая в первом режиме, когда собирали произведенные кислоту и основание.

К аноду (изготовленному из углеродного войлока) и катоду (также из углеродного войлока) проточного элемента подавали близкий к нейтральному раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при 1 моль/л с расходом 10 мл в минуту и раствор отбирали от анода и от катода. При приложении к элементу напряжения 2,5 В значение рН раствора, поступающего от анода, составляло 1,5, а значение рН раствора, поступающего от катода, составляло 12,5.

**ПРИМЕР 2**

В данном примере описывается система, эксплуатируемая в первом режиме, когда собирали и вводили в реакцию произведенные кислоту и основание.

Реакция гидролиза протекает в электрохимическом элементе, включающем первый электрод и второй электрод, таким образом, чтобы основание и газообразный водород были

бы произведены на первом электроде (катоде), а кислота и газообразный кислород были бы произведены на втором электроде (аноде). Основание собирают из реактора при использовании тракта в первый аппарат, соединяющийся через текучую среду с реактором, и основание хранят в данном аппарате. Кислоту собирают из реактора при использовании тракта во второй аппарат, соединяющийся через текучую среду с реактором, и кислоту хранят в данном аппарате.

При желании основание переводят в третий аппарат, соединяющийся через текучую среду с первым аппаратом, а кислоту переводят в четвертый аппарат, соединяющийся через текучую среду со вторым аппаратом. После этого кислоту используют для растворения  $\text{CaCO}_3$  при химическом растворении в четвертом аппарате для получения ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ . Вслед за этим ионы  $\text{Ca}^{2+}$  транспортируют в третий аппарат (который соединяется через текучую среду с четвертым аппаратом), где основание используют при реакции осаждения с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  для получения  $\text{Ca(OH)}_2$ .  $\text{Ca(OH)}_2$  необязательно можно использовать в технологическом процессе изготовления цемента, включающем, например, обжигательную печь и/или нагреватель.

### **ПРИМЕР 3**

В данном примере описывается система, эксплуатируемая в первом режиме, где произведенные газообразный кислород и газообразный водород транспортируются и, соответственно, восстанавливаются и окисляются.

Реакция гидролиза протекает в электрохимическом элементе, включающем первый электрод и второй электрод, таким образом, чтобы основание и газообразный водород производили бы на первом электроде (катоде), а кислоту и газообразный кислород производили бы на втором электроде (аноде). Газообразный водород транспортируют при использовании тракта от катода к аноду, где его окисляют, производя кислоту. Производство кислоты дополнительно уменьшает значение pH на аноде. Газообразный кислород транспортируют при использовании тракта от анода к катоду, где его восстанавливают, производя основание. Производство основания дополнительно увеличивает значение pH на катоде.

В некоторых таких системах или способах кислоту и основание необязательно собирают и/или вводят в реакцию в соответствии с описанием изобретения в примере 1.

### **ПРИМЕР 4**

В данном примере описывается система, эксплуатируемая в первом режиме, где произведенные кислород и газ могут быть собраны и проданы или использованы или рекомбинированы с образованием воды.

Реакция гидролиза протекает в электрохимическом элементе, включающем первый электрод и второй электрод, таким образом, чтобы основание и газообразный водород производили бы на первом электроде (катоде), а кислоту и газообразный кислород производили бы на втором электроде (аноде). Газообразный водород и газообразный кислород могут быть собраны и проданы или использованы или рекомбинированы с образованием воды в случае нежелательности производства газа.

### **ПРИМЕР 5**

В данном примере описывается система, поочередно эксплуатируемая в первом режиме и втором режиме.

Систему или способ из примера 1 используют во времена низкого уровня расходов на оплату электрической энергии и/или высокого уровня доступности электрической энергии, но некоторое или все количество кислоты и основания сохраняют, а не используют при химическом растворении и/или реакциях осаждения. Когда расходы на оплату электрической энергии увеличиваются, и/или электрическая энергия становится менее доступной, систему переключают во второй режим, где полярность электродов обращена в сопоставлении с полярностью из примера 1. После этого сохраненное основание из примера 1 добавляют к аноду, где его окисляют для получения газообразного кислорода. Вслед за этим сохраненную кислоту добавляют к катоду, где ее восстанавливают для производства газообразного водорода. Газообразный водород и газообразный кислород необязательно могут быть собраны и проданы или использованы.

### **ПРИМЕР 6**

В данном примере описывается эксплуатация системы, включающей два реактора, для производства кислоты и основания, которые могут быть использованы при химическом растворении и/или реакциях осаждения.

Эксплуатируют систему, включающую два реактора, соединяющиеся через текучую среду. Первый реактор производит основание, дигалогенид (например,  $Cl_2$ ) и газообразный водород. Первый реактор и второй реактор соединяются через текучую среду, и газообразный водород и дигалогенид, произведенные в первом реакторе, транспортируют во второй реактор. Во второй реактор также добавляют воду, и второй реактор производит кислоту (например,  $HCl$ ).

Основание собирают из первого реактора, включающего первый аппарат, а кислоту собирают из второго реактора, включающего второй аппарат. Кислоту используют при химическом растворении во втором аппарате, таком как химическое растворение  $CaCO_3$  в твердом состоянии с образованием ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$ . Второй аппарат соединяется через текучую среду с первым аппаратом, и ионы  $Ca^{2+}$  из второго аппарата транспортируют в первый аппарат, где они вступают в реакцию с основанием при реакции осаждения с образованием  $Ca(OH)_2$ .  $Ca(OH)_2$  необязательно можно использовать в технологическом процессе изготовления цемента, включающем, например, обжигательную печь и/или нагреватель.

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 типовых, и что фактические параметры, размеры, материалы и/или конфигурации будут зависеть от конкретной 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 каждый отдельный 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.

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 иметь отношение 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 представителя 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 иметь отношение 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 обычное значение в соответствии с использованием в сфере 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 не при обязательном 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 обеспечивает возможность необязательного присутствия элементов, отличных от элементов, конкретно указанных в перечне элементов, к которому имеет отношение 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 иметь отношение 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 А); 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 других элементов); и так далее.

В формуле изобретения, а также в представленном выше описании изобретения все переходные фразы, такие как «содержащий», «включающий», «несущий», «имеющий», «вмещающий», «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, соответственно, замкнутыми или полузамкнутыми переходными фразами в соответствии с представлением в публикации United States Patent Office Manual of Patent Examining Procedures, Section 2111.03.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ, включающий:  
эксплуатацию реактора в первом режиме;  
где первый режим включает:  
производство основания от первого электрода;  
производство кислоты от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; и  
сбор кислоты и/или основания.
2. Способ по п. 1, дополнительно включающий проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания в процессе химического растворения и/или реакции осаждения.
3. Способ, включающий:  
эксплуатацию реактора в первом режиме;  
где первый режим включает:  
производство основания от первого электрода;  
производство кислоты от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе;  
сбор кислоты и/или основания; и  
проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания в процессе химического растворения и/или реакции осаждения.
4. Способ по любому из пп. 1-3, где первый режим включает производство газообразного кислорода от второго электрода.
5. Способ по любому из пп. 1-4, где первый режим включает производство газообразного водорода от первого электрода.
6. Способ, включающий:  
эксплуатацию реактора в первом режиме;  
где первый режим включает:  
производство основания и газообразного водорода от первого электрода;  
производство кислоты и газообразного кислорода от второго электрода, который является электрохимически сопряженным с первым электродом в реакторе; и  
обеспечение возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к первому электроду и/или обеспечение возможности диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода ко второму электроду;  
и  
обеспечение возможности восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода и/или обеспечение возможности окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.
7. Способ по п. 6, дополнительно включающий сбор кислоты и/или основания.
8. Способ по любому из пп. 6-7, дополнительно включающий проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания при химическом растворении и/или при

реакции осаждения.

9. Способ по любому из пп. 4-8, где производство кислоты от второго электрода и производство газообразного кислорода от второго электрода включают окисление воды под воздействием второго электрода с получением газообразного кислорода и кислоты.

10. Способ по любому из пп. 5-9, где производство основания от первого электрода и производство газообразного водорода от первого электрода включают восстановление воды под воздействием первого электрода с получением газообразного водорода и основания.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий сбор кислоты.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий сбор основания.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий проведение реакции в отношении собранной кислоты в процессе химического растворения.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий проведение реакции в отношении собранного основания в процессе реакции осаждения.

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий хранение кислоты и/или основания.

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий хранение кислоты.

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий хранение основания.

18. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий эксплуатацию реактора во втором режиме, где полярность реактора во втором режиме обращена в сравнении с полярностью реактора в первом режиме.

19. Способ по п. 18, где расходы на оплату электрической энергии для эксплуатации реактора в первом режиме являются первыми расходами, а доступность электрической энергии для эксплуатации реактора в первом режиме является первой доступностью, где расходы на оплату электрической энергии для эксплуатации реактора во втором режиме являются вторыми расходами, а доступность электрической энергии для эксплуатации реактора во втором режиме является второй доступностью, и где вторые расходы являются большими, чем первые расходы, и/или первая доступность является большей, чем вторая доступность.

20. Способ по любому из пп. 18-19, где второй режим включает добавление сохраненного основания в реактор поблизости от второго электрода.

21. Способ по любому из пп. 18-20, где второй режим включает окисление сохраненного основания поблизости от второго электрода с получением газообразного кислорода.

22. Способ по любому из пп. 18-21, где второй режим включает добавление сохраненной кислоты в реактор поблизости от первого электрода.

23. Способ по любому из пп. 18-22, где второй режим включает восстановление сохраненной кислоты поблизости от первого электрода с получением газообразного

водорода.

24. Способ по любому из пп. 5-23, включающий окисление газообразного водорода под воздействием второго электрода.

25. Способ по любому из пп. 5-24, включающий окисление газообразного водорода под воздействием второго электрода с получением кислоты.

26. Способ по любому из пп. 5-25, где обеспечивают возможность диффундирования газообразного водорода из области поблизости от первого электрода в область поблизости от второго электрода.

27. Способ по любому из пп. 5-26, где газообразный водород транспортируют из области поблизости от первого электрода в область поблизости от второго электрода.

28. Способ по любому из пп. 1-3, 5 и 9-27, где способ не производит газообразного кислорода.

29. Способ по любому из предшествующих пунктов, где способ не производит в конечном итоге газообразного водорода.

30. Способ по любому из пп. 4-27 и 29, включающий восстановление газообразного кислорода под воздействием первого электрода.

31. Способ по любому из пп. 4-27 и 29-30, включающий восстановление газообразного кислорода под воздействием первого электрода с получением основания.

32. Способ по любому из пп. 4-27 и 29-31, где обеспечивают возможность диффундирования газообразного кислорода из области поблизости от второго электрода в область поблизости от первого электрода.

33. Способ по любому из пп. 4-27 и 29-32, где газообразный кислород транспортируют из области поблизости от второго электрода в область поблизости от первого электрода.

34. Способ по любому из пп. 1-4 и 9-33, где способ не производит газообразного водорода.

35. Способ по любому из предшествующих пунктов, где способ не производит в конечном итоге газообразного кислорода.

36. Способ по любому из пп. 2-5 и 8-35, где химическое растворение включает химическое растворение металла, металлического сплава, металлоида, соли металла, оксида металла и/или силиката.

37. Способ по п. 36, где металл и/или металлический сплав содержит железо, сплав на основе железа, нержавеющей сталь, цветной металл, сплав на основе цветного металла, алюминий, латунь, бронзу, медь, цинк, олово и/или монетный сплав.

38. Способ по любому из пп. 36-37, где оксид металлов включает оксид кальция, оксид магния, оксид стронция, оксид марганца, оксид железа, оксид кобальта, оксид никеля, оксид цинка, оксид кадмия, оксид свинца, диоксид кремния и/или оксид алюминия.

39. Способ по любому из пп. 36-38, где соль металла включает карбонат металла.

40. Способ по п. 39, где карбонат металла включает карбонат кальция, карбонат магния, карбонат бария, карбонат стронция, карбонат марганца, карбонат железа, карбонат

кобальта, карбонат цинка, карбонат кадмия, карбонат свинца и/или карбонат никеля.

41. Способ по любому из пп. 2-5 и 8-35, где реакция осаждения включает осаждение гидроксида металла.

42. Способ по п. 41, где гидроксид металла включает гидроксид кальция, гидроксид магния, гидроксид бария, гидроксид стронция, гидроксид марганца, гидроксид железа, гидроксид кобальта, гидроксид цинка, гидроксид кадмия, гидроксид свинца и/или гидроксид никеля.

43. Способ по любому из предшествующих пунктов, где кислота имеет концентрацию более чем или ровно 0,00001 моль/л.

44. Способ по любому из предшествующих пунктов, где кислота имеет концентрацию более чем или ровно 1 моль/л.

45. Способ по любому из предшествующих пунктов, где кислота имеет концентрацию менее чем или ровно 10 моль/л.

46. Способ по любому из предшествующих пунктов, где основание имеет концентрацию более чем или ровно 0,00001 моль/л.

47. Способ по любому из предшествующих пунктов, где основание имеет концентрацию более чем или ровно 1 моль/л.

48. Способ по любому из предшествующих пунктов, где основание имеет концентрацию менее чем или ровно 10 моль/л.

49. Способ по любому из предшествующих пунктов, где значение рН поблизости от второго электрода составляет менее чем или ровно 6.

50. Способ по любому из предшествующих пунктов, где значение рН поблизости от первого электрода составляет более чем или ровно 8.

51. Способ по любому из предшествующих пунктов, где потенциал Нернста на втором электроде составляет более чем или ровно - 0,4 В в сопоставлении с потенциалом стандартного водородного электрода.

