

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037348**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.03.16

(51) Int. Cl. **H01M 6/34 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201791317

(22) Дата подачи заявки
2016.02.17

(54) ЯЧЕЙКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХЛОРИРОВАНИЯ, ИМЕЮЩАЯ УМЕНЬШЕННЫЙ ОБЪЕМ, И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(31) 62/116,979; 62/157,504

(56) US-A1-20140115877

(32) 2015.02.17; 2015.05.06

US-A1-20050048364

(33) US

US-A-4587001

(43) 2018.03.30

US-A1-20130236763

(86) PCT/US2016/018210

US-A-3775182

(87) WO 2016/133983 2016.08.25

US-A1-20080245662

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

US-A1-20010042682

**ЭВОКУА УОТЕР ТЕКНОЛОДЖИЗ
ЛЛК (US)**

US-A1-20100219077

US-A1-20050224258

US-A-5426570

US-A1-20040115511

(72) Изобретатель:

**Бедоус Пол (GB), Лян Ли-Шиан
(US), Грин Эндрю (GB), Телепсиак
Джейкоб, Гриффис Джошуа В., Дьюкс
Саймон (US)**

(74) Представитель:

**Новоселова С.В., Липатова И.И.,
Дощечкина В.В., Хмара М.В.,
Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г., Осипов
К.В. (RU)**

(57) Электрохимическая ячейка включает корпус, имеющий впускное отверстие, выпускное отверстие и центральную ось, а также пару анод-катод, размещенную в корпусе концентрически относительно центральной оси и ограничивающую активную область, находящуюся между анодом и катодом в паре анод-катод. Площадь активной поверхности по меньшей мере одного из электродов, анода и катода, составляет площадь поверхности, превышающую площадь внутренней поверхности корпуса. Конфигурация и размещение пары анод-катод позволяет направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в осевом направлении через активную область.

B1

037348

037348

B1

Перекрестные ссылки на родственные заявки

Согласно п.35 U.S.C. §119(e) настоящая заявка претендует на приоритет предварительной патентной заявки US 62/116979, озаглавленной "ELECTROCHLORINATION CELLS WITH SPIRAL ELECTRODES AND METHODS OF MANUFACTURING SAME (Ячейки для электрохлорирования со спиральными электродами и способы их изготовления)", поданной 17 февраля 2015 г., и предварительной патентной заявки US 62/157504, озаглавленной "ELECTROCHLORINATION CELLS WITH MULTITUBE ELECTRODES AND METHODS OF MANUFACTURING SAME (Ячейки для электрохлорирования, включающие множество трубчатых электродов, и способы их изготовления)", поданной 6 мая 2015 г. Каждая из этих заявок полностью включена в настоящее описание для всех целей посредством ссылки.

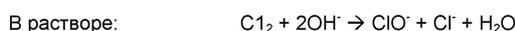
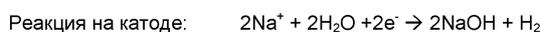
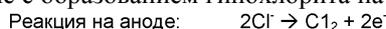
Область техники

Рассмотренные в настоящем описании аспекты и примеры осуществления в основном относятся к электрохимическим устройствам и, в частности, к ячейкам и устройствам для электрохлорирования, способам их изготовления и системам, в которых их применяют.

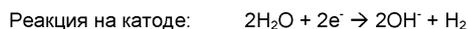
Предшествующий уровень техники

Электрохимические устройства, принцип действия которых основан на химических реакциях, протекающих на электродах, широко применяются в промышленности и отраслях бытового обслуживания. Примеры реакций включают:

А. Электрохлорирование с образованием гипохлорита натрия из хлорида натрия и воды



В. Образование гидроксида натрия и хлора из хлорида натрия и воды, при наличии катионообменной мембраны, разделяющей анод и катод



С. Окислительно-восстановительная ванадиевая батарея для хранения энергии, снабженная проницаемой для протонов мембраной, разделяющей электроды во время зарядки



во время разрядки



В настоящем описании рассмотрены различные примеры осуществления ячеек для электрохлорирования и устройств для электрохлорирования; однако, настоящее изобретение не ограничено ячейками или устройствами для электрохлорирования, и аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, применимы к электролитическим и электрохимическим ячейкам, применяемым для любой из множества целей.