52. Способ по любому из предшествующих пунктов, где потенциал Нернста на втором электроде составляет более чем или ровно 0,8 В относительно потенциала стандартного водородного электрода.

53. Способ по любому из предшествующих пунктов, где потенциал Нернста на первом электроде составляет менее чем или ровно 0,8 В относительно потенциала стандартного водородного электрода.

54. Способ по любому из предшествующих пунктов, где потенциал Нернста на первом электроде составляет менее чем или ровно - 0,4 В относительно потенциала стандартного водородного электрода.

55. Способ по любому из пп. 2-5 и 8-54, где эксплуатация реактора в первом режиме является прерывистой, в то время как проведение реакции в отношении собранных кислоты и/или основания в процессе химического растворения и/или реакции осаждения является непрерывным.

56. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий добавление в

реактор входного раствора, близкого к нейтральному.

57. Способ по п. 56, где близкий к нейтральному входной раствор содержит соль.

58. Способ по п. 57, где соль включает сульфат щелочного металла, хлорат щелочного металла, галогенид щелочного металла, нитрат щелочного металла, перхлорат щелочного металла, ацетат щелочного металла, нитрит щелочного металла и/или трифторметансульфонат щелочного металла.

59. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий проведение реакции в отношении собранного основания в процессе химического растворения.

60. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий проведение реакции в отношении собранной кислоты в процессе реакции осаждения.

61. Система, включающая:

первый электрод;

второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом; и

аппарат, сконфигурированный для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода и/или основного выпуска поблизости от первого электрода.

62. Система, включающая:

первый электрод;

второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом;

первый аппарат, сконфигурированный для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода и/или основного выпуска поблизости от первого электрода; и

второй аппарат, сконфигурированный для проведения реакции в отношении собранного кислотного выпуска и/или собранного основного выпуска.

63. Система по любому из пп. 61-62, где первый электрод конфигурируют для производства основания и/или газообразного водорода.

64. Система по любому из пп. 61-63, где второй электрод конфигурируют для производства кислоты и/или газообразного кислорода.

65. Система по любому из пп. 61-64, где система выполнена с возможностью обеспечения диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к первому электроду и/или обеспечения диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода ко второму электроду.

66. Система по любому из пп. 61-65, где система выполнена с возможностью обеспечения восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода и/или обеспечения окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.

67. Система, включающая:

первый электрод, сконфигурированный для производства основания и газообразного водорода; и

второй электрод, который является электрохимически сопряженным с первым электродом и сконфигурирован для производства кислоты и газообразного кислорода;

где система выполнена с возможностью обеспечения диффундирования и/или транспортирования газообразного кислорода к первому электроду и/или обеспечения диффундирования и/или транспортирования газообразного водорода ко второму электроду;  
и

где система выполнена с возможностью обеспечения восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода и/или обеспечения окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.

68. Система по п. 67, дополнительно включающая аппарат, сконфигурированный для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода и/или основного выпуска поблизости от первого электрода.

69. Система по любому из пп. 61-68, дополнительно включающая сепаратор, выполненный с возможностью обеспечения диффундирования газообразного кислорода, произведенного на втором электроде, к первому электроду и/или обеспечения диффундирования газообразного водорода, произведенного на первом электроде, ко второму электроду.

70. Система по любому из пп. 61, 63-66 и 68-69, дополнительно включающая второй аппарат, сконфигурированный для проведения реакции в отношении собранного кислотного выпуска и/или собранного основного выпуска в процессе химического растворения и/или реакции осаждения.

71. Система по любому из пп. 62-66 и 70, где второй аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении собранного кислотного выпуска и/или собранного основного выпуска в процессе химического растворения.

72. Система по любому из пп. 62-66 и 70-71, где второй аппарат конфигурируют для проведения реакции в отношении собранного кислотного выпуска и/или собранного основного выпуска в процессе реакции осаждения.

73. Система по любому из пп. 61-66 и 69-72, где второй электрод конфигурируют для производства кислоты.

74. Система по любому из пп. 61-66 и 69-73, где второй электрод конфигурируют для производства газообразного кислорода.

75. Система по любому из пп. 61-66 и 69-74, где первый электрод конфигурируют для производства основания.

76. Система по любому из пп. 61-66 и 69-75, где первый электрод конфигурируют для производства газообразного водорода.

77. Система по любому из пп. 64-76, где система выполнена с возможностью обеспечения диффундирования газообразного кислорода к первому электроду.

78. Система по любому из пп. 63-77, где система выполнена с возможностью конфигурируют для обеспечения возможности диффундирования газообразного водорода ко второму электроду.

79. Система по любому из пп. 64-78, где система выполнена с возможностью конфигурируют для обеспечения возможности восстановления газообразного кислорода

под воздействием первого электрода.

80. Система по любому из пп. 63-79, где система выполнена с возможностью конфигурируют для обеспечения возможности окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода.

81. Система по любому из пп. 61-80, где аппарат конфигурируют для сбора кислотного выпуска поблизости от второго электрода.

82. Система по любому из пп. 61-81, где аппарат конфигурируют для сбора основного выпуска поблизости от первого электрода.

83. Система по любому из пп. 61-82, включающая аппарат, сконфигурированный для хранения кислоты и/или основания.

84. Система по любому из пп. 61-83, включающая аппарат, сконфигурированный для хранения кислоты.

85. Система по любому из пп. 61-84, включающая аппарат, сконфигурированный для хранения основания.

86. Система по любому из пп. 61-85, где систему конфигурируют таким образом, чтобы основание могло быть добавлено поблизости от второго электрода.

87. Система по любому из пп. 61-86, где систему конфигурируют для окисления основания под воздействием второго электрода с получением газообразного кислорода.

88. Система по любому из пп. 61-87, где систему конфигурируют таким образом, чтобы кислота могла быть добавлена поблизости от первого электрода.

89. Система по любому из пп. 61-88, где систему конфигурируют для восстановления кислоты под воздействием второго электрода с получением газообразного водорода.

90. Система по любому из пп. 63-89, где систему конфигурируют для окисления газообразного водорода под воздействием второго электрода с получением кислоты.

91. Система по любому из пп. 63-90, где система выполнена с возможностью обеспечения транспортирования газообразного водорода из области поблизости от первого электрода в область поблизости от второго электрода.

92. Система по любому из пп. 61-66, 69-73, 75-86 и 88-91, где систему конфигурируют для недопущения производства газообразного кислорода.

93. Система по любому из пп. 61-92, где систему конфигурируют для недопущения производства в конечном итоге газообразного водорода.

94. Система по любому из пп. 64-91 и 93, где систему конфигурируют для восстановления газообразного кислорода под воздействием первого электрода для производства основания.

95. Система по любому из пп. 64-91 и 93-94, где система выполнена с возможностью обеспечения транспортирования газообразного кислорода из области поблизости от второго электрода в область поблизости от первого электрода.

96. Система по любому из пп. 61-66, 69-75, 77-88 и 90-95, где систему конфигурируют для недопущения производства газообразного водорода.

97. Система по любому из пп. 61-96, где систему конфигурируют для недопущения производства в конечном итоге газообразного кислорода.

98. Способ, включающий:

производство основания и дигалогенида в первом реакторе;

производство кислоты во втором реакторе;

сбор кислоты;

сбор основания;

проведение химического растворения при использовании кислоты и/или основания;

и

проведение реакции осаждения при использовании кислоты и/или основания.

99. Способ по п. 98, включающий производство газообразного водорода в первом реакторе.

100. Способ по любому из пп. 98-99, включающий подачу нейтрального по значению рН побочного продукта реакции осаждения в виде галогенида щелочного металла в первый реактор.

101. Способ по любому из пп. 98-100, включающий хранение кислоты и/или основания.

102. Способ по любому из пп. 98-101, где химическое растворение включает химическое растворение металла, металлического сплава, металлоида, металлической соли, оксида металла и/или силиката.

103. Способ по п. 102, где металл и/или металлический сплав содержат железо, сплав на основе железа, нержавеющей сталь, цветной металл, сплав на основе цветного металла, алюминий, латунь, бронзу, медь, цинк, олово и/или монетный сплав.

104. Способ по любому из пп. 102-103, где оксид металлов включает оксид кальция, оксид магния, оксид стронция, оксид марганца, оксид железа, оксид кобальта, оксид никеля, оксид цинка, оксид кадмия, оксид свинца, диоксид кремния и/или оксид алюминия.

105. Способ по любому из пп. 102-104, где металлическая соль включает карбонат металла.

106. Способ по п. 105, где карбонат металла включает карбонат кальция, карбонат магния, карбонат бария, карбонат стронция, карбонат марганца, карбонат железа, карбонат кобальта, карбонат цинка, карбонат кадмия, карбонат свинца и/или карбонат никеля.

107. Способ по любому из пп. 98-106, где реакция осаждения включает осаждение гидроксида металла.

108. Способ по п. 107, где гидроксид металла включает гидроксид кальция, гидроксид магния, гидроксид бария, гидроксид стронция, гидроксид марганца, гидроксид железа, гидроксид кобальта, гидроксид цинка, гидроксид кадмия, гидроксид свинца и/или гидроксид никеля.

109. Способ по любому из пп. 98-108, где кислота характеризуется концентрацией, составляющей более, чем или ровно 0,1 моль/л.

110. Способ по любому из пп. 98-109, где кислота характеризуется концентрацией,

составляющей более, чем или ровно 1 моль/л.

111. Способ по любому из пп. 98-110, где кислота характеризуется концентрацией, составляющей менее, чем или ровно 12 моль/л.

112. Способ по любому из пп. 98-111, где основание характеризуется концентрацией, составляющей более, чем или ровно 0,1 моль/л.

113. Способ по любому из пп. 98-112, где основание характеризуется концентрацией, составляющей более, чем или ровно 1 моль/л.

114. Способ по любому из пп. 98-113, где основание характеризуется концентрацией, составляющей менее, чем или ровно 25 моль/л.

115. Способ по любому из пп. 98-114, где значение рН поблизости от второго электрода составляет менее, чем или ровно 6.

116. Способ по любому из пп. 98-115, где значение рН поблизости от первого электрода составляет более, чем или ровно 8.

117. Способ по любому из пп. 98-116, где первый реактор включает второй электрод, а потенциал Нернста на втором электроде составляет более, чем или ровно 1,36 В в сравнении с потенциалом стандартного водородного электрода.

118. Способ по любому из пп. 98-117, где первый реактор включает второй электрод, и под воздействием второго электрода производят дигалогенид.

119. Способ по любому из пп. 98-118, где первый реактор включает первый электрод, и потенциал Нернста на первом электроде составляет менее, чем или ровно 0,8 В в сравнении с потенциалом стандартного водородного электрода.

120. Способ по любому из пп. 98-118, где первый реактор включает первый электрод, а потенциал Нернста на первом электроде составляет менее, чем или ровно 0,4 В в сравнении с потенциалом стандартного водородного электрода.

121. Способ по любому из пп. 98-118, где первый реактор включает первый электрод, а потенциал Нернста на первом электроде составляет менее, чем или ровно - 0,41 В в сравнении с потенциалом стандартного водородного электрода.

122. Способ по любому из пп. 98-118, где первый реактор включает первый электрод, а потенциал Нернста на первом электроде составляет менее, чем или ровно - 0,82 В в сравнении с потенциалом стандартного водородного электрода.

123. Способ по любому из пп. 98-122, где первый реактор включает первый электрод, и под воздействием первого электрода производят основание.

124. Способ по любому из пп. 98-123, где второй реактор является химическим реактором или топливным элементом.

125. Способ по любому из пп. 98-124, где второй реактор представляет собой  $H_2/Cl_2$ -топливный элемент.

126. Способ по любому из пп. 98-125, включающий проведение химического растворения при использовании кислоты.

127. Способ по любому из пп. 98-126, включающий проведение химического растворения при использовании основания.

128. Способ по любому из пп. 98-127, включающий проведение реакции осаждения при использовании кислоты.

129. Способ по любому из пп. 98-128, включающий проведение реакции осаждения при использовании основания.

130. Система, включающая:

первый реактор, сконфигурированный для производства основания, дигалогенида и газообразного водорода;

второй реактор, сконфигурированный для производства кислоты;

первый аппарат, сконфигурированный для сбора кислоты поблизости от второго реактора и проведения химического растворения и/или реакции осаждения при использовании кислоты; и

второй аппарат, сконфигурированный для сбора основания поблизости от первого реактора и проведения химического растворения и/или реакции осаждения при использовании основания.

131. Система по п. 130, где систему конфигурируют для подачи нейтрального по значению pH побочного продукта реакции осаждения в виде галогенида щелочного металла в первый реактор.

132. Система по любому из пп. 130-131, где систему конфигурируют для хранения кислоты и/или основания.

133. Система по любому из пп. 130-132, где химическое растворение включает химическое растворение металла, металлического сплава, металлоида, соли металла, оксида металла и/или силиката.

134. Способ по п. 133, где металл и/или металлический сплав содержат железо, сплав на основе железа, нержавеющей сталь, цветной металл, сплав на основе цветного металла, алюминий, латунь, бронзу, медь, цинк, олово и/или монетный сплав.

135. Способ по любому из пп. 133-134, где оксид металлов включает оксид кальция, оксид магния, оксид стронция, оксид марганца, оксид железа, оксид кобальта, оксид никеля, оксид цинка, оксид кадмия, оксид свинца, диоксид кремния и/или оксид алюминия.

136. Способ по любому из пп. 133-135, где металлическая соль включает карбонат металла.

137. Система по п. 136, где карбонат металла включает карбонат кальция, карбонат магния, карбонат бария, карбонат стронция, карбонат марганца, карбонат железа, карбонат кобальта, карбонат цинка, карбонат кадмия, карбонат свинца и/или карбонат никеля.