Существующие в настоящее время коммерчески доступные ячейки для электрохлорирования обычно имеют одну из конструкций, состоящих из двух электродов: конструкцию, состоящую из концентрических трубок (англ. concentric tubes, сокращенно "СТЕ"), и конструкцию, состоящую из параллельных пластин (англ. parallel plates, сокращенно "РРЕ").

На фиг. 1А и 1В представлен пример ячейки 100 для электрохлорирования, снабженной концентрическими трубчатыми электродами 102, 104, изготавливаемой Electrocatalytic Ltd. Внутренняя поверхность внешних трубчатых электродов 102 и внешняя поверхность внутреннего трубчатого электрода 104 представляют собой активные области электродов. Зазор (пространство) между электродами составляет приблизительно 3,5 мм. При работе в условиях моря и прибрежной полосы с применением в качестве подаваемого материала морской воды скорость жидкости в зазоре в осевом (аксиальном) направлении может составлять порядка 2,1 м/с, что приводит к высокой турбулентности течения, позволяющей снижать вероятность загрязнения и образования отложений на поверхностях электродов.

На фиг. 2А-2С представлено возможное расположение электродов в электрохимической ячейке с СТЕ. На фиг. 2А показано расположение, при котором электрический ток течет в однопроходном режиме от анода к катоду. Оба электрода обычно изготовлены из титана, и на анод нанесено покрытие из платины или смешанных оксидов металлов (англ. mixed metal oxide, сокращенно ММО). Эти электроды назы-

ваются "моноплярными (однополярными, однополюсными, англ. monopolar)".

На фиг. 2В показана конструкция, в которой электрический ток течет в двухпроходном режиме (за два прохода) через устройство, имеющее два внешних электрода и один внутренний электрод. Внутренняя поверхность одного из внешних электродов имеет покрытие, служащее анодом; другая не имеет покрытия. На часть внешней поверхности внутреннего электрода нанесено покрытие, которое также служит анодом, а оставшаяся часть не имеет покрытия. Электрический ток течет через электролит от внешнего электрода, имеющего покрытие, к той части внутреннего электрода, которая не имеет покрытия, вдоль внутреннего электрода к части с нанесенным покрытием и, наконец, обратно через электролит к внешнему электроду, не имеющему покрытия. Внутренний электрод также называется "биполярным" (или двухполярным, двухполюсным) электродом.

На фиг. 2С показана конструкция, в которой электрический ток течет в многопроходном режиме через устройство, имеющее множество внешних электродов и один внутренний электрод. Чередование внешних электродов, имеющих покрытие и не имеющих покрытия, и нанесение покрытия на внутренние электроды на соответствующих друг другу участках позволяет множество раз пропускать электрический ток в прямом и обратном направлениях через электролит.

Полезный эффект множественного прохождения состоит в том, что общая площадь электрода, доступная для протекания поверхностной электрохимической реакции, и, таким образом, общая скорость получения дезинфицирующего средства (например, гипохлорита натрия), может быть увеличена без пропорционального повышения действующего электрического тока. Повышение величины электрического тока потребовало бы подвода более крупных проводов или токопроводящих шин от источника постоянного тока к ячейке для электрохлорирования, более крупных электрических соединений на ячейке (зажимов (клемм) на внешней поверхности внешнего электрода в примере, показанном на фиг. 1А) и повышения толщины титанового материала на электродах.

При той же величине электрического тока многопроходные устройства будут иметь более высокую производительность, чем однопроходная ячейка, но при этом общее падение напряжения будет выше (приблизительно пропорционально количеству проходов). При той же величине производительности для многопроходной ячейки потребуются меньшая величина электрического тока (приблизительно обратно пропорционально количеству проходов). При одинаковой величине выходной мощности (кВт) стоимость источника тока может быть более чувствительна к величине выходного электрического тока, чем к величине выходного напряжения, что свидетельствует в пользу многопроходных ячеек.