138. Система по любому из пп. 130-137, где реакция осаждения включает осаждение гидроксида металла.

139. Система по п. 138, где гидроксид металла включает гидроксид кальция, гидроксид магния, гидроксид бария, гидроксид стронция, гидроксид марганца, гидроксид железа, гидроксид кобальта, гидроксид цинка, гидроксид кадмия, гидроксид свинца и/или гидроксид никеля.

140. Система по любому из пп. 130-139, где кислота характеризуется концентрацией,

составляющей более чем или ровно 0,1 моль/л.

141. Система по любому из пп. 130-140, где кислота характеризуется концентрацией, составляющей более чем или ровно 1 моль/л.

142. Система по любому из пп. 130-141, где кислота характеризуется концентрацией, составляющей менее чем или ровно 12 моль/л.

143. Система по любому из пп. 130-142, где основание характеризуется концентрацией, составляющей более чем или ровно 0,1 моль/л.

144. Система по любому из пп. 130-143, где основание характеризуется концентрацией, составляющей более чем или ровно 1 моль/л.

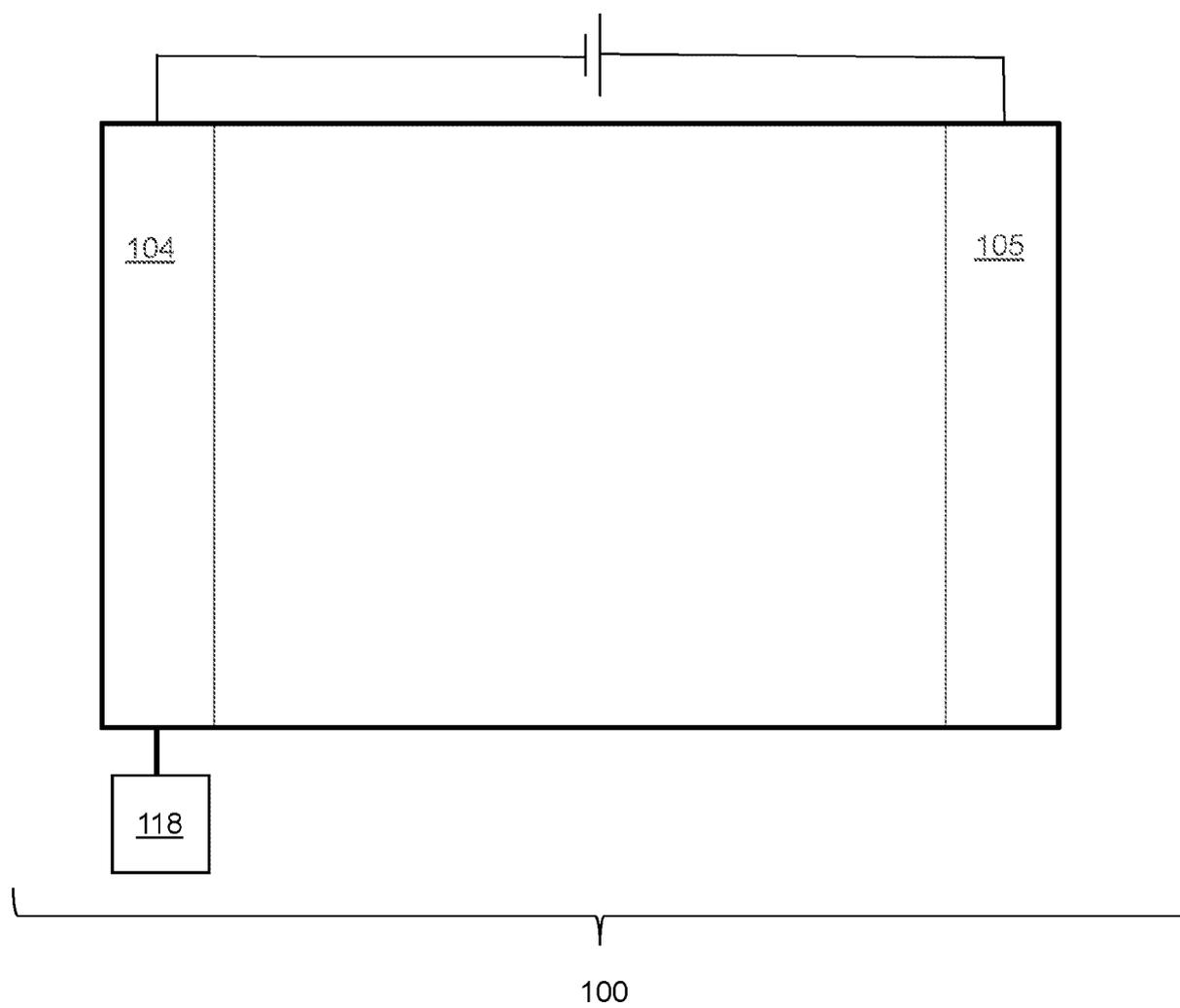
145. Система по любому из пп. 130-144, где основание характеризуется концентрацией, составляющей менее чем или ровно 25 моль/л.

146. Система по любому из пп. 130-145, где первый аппарат конфигурируют для проведения химического растворения при использовании кислоты.

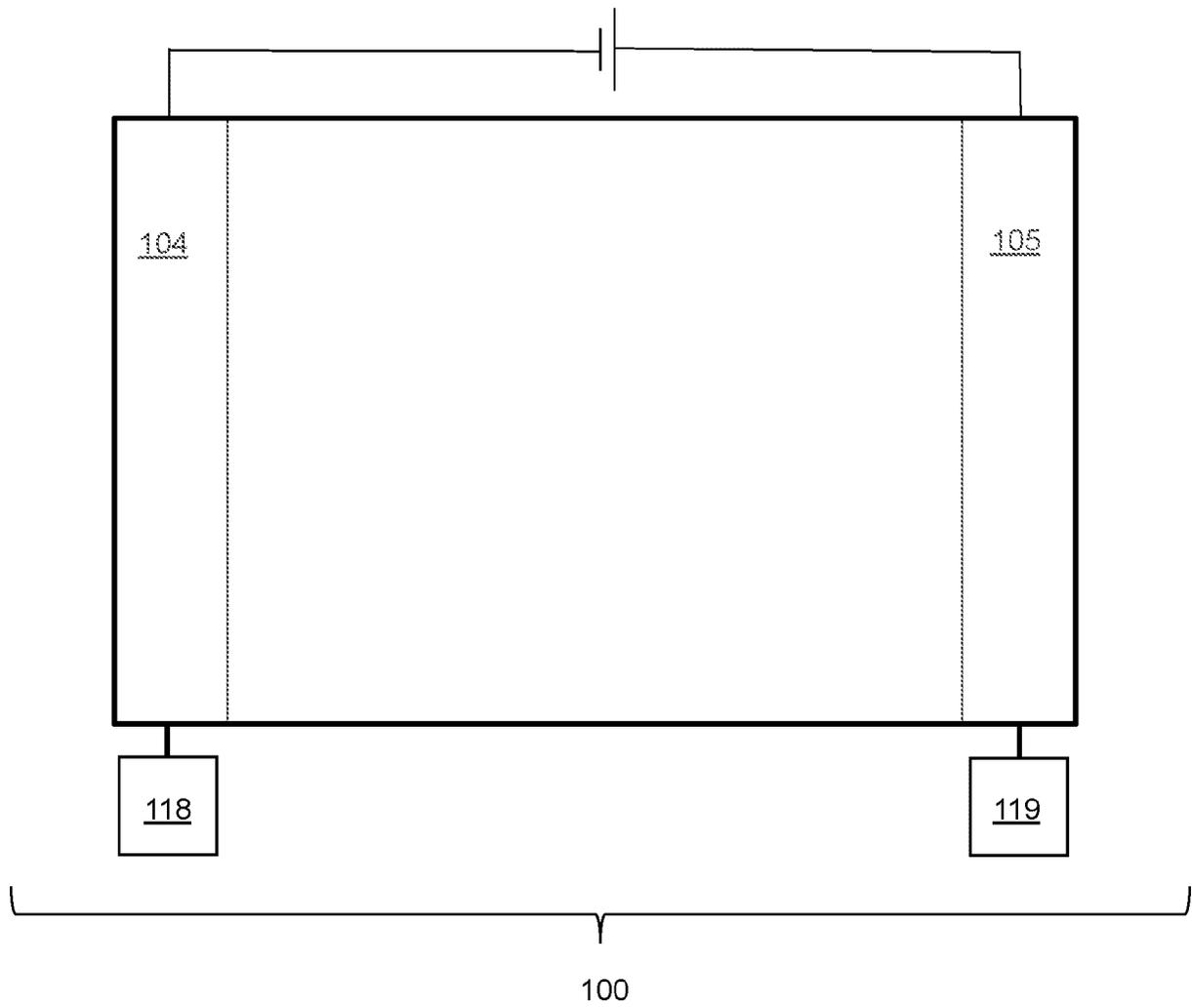
147. Система по любому из пп. 130-146, где первый аппарат конфигурируют для проведения реакции осаждения при использовании кислоты.

148. Система по любому из пп. 130-147, где второй аппарат конфигурируют для проведения химического растворения при использовании основания.

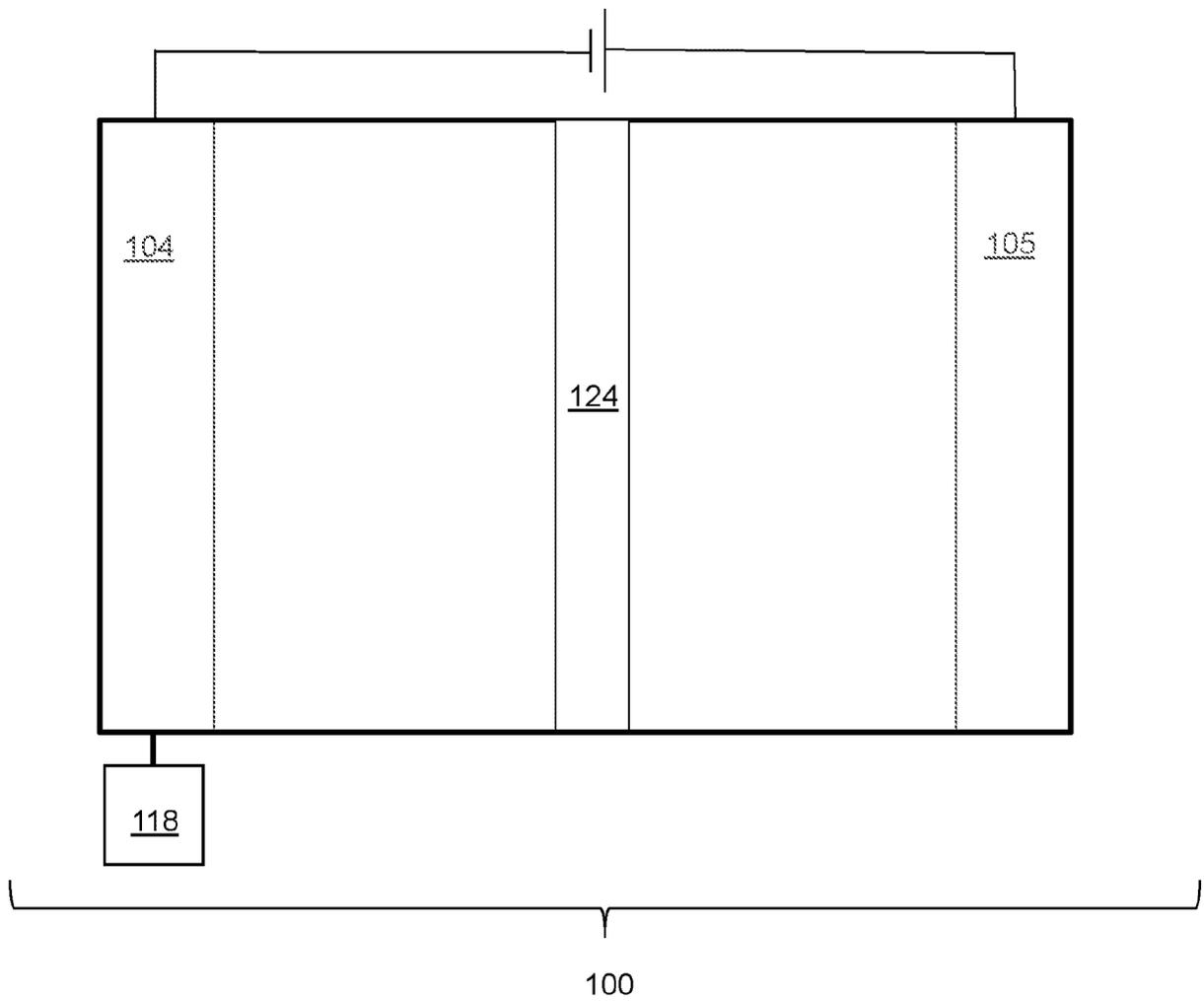
149. Система по любому из пп. 130-148, где второй аппарат конфигурируют для проведения реакции осаждения при использовании основания.



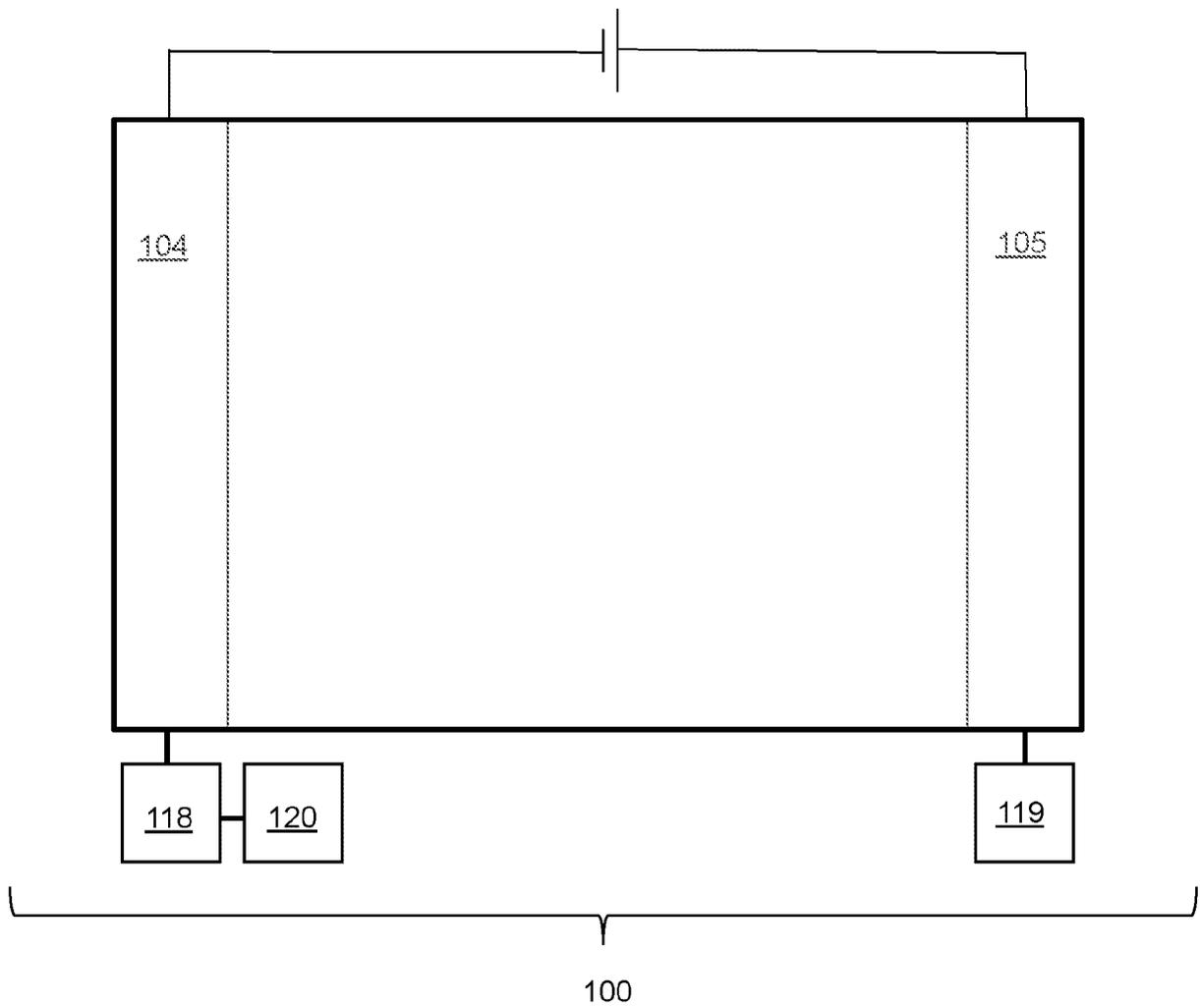
ФИГ. 1А



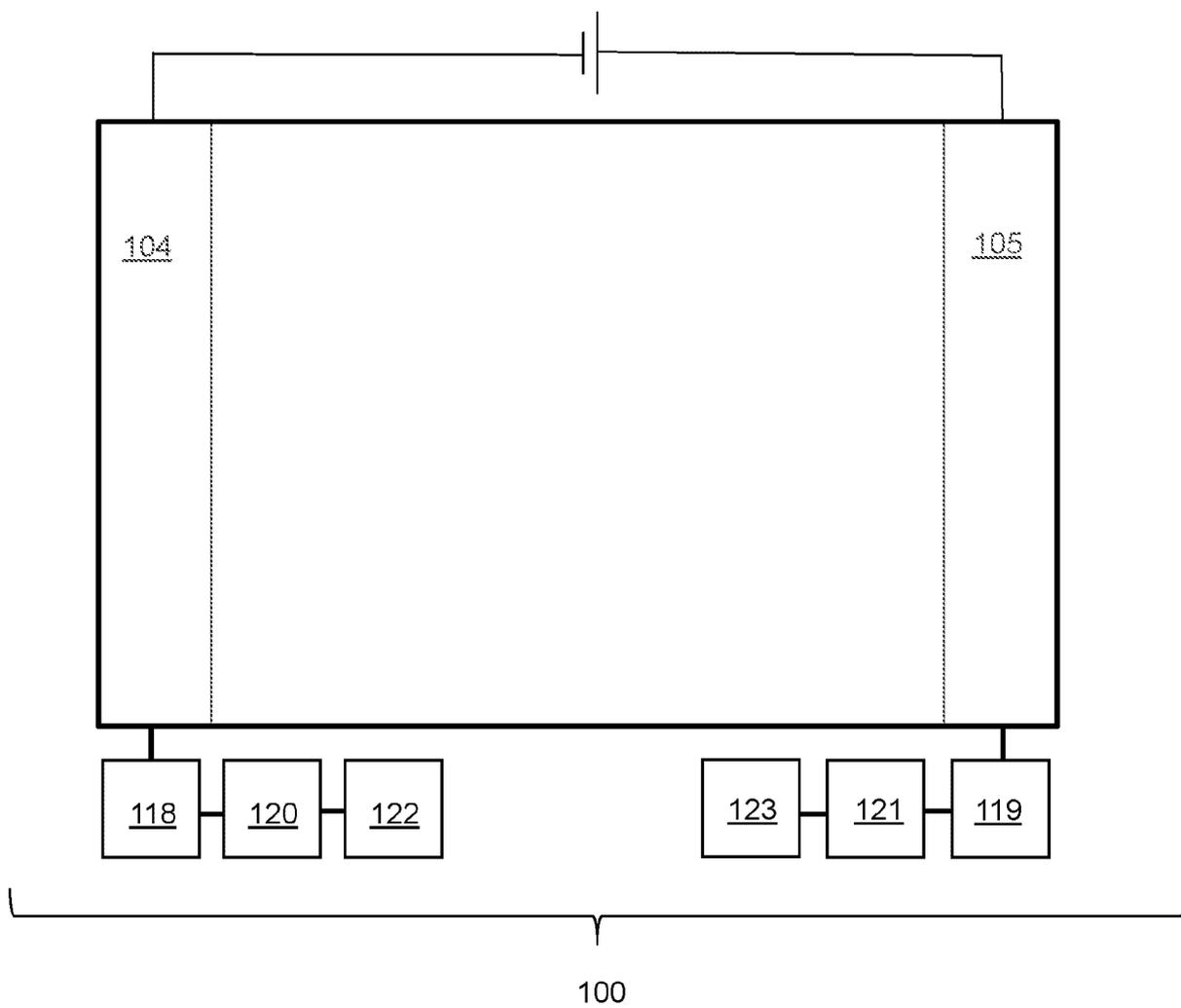
ФИГ. 1В



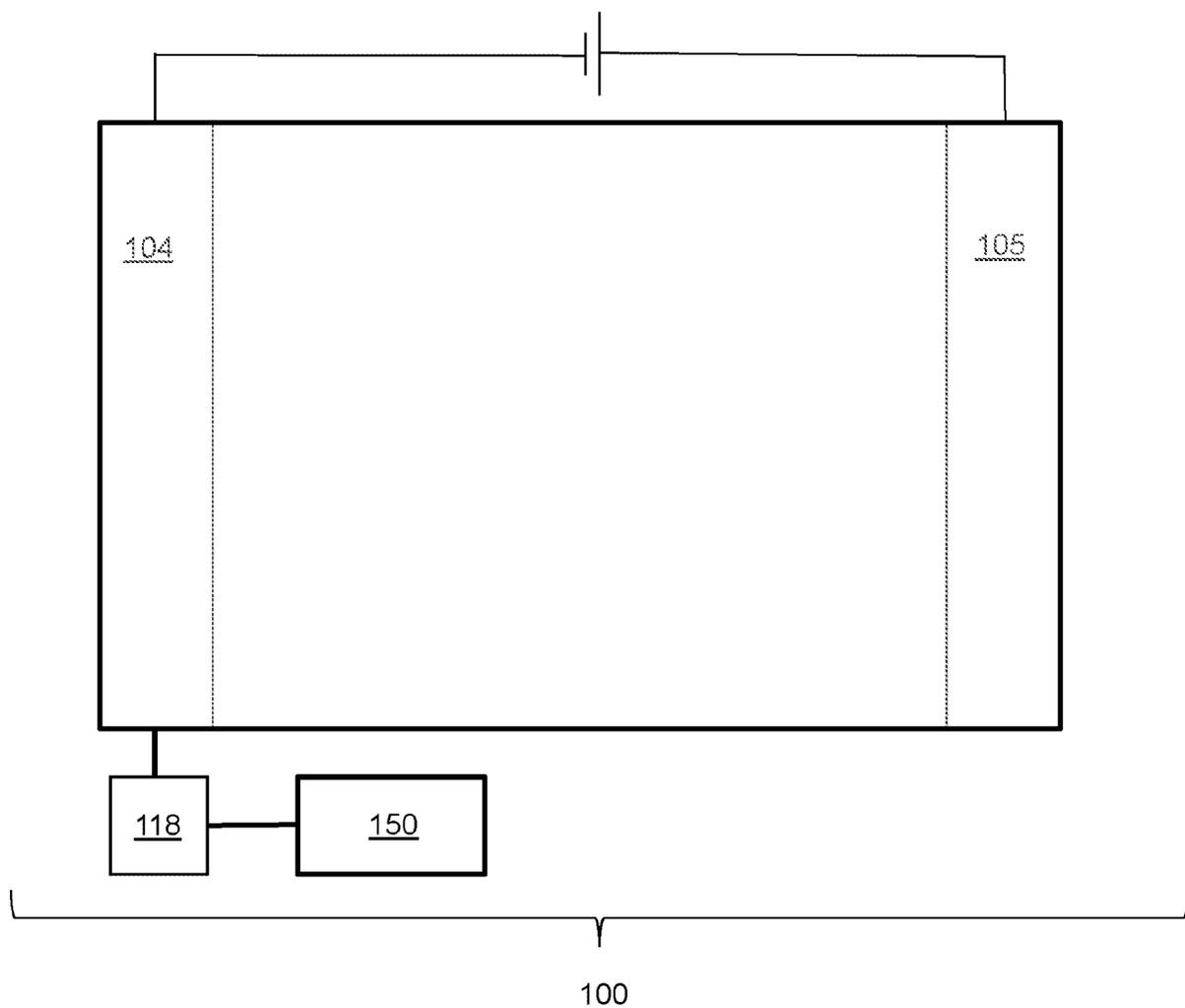
ФИГ. 1С



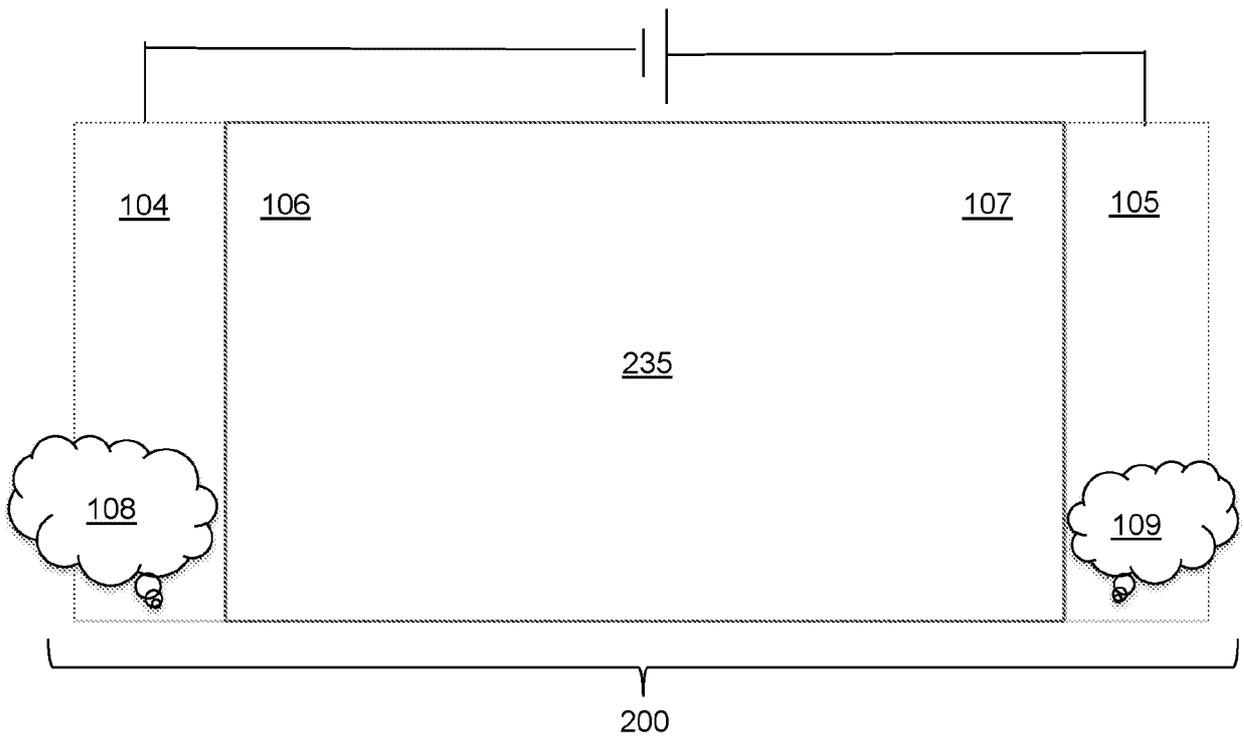
ФИГ. 1D



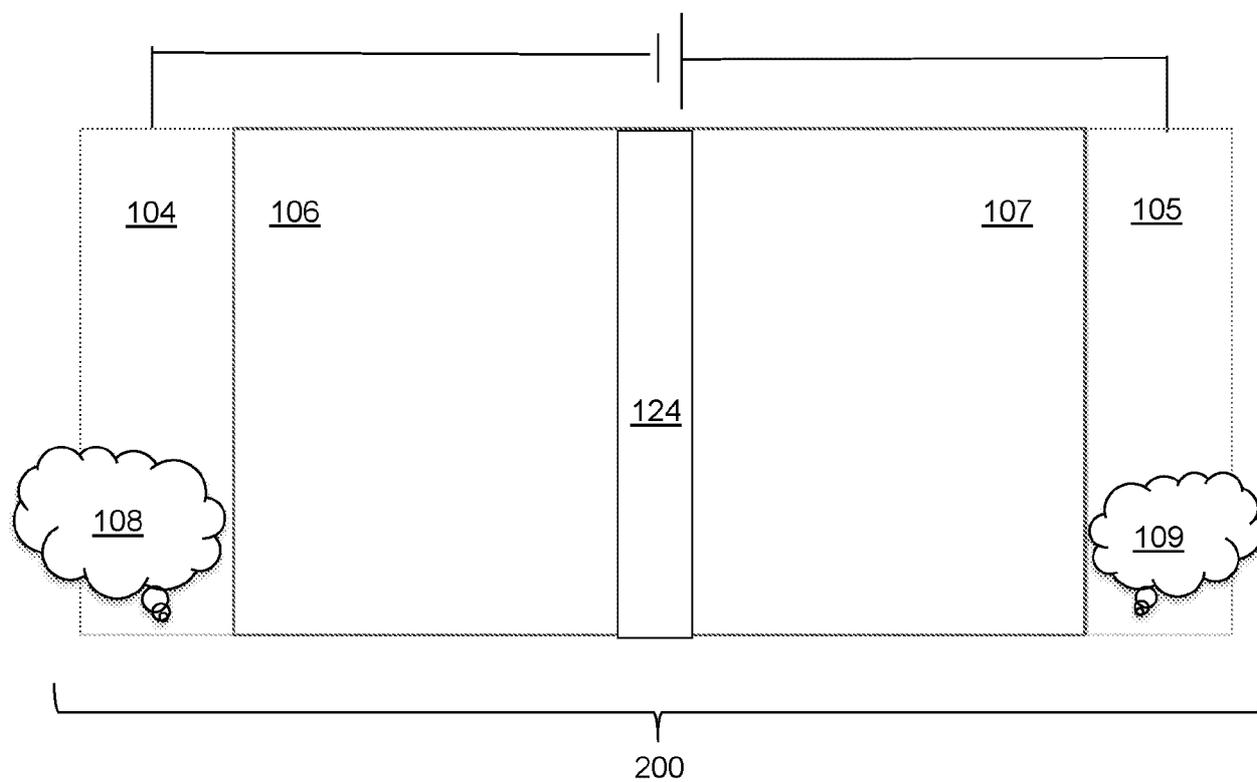
ФИГ. 1Е



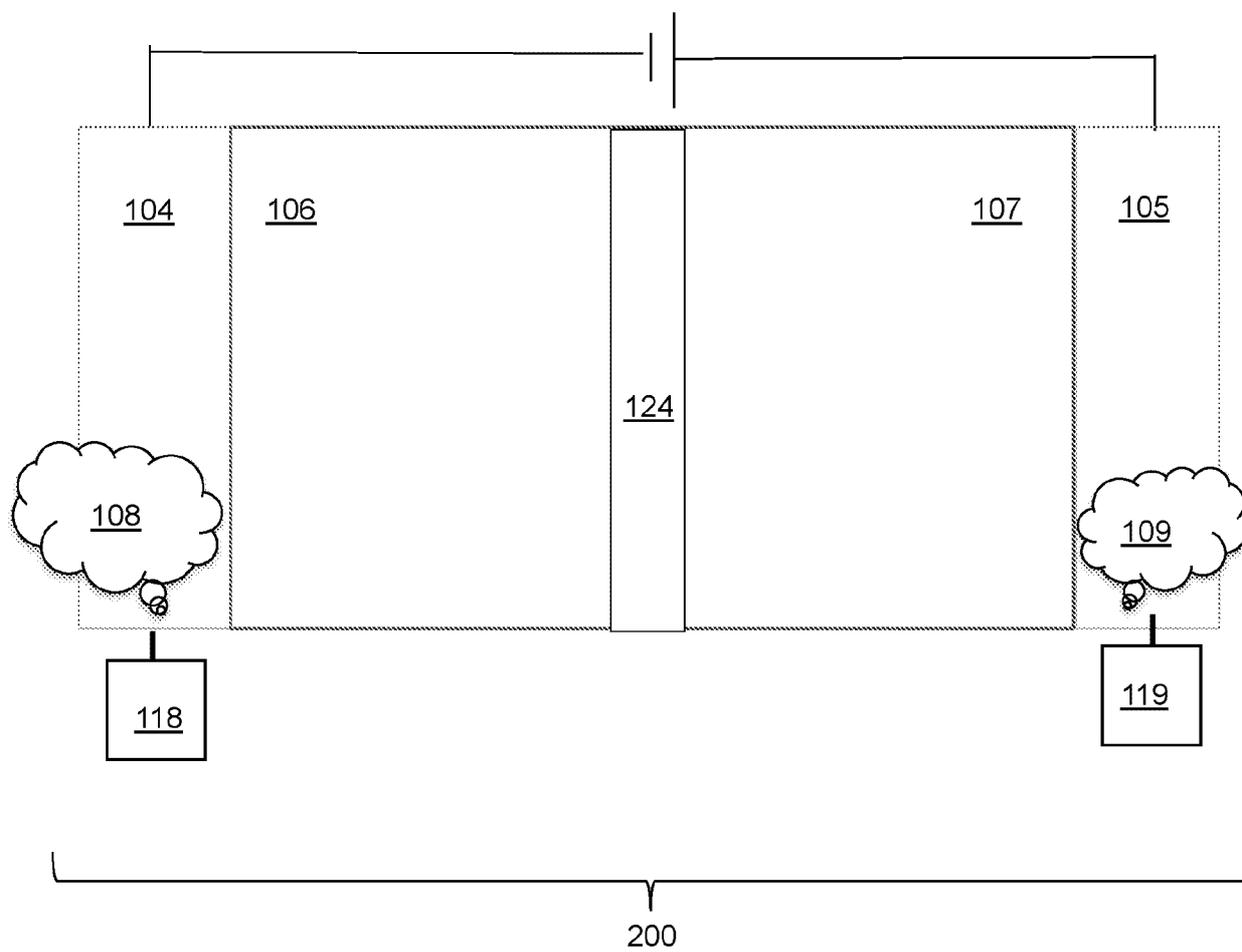