В действительности многопроходные ячейки имеют недостатки. Например, часть электрического тока, называемая "током шунта", может непосредственно протекать от анода к катоду, не затрагивая электролит в зазоре между внешним и внутренним электродами (см. фиг. 2В и 2С). Ток шунта расходует мощность, но не участвует в выработке дезинфицирующего средства. Изготовление и сборка многопроходных ячеек также является более сложным процессом. Например, соответствующие части внешней поверхности внутреннего электрода должны быть защищены перед нанесением покрытия на оставшиеся части электрода.

На фиг. 3 представлена ячейка для электрохлорирования с параллельными пластинами (PPE), и на фиг. 4 схематично представлено многопроходное устройство, включающее набор плоских электродов, расположенных параллельно. Наборы электродов на каждом из концов соединены параллельным электрическим соединением, так что один из наборов присоединен к положительному полюсу источника постоянного тока, а другой набор присоединен к отрицательному полюсу. Расположенные между ними электроды биполярны. Одним из преимуществ многопроходной конструкции с параллельными пластинами по сравнению с конструкцией с концентрическими трубками является более высокая плотность упаковки (плотность размещения элементов) в активной электродной области на единицу объема устройства, поскольку обе стороны каждого электрода открыты для воздействия электролитического раствора и, таким образом, участвуют в электродных реакциях. Более плотная упаковка и многопроходность приводят к большему перепаду давлений в ячейке PPE, чем в ячейке с СТЕ. Средняя скорость течения между пластинами может быть снижена с целью понижения перепада давлений и повышения времени пребывания жидкой среды; недостатком является повышенный риск загрязнения и образования отложений и, таким образом, необходимость частой очистки, например обработки кислотой.

В ячейке с PPE необходимо устанавливать рамную конструкцию, обеспечивающую механическую опору для множества пластин и поддержание установленного расстояния между соседними электродами. Электрическое соединение с множеством пластин на каждом из концов также может вызывать затруднения.

Как в ячейках с СТЕ, так и в ячейках с PPE основной проблемой конструкции устройств и системы в целом является удаление газообразного H_2 , генерируемого на катодах. Газ должен быть безопасно стравлен либо в выбранных подходящим образом участках труб, либо в продуктовых резервуарах.

Сущность изобретения

В соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения предложена электрохимическая ячейка. Электрохимическая ячейка включает корпус, имеющий впускное отверстие, выпускное отверстие и центральную ось, а также пару анод-катод, размещенную в корпусе, по существу, концентрически отно-

сительно центральной оси и ограничивающую активную область, находящуюся между анодом и катодом в паре анод-катод, и площадь активной поверхности по меньшей мере одного из электродов - анода и катода - составляет площадь поверхности, превышающую площадь внутренней поверхности корпуса; при этом конфигурация и размещение пары анод-катод позволяет направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в осевом направлении через активную область.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка имеет общую плотность размещения (упаковки) электродов, составляющую по меньшей мере приблизительно 2 мм^{-1} .

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает центральный внутренний элемент, расположенный внутри электрохимической ячейки и выполненный с возможностью блокировки потока текучей среды через ту часть электрохимической ячейки, которая расположена вдоль центральной оси; при этом центральный внутренний элемент не соединен по меньшей мере с одним электродом пары анод-катод.

В некоторых примерах осуществления пара анод-катод спирально навита относительно центральной оси.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает один или более спирально навитых биполярных электрода. В некоторых примерах осуществления анод смещен в боковом направлении по длине электрохимической ячейки относительно катода.