ФИГ. 1F



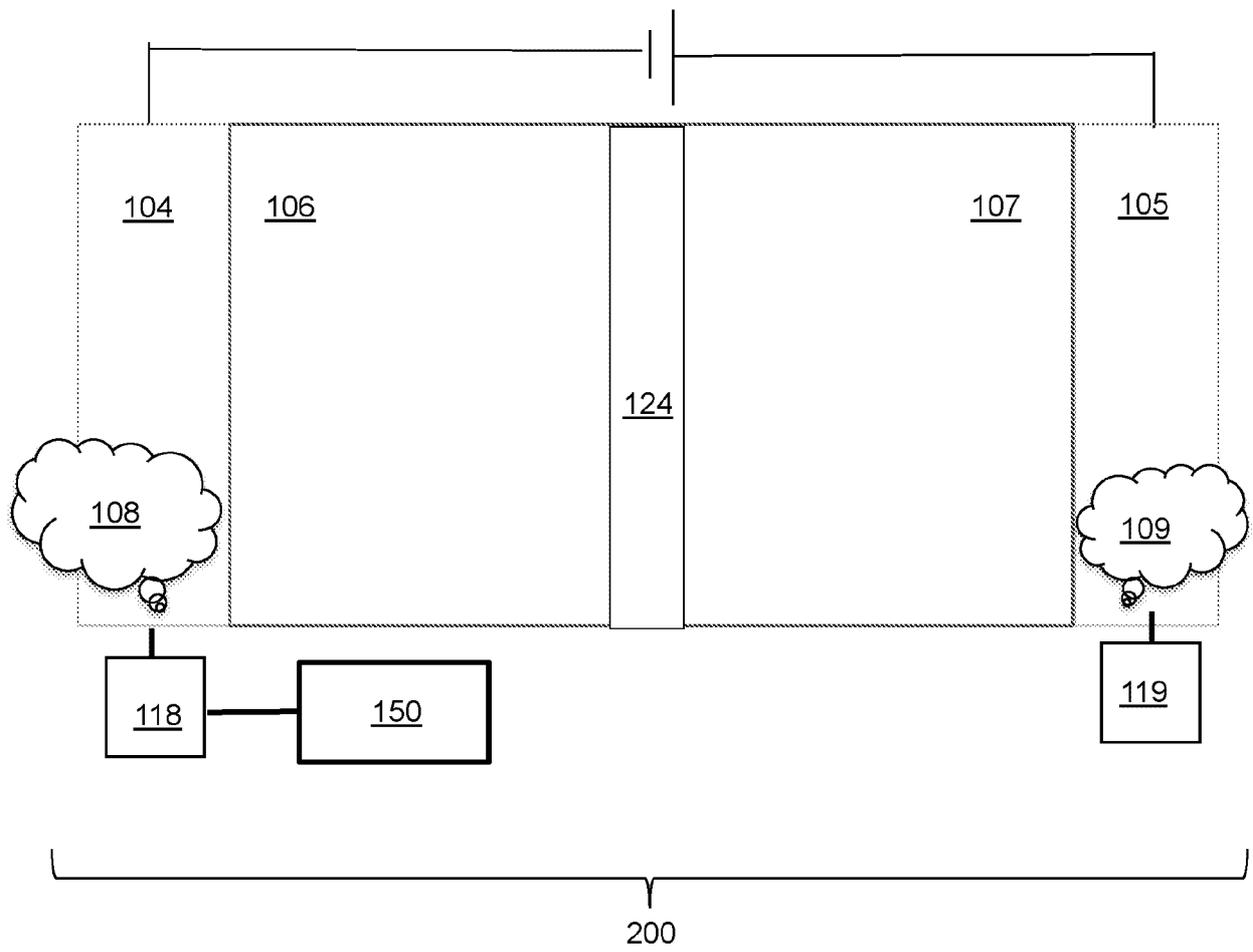
ФИГ. 2А



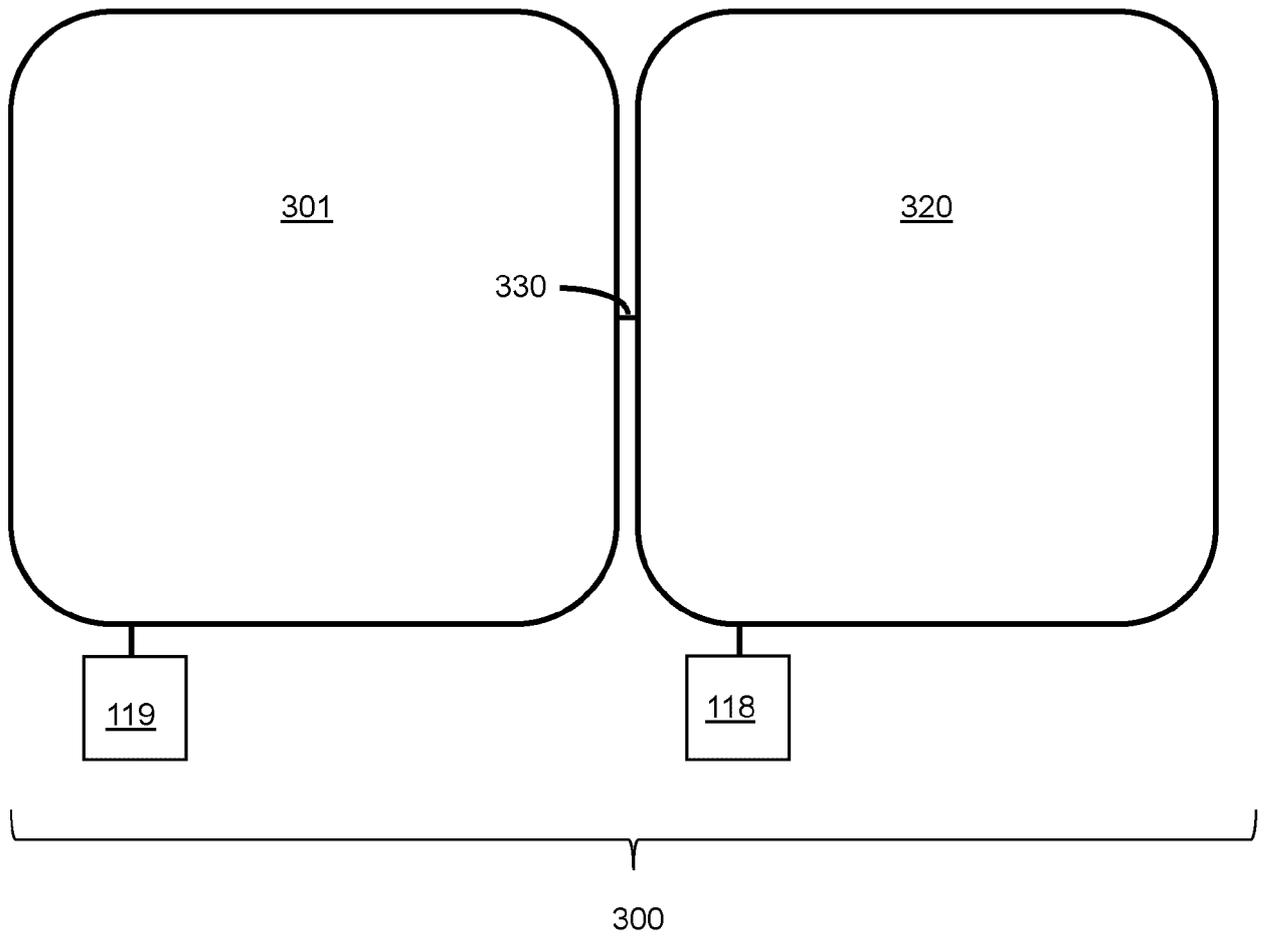
ФИГ. 2В



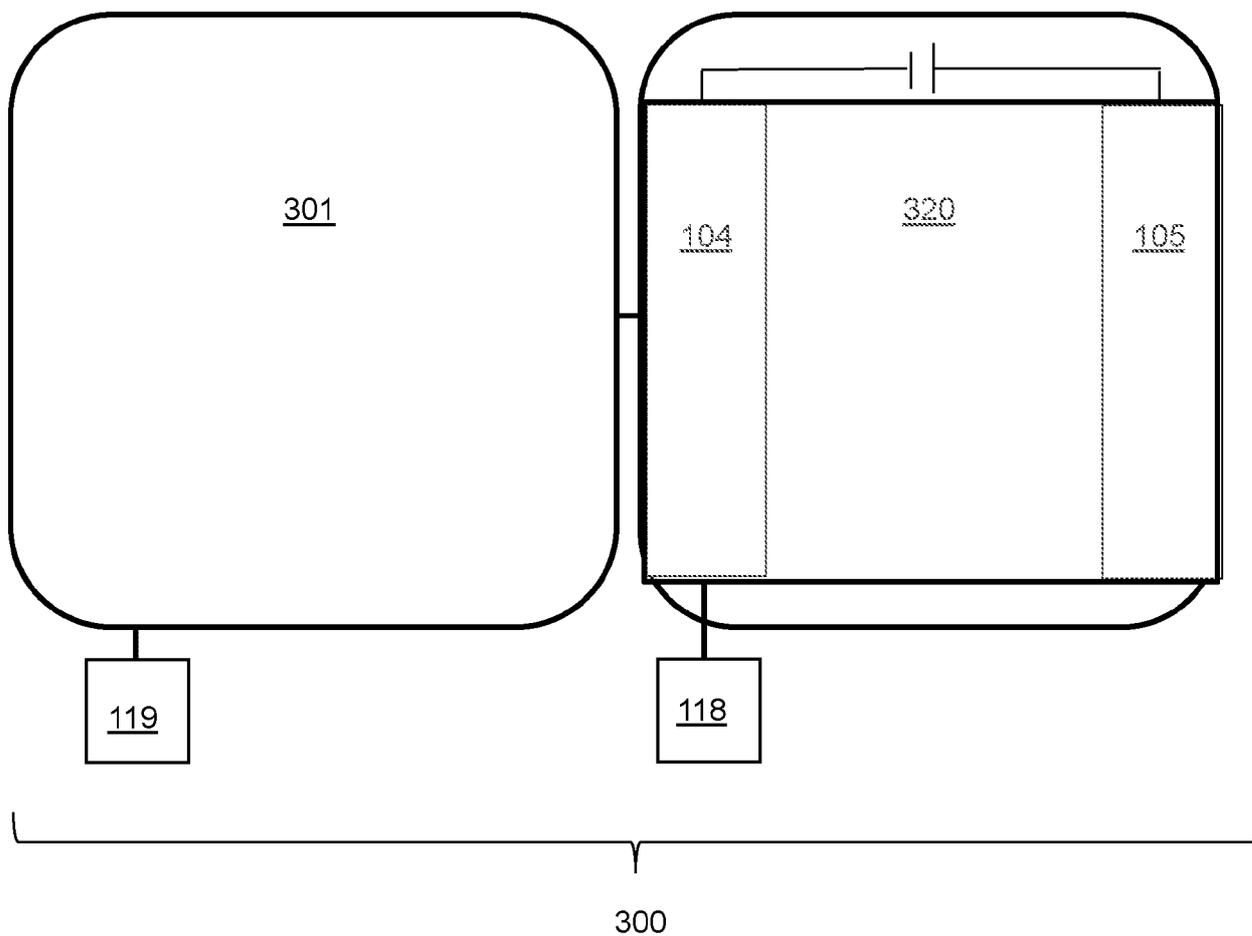
ФИГ. 2С



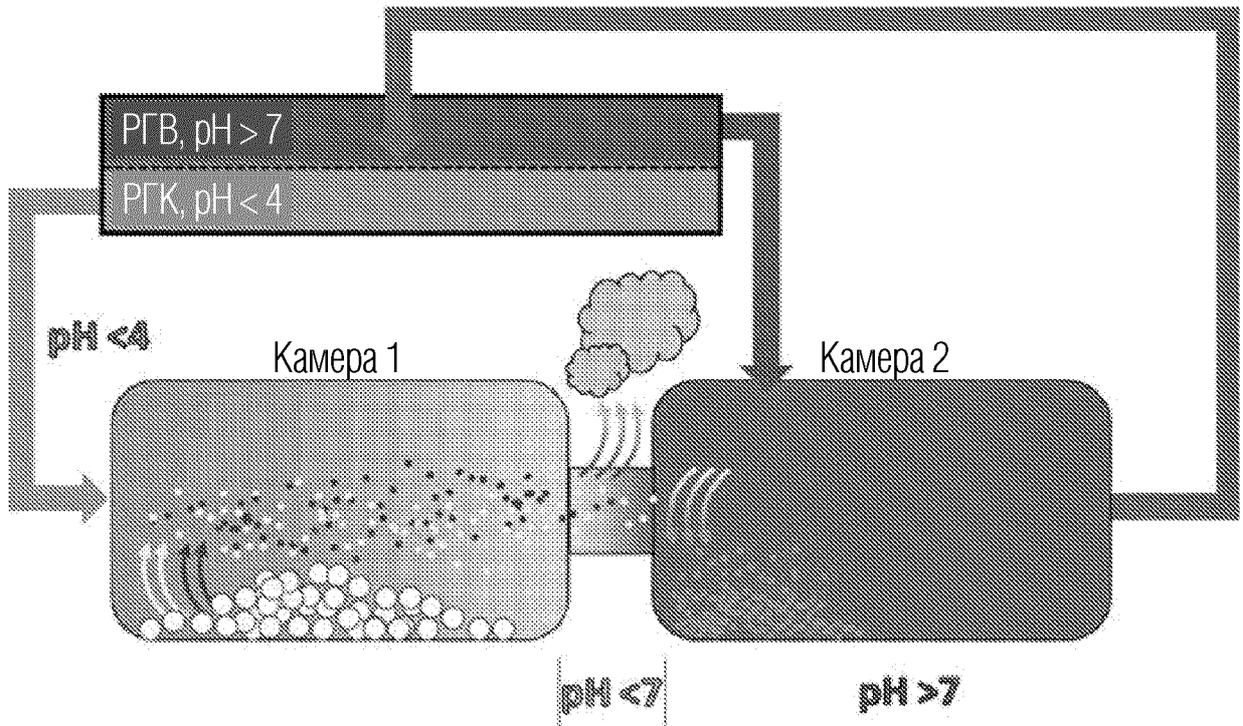
ФИГ. 2D



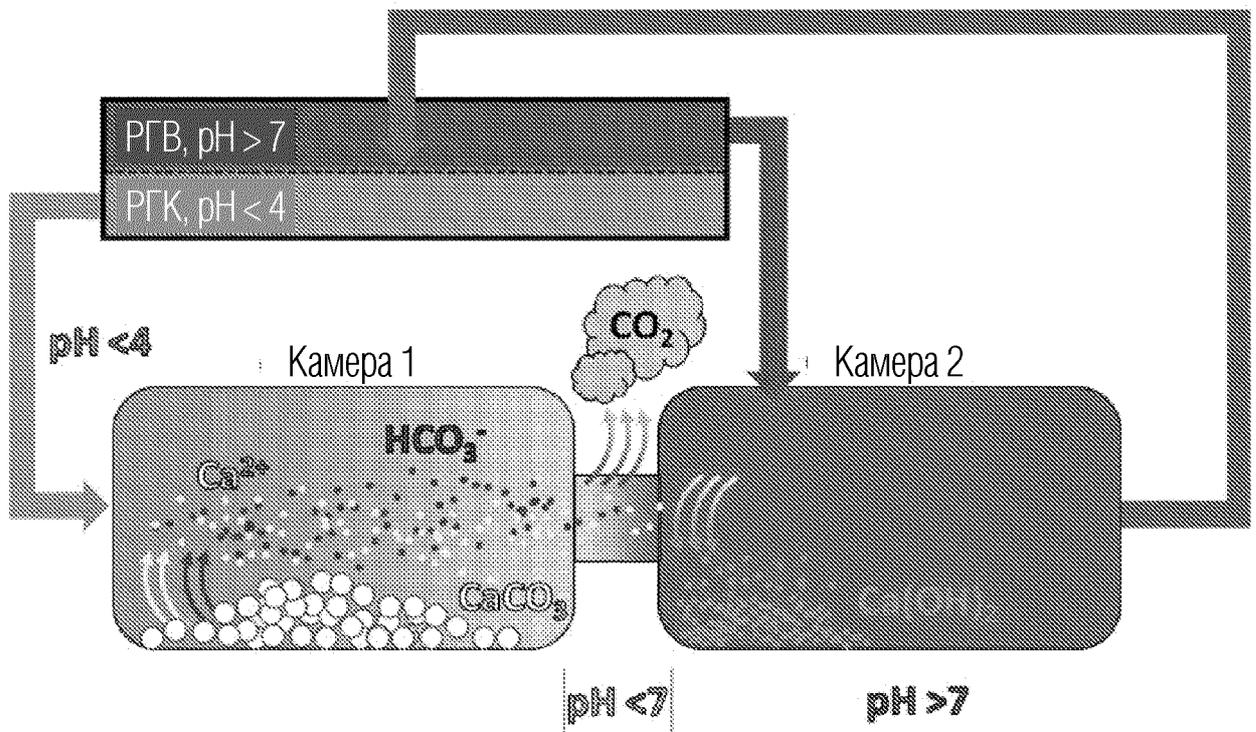
ФИГ. 3А



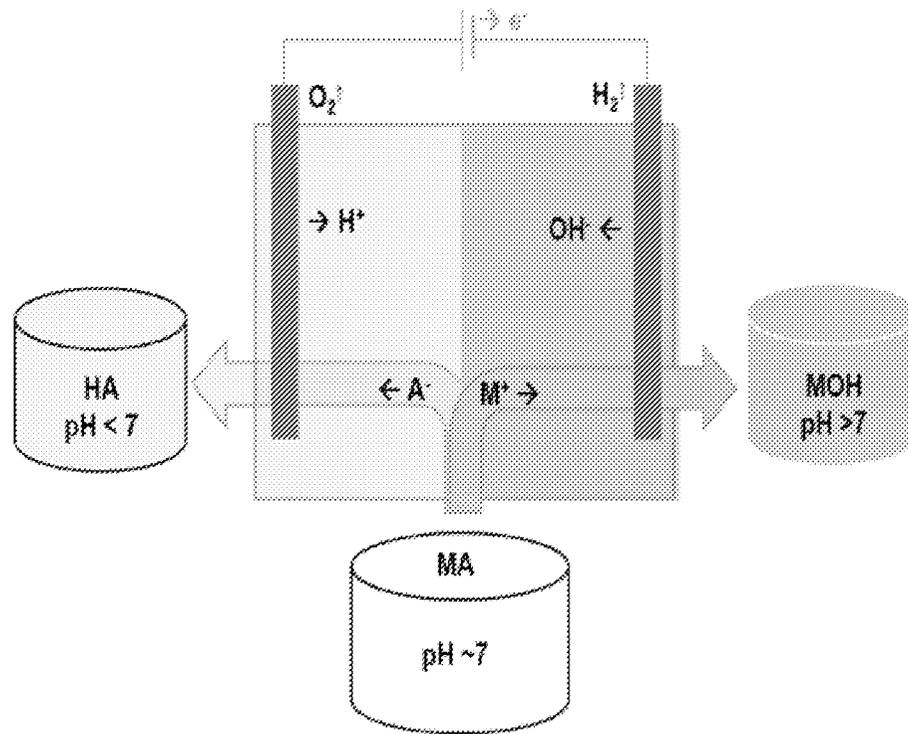