В некоторых примерах осуществления по меньшей мере один из электродов: либо анод, либо катод представляет собой жесткий электрод. И анод, и катод могут включать титановую пластину, и на поверхности анода могут быть нанесены покрытия, устойчивые к окислению, материал которых выбран из группы, состоящей из платины и смешанного оксида металлов. И анод, и катод могут включать один или более из следующих материалов: титан, никель, алюминий. На поверхности анода могут быть нанесены покрытия, устойчивые к окислению, материал которых выбран из группы, состоящей из платины, смешанного оксида металлов, магнетита, феррита, кобальтовой шпинели, тантала, палладия, иридия, золота и серебра. По меньшей мере один из электродов - анода и катода - может быть проницаем для текучей среды и/или может включать перфорированную титановую пластину.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает разделитель, выполненный с возможностью поддержания величины зазора между анодом и катодом, и при этом разделитель не препятствует течению раствора электролита через активную область (то есть открыт для его течения). Разделитель может включать втулку, имеющую спицы с прорезями, которые захватывают края по меньшей мере одного из электродов - анода и катода. Втулка может дополнительно включать электрический соединитель (разъем), выполненный с возможностью создания электрического соединения между одним из электродов - анодом или катодом - с источником электрического тока.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает втулку, включающую спицы, находящиеся в электрическом контакте с одним из электродов: анодом или катодом. Спицы могут включать прорези, которые захватывают края одного из электродов - анода или катода - и сохраняют зазор между витками спирально навитой пары анод-катод.

В некоторых примерах осуществления центральный внутренний элемент включает непроводящий сердечник, расположенный внутри наиболее глуболежащего витка пары анод-катод.

В некоторых примерах осуществления пара анод-катод включает множество концентрических трубчатых электродов, и между соседними трубчатыми электродами имеются зазоры. Множество концентрических трубчатых электродов может включать одно из следующих: множество трубчатых анодных электродов и множество трубчатых катодных электродов. Либо множество трубчатых анодных электродов, либо множество трубчатых катодных электродов могут представлять собой жесткие электроды.

В некоторых примерах осуществления множество концентрических трубчатых электродов включает множество трубчатых анодных электродов и множество трубчатых катодных электродов.

В некоторых примерах осуществления конфигурация электрохимической ячейки позволяет пропускать электрический ток (прямой (постоянный, DC - от англ. Direct Current) и/или переменный (AC - от англ. Alternating Current)) через раствор электролита от трубчатого анодного электрода к трубчатому катодному электроду за один проход (в однопроводном режиме).

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает биполярный трубчатый электрод, расположенный между трубчатым анодным электродом и трубчатым катодным электродом.

В некоторых примерах осуществления трубчатый анодный электрод смещен в боковом направлении по длине электрохимической ячейки относительно трубчатого катодного электрода, имеющего тот же диаметр, что и трубчатый анодный электрод. Электрохимическая ячейка может включать трубчатый электрод, включающий анодную половину и катодную половину.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает множество биполярных трубчатых электродов, расположенных между соответствующими концентрически установленными соседними парами трубчатых анодных электродов и трубчатых катодных электродов.

В некоторых примерах осуществления по меньшей мере одно множество из множества трубчатых

анодных электродов и множества трубчатых катодных электродов перфорировано и/или проницаемо для текучей среды.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает по меньшей мере один разделитель, расположенный между соседними трубчатыми электродами, где по меньшей мере один разделитель выполнен с возможностью ограничения и сохранения зазора между соседними трубчатыми электродами. Разделитель может не препятствовать течению раствора электролита через зазор, имеющийся между соседними трубчатыми электродами.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает металлическую втулку, включающую спицы, соединенные электрическим соединением с краями множества концентрических трубчатых электродов. Каждая спица может включать прорези, в которые введены края множества концентрических трубчатых электродов для сохранения зазоров между соседними трубчатыми электродами, составляющими множество концентрических трубчатых электродов.

В некоторых примерах осуществления центральный внутренний элемент включает концевую заглушку, расположенную на конце наиболее глуболежащего концентрического трубчатого электрода электрохимической ячейки.