ФИГ. 3В



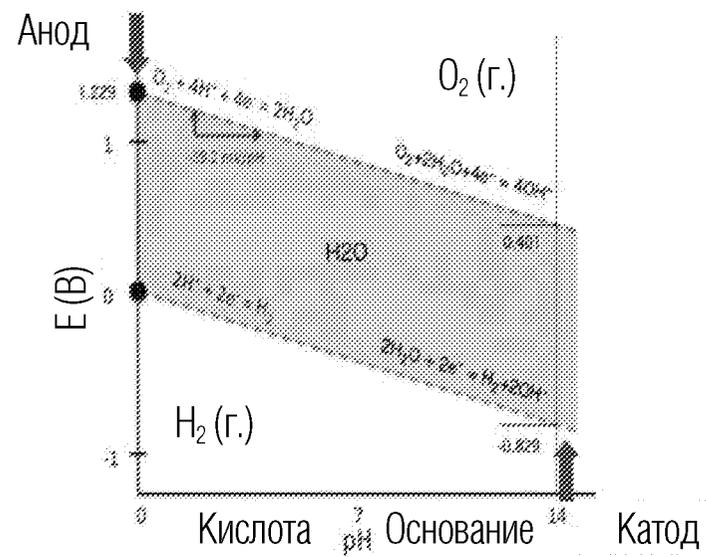
ФИГ. 4А



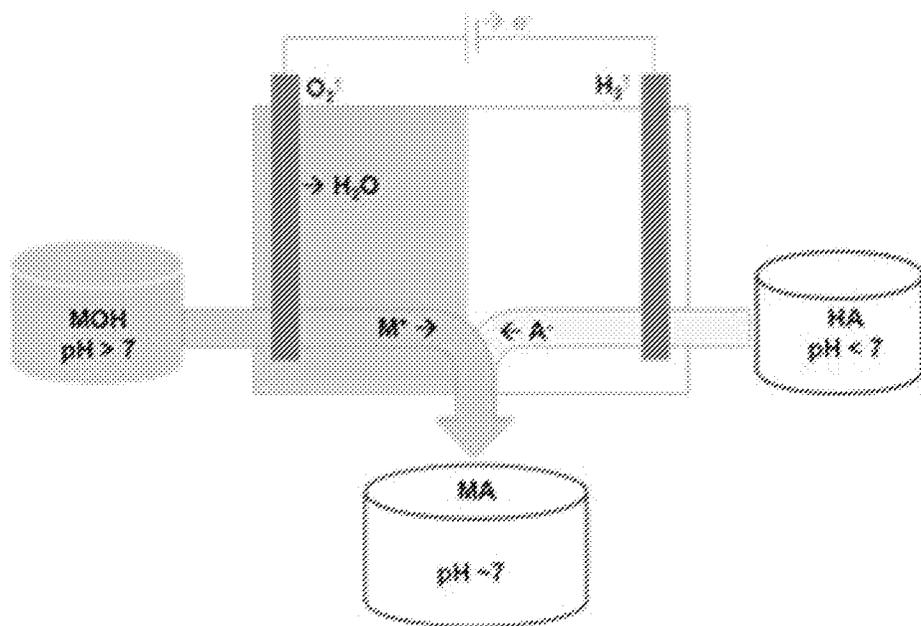
ФИГ. 4В



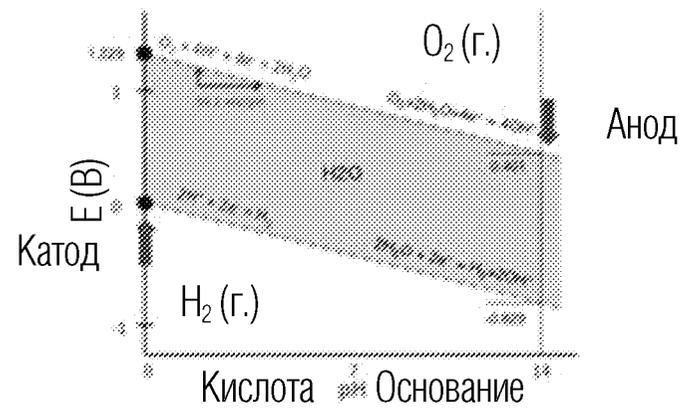
ФИГ. 5А



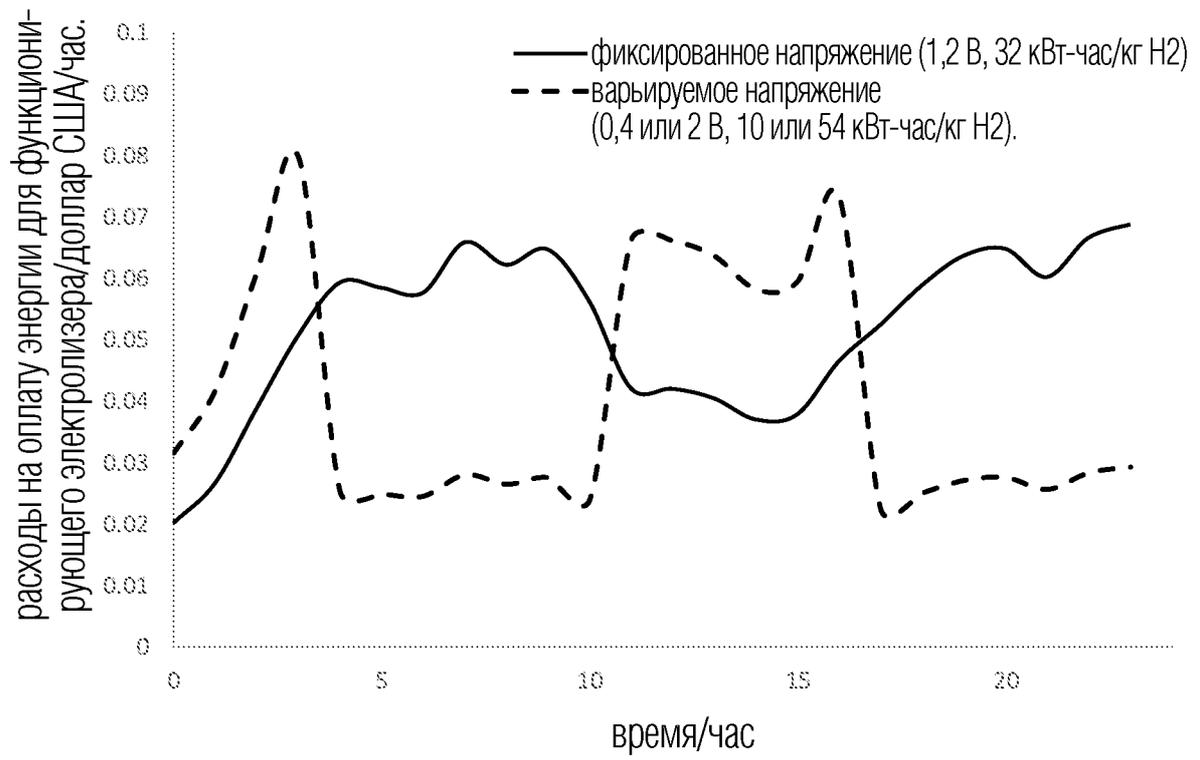
ФИГ. 5В



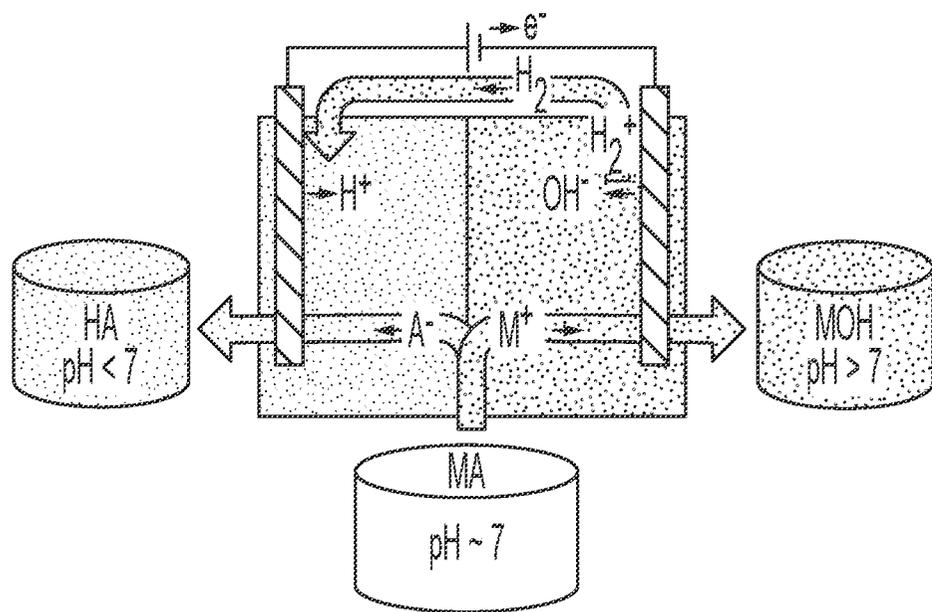
ФИГ. 6А