В некоторых примерах осуществления поперечное сечение электрохимической ячейки имеет форму прямоугольника с закругленными краями.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает электрический соединитель, находящийся в электрическом соединении с одним из электродов: анодом или катодом, причем электрический соединитель включает по меньшей мере два материала, имеющие различную степень устойчивости к химическому воздействию раствора электролита. По меньшей мере два материала могут включать первый материал и второй материал, и электрический соединитель может включать проницаемое для текучей среды основание, полученное из первого материала. Проницаемое для текучей среды основание может включать множество отверстий.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или основание из второго материала, соединенное с проницаемым для текучей среды основанием, полученным из первого материала, с помощью одного или более механических крепежных элементов.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или основание из второго материала, соединенное с проницаемым для текучей среды основанием, полученным из первого материала, посредством посадки с натягом.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или основание из второго материала, соединенное с проницаемым для текучей среды основанием, полученным из первого материала, с помощью резьбы, нанесенной на край основания, проницаемого для текучей среды, полученного из первого материала.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает основание, полученное из второго материала, соединенное с проницаемым для текучей среды основанием, полученным из первого материала, с помощью резьбы, нанесенной на цилиндрическую часть основания, полученного из второго материала.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает основание, полученное из второго материала, приваренное к основанию, полученному из первого материала.

В соответствии с другим аспектом изобретение относится к системе, включающей электрохимическую ячейку. Электрохимическая ячейка включает корпус, имеющий впускное отверстие, выпускное отверстие и центральную ось, а также пару анод-катод, размещенную в корпусе, по существу, концентрически относительно центральной оси и ограничивающую активную область, находящуюся между анодом и катодом в паре анод-катод, и площадь активной поверхности по меньшей мере одного из электродов - анода и катода - составляет площадь поверхности, превышающую площадь внутренней поверхности корпуса; при этом конфигурация и размещение пары анод-катод позволяет направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в осевом направлении через активную область. Система дополнительно включает источник электролита, соединенный соединением, подходящим для переноса текучей среды, с электрохимической ячейкой. Электрохимическая ячейка сконструирована для получения одного или более продуктов реакции из электролита, получаемого из источника электролита, и для выпуска одного или более продуктов реакции. Система дополнительно включает место использования одного или более продуктов реакции, вырабатываемых в электрохимической ячейке. Один или более продуктов реакции могут включать дезинфицирующее средство. Дезинфицирующее средство может включать или, по существу, состоять из гипохлорита натрия.

В некоторых примерах осуществления источник электролита включает одно из следующих: солевой раствор и морскую воду.

В некоторых примерах осуществления система включена в один из следующих объектов: водное судно и нефтедобывающую платформу.

В некоторых примерах осуществления место использования включает одно из следующих: систему охлаждения воды и балластный резервуар.

В некоторых примерах осуществления система включена в наземную нефтебуровую систему, в ко-

торой место использования представляет собой забой скважины нефтебуровой системы.

В соответствии с другим аспектом изобретение относится к электрохимической ячейке. Электрохимическая ячейка включает катод и анод, расположенные в корпусе, между которыми имеется зазор; при этом и катод, и анод включают дугообразные части; площадь активной поверхности анода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, а площадь активной поверхности катода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и конфигурация и размещение анода и катода позволяют направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, через зазор в осевом направлении.

В некоторых примерах осуществления анод включает множество пластин, выступающих за пределы дугообразной основы, и катод включает множество пластин, выступающих за пределы дугообразной основы, причем множество пластин анода чередуется с множеством пластин катода.

В соответствии с другим аспектом изобретение относится к электрохимической ячейке. Электрохимическая ячейка включает катод и анод, расположенные в корпусе, между которыми имеется зазор, причем и катод, и анод включают часть, согласующуюся с соответствующими частями внутренней поверхности корпуса; площадь активной поверхности анода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и площадь активной поверхности катода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и конфигурация и размещение анода и катода позволяют направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, через зазор в осевом направлении. По меньшей мере один из электродов - анода и катода - может включать часть, имеющую волнообразную форму.