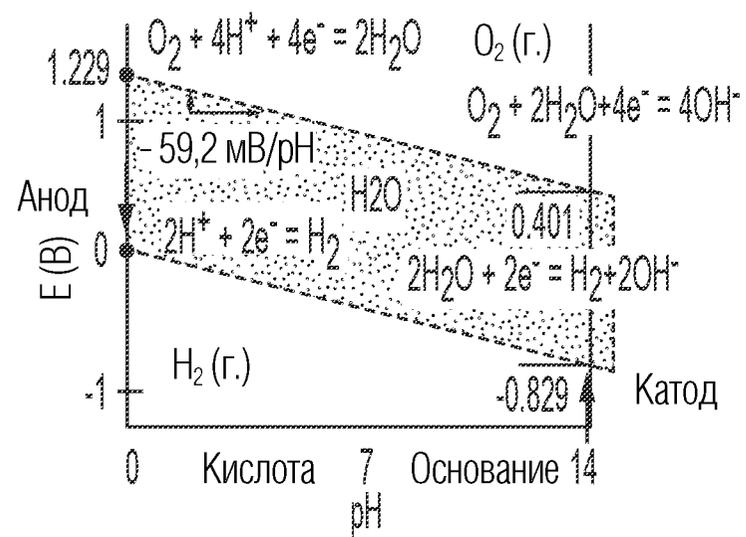
ФИГ. 6В



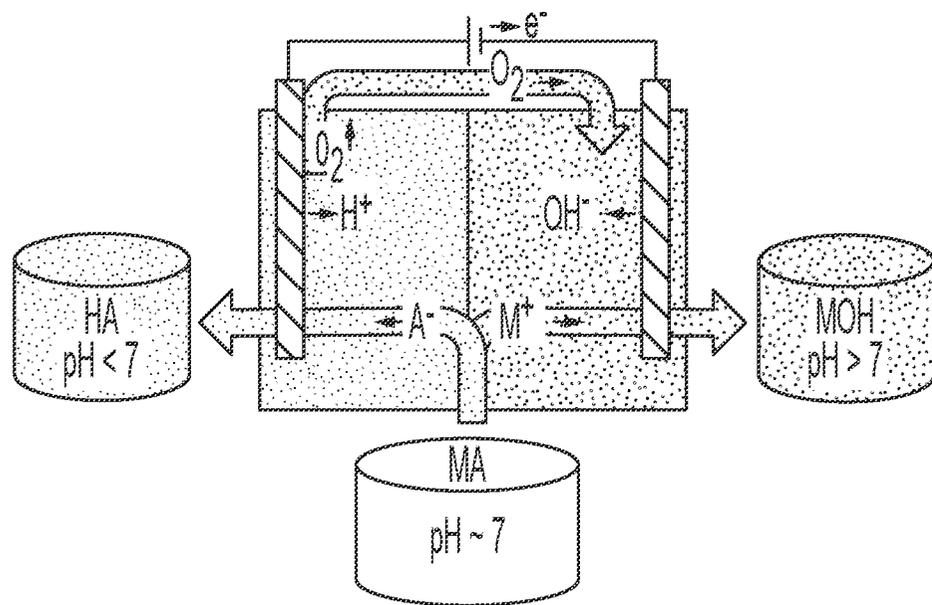
ФИГ. 7



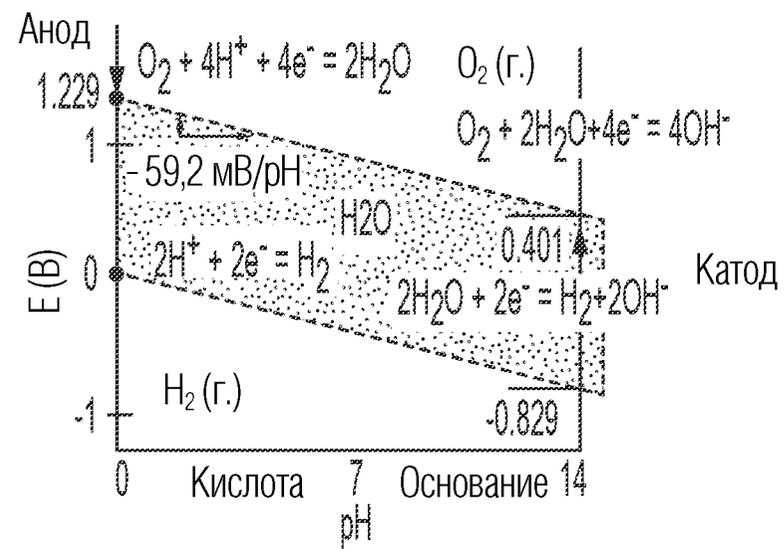
ФИГ. 8А



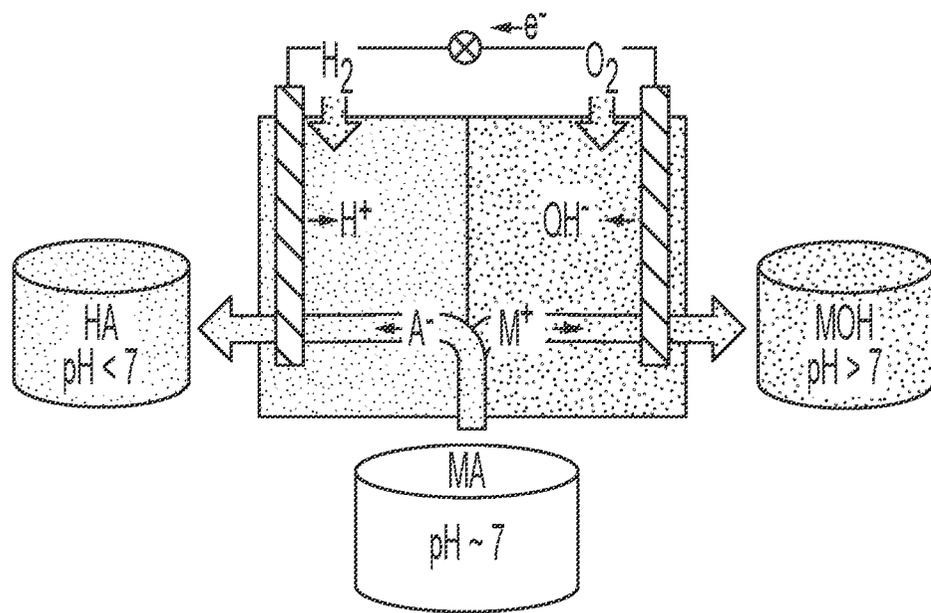
ФИГ. 8В



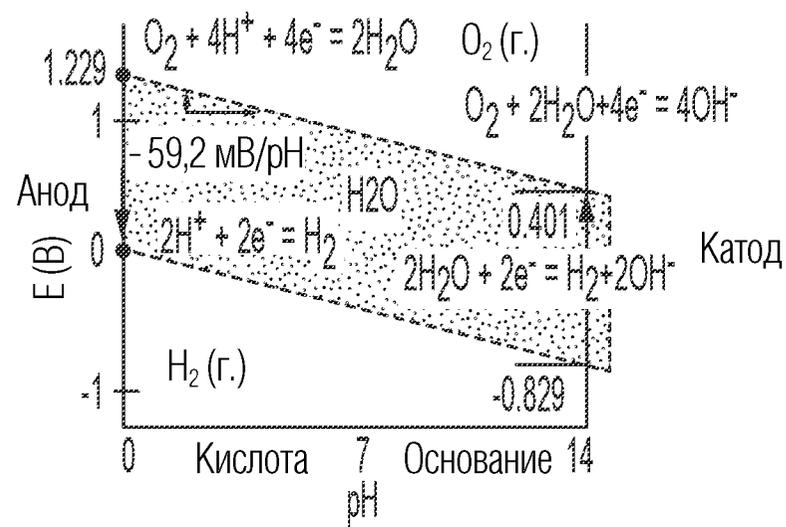
ФИГ. 9А



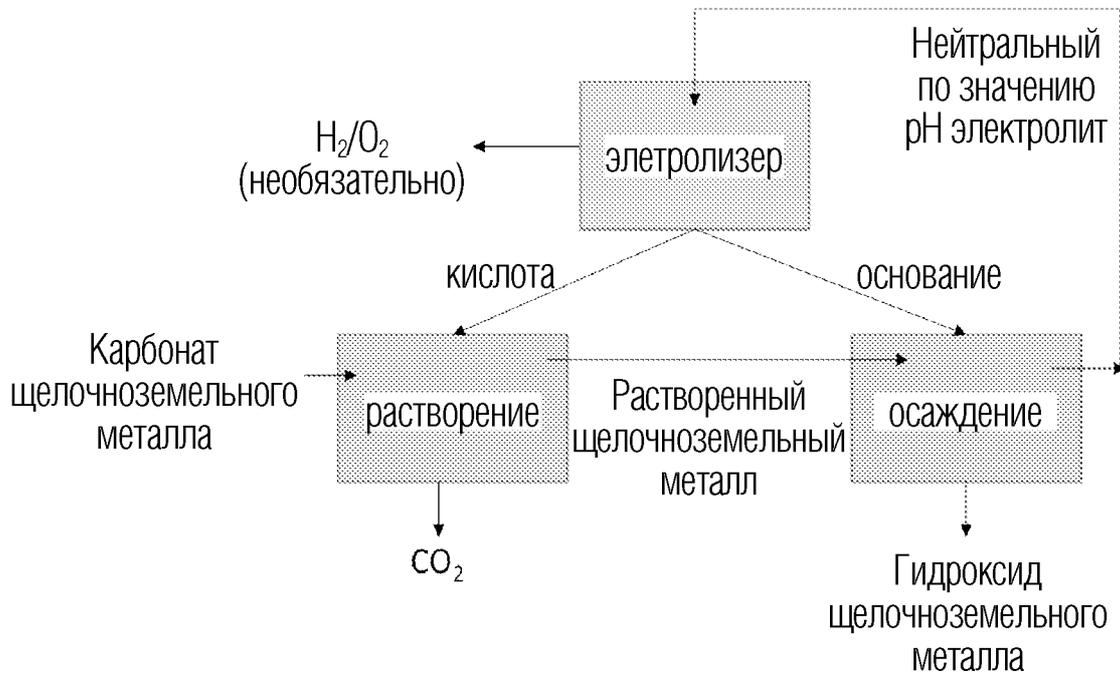
ФИГ. 9В



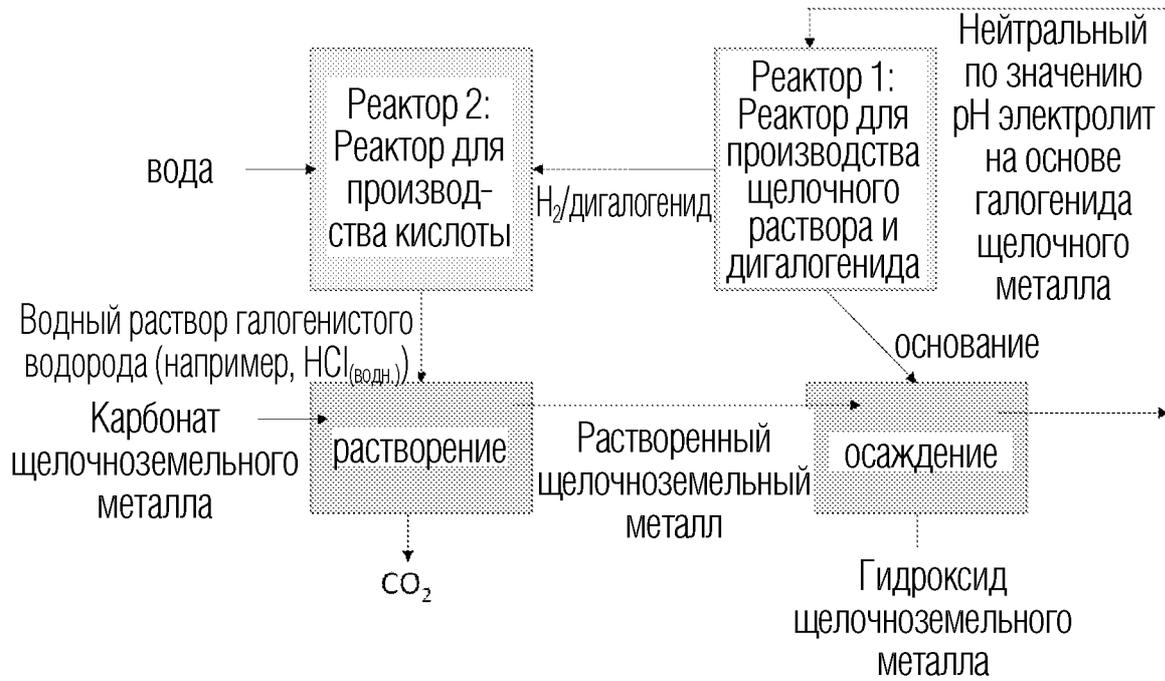
ФИГ. 10А



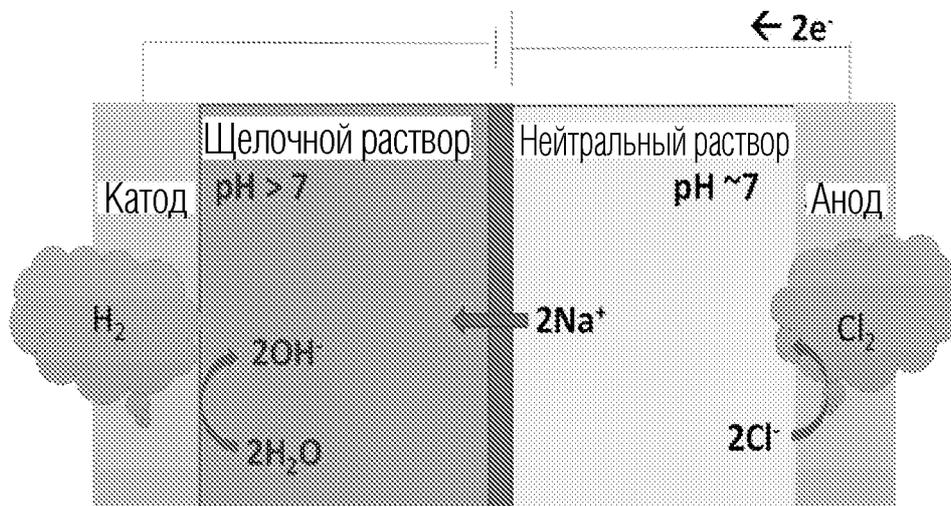
ФИГ. 10В



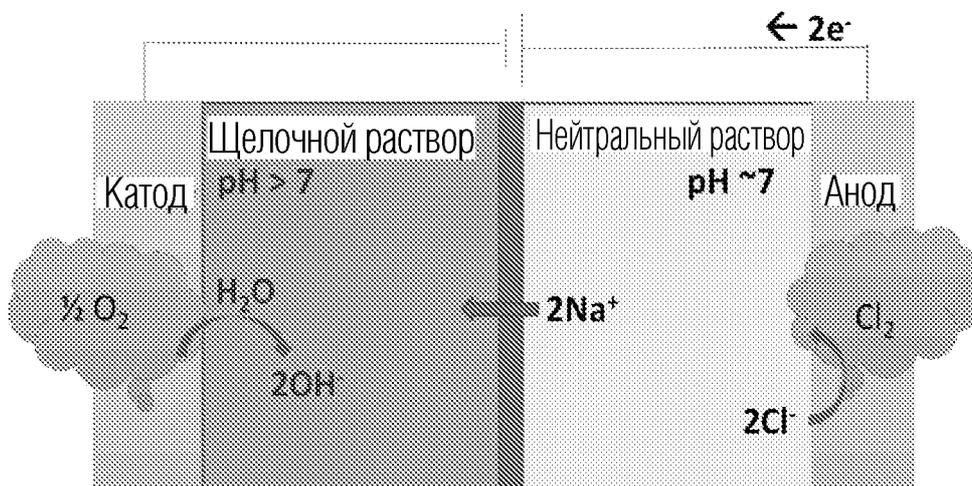
ФИГ. 11



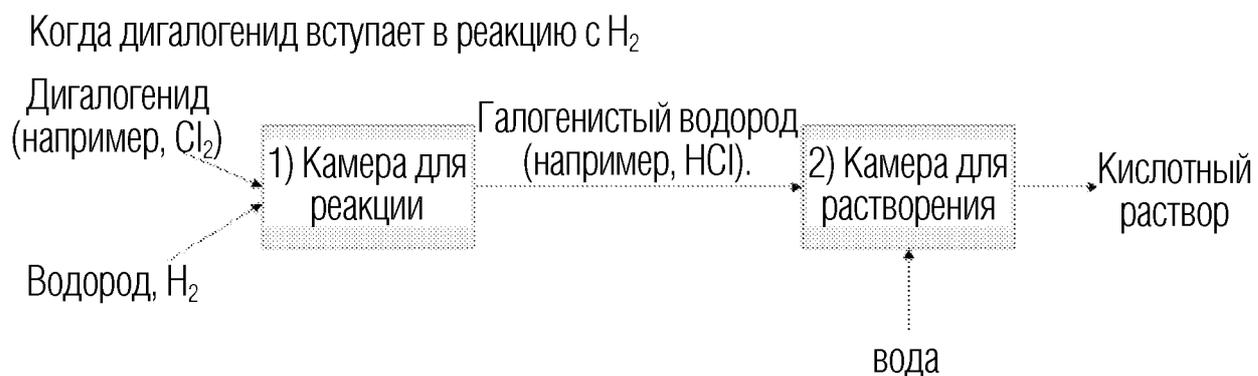
ФИГ. 12



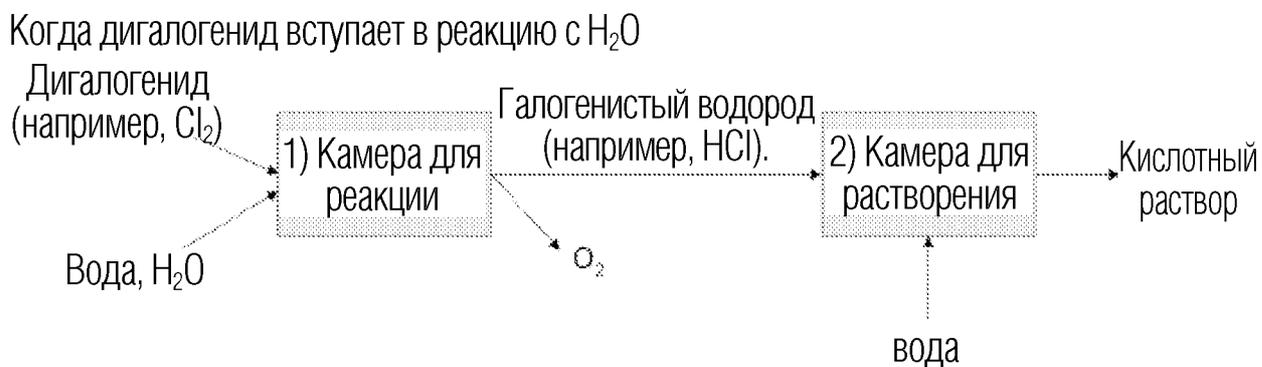
ФИГ. 13А



ФИГ. 13В



ФИГ. 14А



ФИГ. 14В