Краткое описание графических материалов

Изображения на сопроводительных графических материалах не обязательно представлены в масштабе. Все одинаковые или почти одинаковые компоненты, показанные в различных фигурах графических материалов, обозначены подобными цифровыми обозначениями. По соображениям ясности не каждый компонент может иметь обозначение в каждом из графических материалов. В графических материалах

на фиг. 1А представлено перспективное изображение примера осуществления электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 1В представлен вид в поперечном разрезе электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами, представленной на фиг. 1А;

на фиг. 2А показано протекание электрического тока через пример осуществления электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 2В показано протекание электрического тока через другой пример осуществления электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 2С показано протекание электрического тока через другой пример осуществления электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 3 представлено перспективное изображение примера осуществления электрохимической ячейки с параллельными пластинчатыми электродами;

на фиг. 4 схематично представлена многопроходная ячейка для электрохлорирования с параллельными пластинчатыми электродами;

на фиг. 5 схематично представлен пример осуществления однопроходной электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами;

на фиг. 6 схематично представлен другой пример осуществления однопроходной электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами;

на фиг. 7А представлено изометрическое изображение примера осуществления двухпроходной электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами;

на фиг. 7В показано поперечное сечение электрохимической ячейки, представленной на фиг. 7А;

на фиг. 8 представлен ячеистый титановый материал, который может быть применен в примерах осуществления электродов для электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 9А представлен разделитель из сетчатого тканого материала, который может быть применен в примерах осуществления электродов для электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 9В представлен разделитель из экструдированного сетчатого материала, который может быть применен в примерах осуществления электродов для электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 10 показан разделитель электродов/электрический контактор (замыкатель) в виде втулки или колесика, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 11 показан пример осуществления разделителей электродов, которые могут быть применены в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 12А показан другой пример осуществления разделителя электродов/электрического контактора, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 12В показан другой пример осуществления разделителя электродов/электрического контак-

тора, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 12С показан другой пример осуществления разделителя электродов/электрического контактора, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 13А представлено перспективное изображение с пространственным разделением деталей примера осуществления электрохимической ячейки, включающей элемент для герметизации контакта электрода;

на фиг. 13В представлен вид электрохимической ячейки, представленной на фиг. 13А, в частично собранном состоянии;

на фиг. 13С представлен вид электрохимической ячейки, представленной на фиг. 13А, в собранном состоянии;

на фиг. 14А представлен вид с частичным поперечным сечением примера осуществления электрохимической ячейки с тремя концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 14В представлен вид с частичным поперечным сечением другого примера осуществления электрохимической ячейки с тремя концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 15 представлен вид с частичным поперечным сечением примера осуществления электрохимической ячейки с четырьмя концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 16 представлен вид с частичным поперечным сечением примера осуществления электрохимической ячейки с пятью концентрическими трубчатыми электродами;

на фиг. 17 представлено изометрическое изображение примера осуществления электрохимической ячейки, включающей проницаемый для текучей среды электрод и концевые заглушки;

на фиг. 18А представлено изометрическое изображение примера осуществления двухпроходной электрохимической ячейки, включающей проницаемый для текучей среды электрод и концевые заглушки;

на фиг. 18В представлен вид в поперечном разрезе электрохимической ячейки, представленной на фиг. 18А;

на фиг. 19А показан пример осуществления разделителей электродов, подходящих для применения в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 19В показан другой пример осуществления разделителей электродов, подходящих для применения в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 19С показан другой пример осуществления разделителей электродов, подходящих для применения в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 20А показан другой пример осуществления разделителя электродов/электрического контактора, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 20В показан другой пример осуществления разделителя электродов/электрического контактора, который может быть применен в примерах осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 21А представлено перспективное изображение с пространственным разделением деталей примера осуществления системы для сборки электрохимической ячейки с герметизированным контактом электрода;

на фиг. 21В представлен поперечный разрез собранного варианта системы, представленной на фиг. 21А;

на фиг. 22А представлен вид в поперечном разрезе примера осуществления электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные электроды;

на фиг. 22В представлено изометрическое изображение электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А;

на фиг. 22С представлено перспективное изображение поперечного сечения катода электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А;

на фиг. 22D представлено перспективное изображение поперечного сечения анода электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А;

на фиг. 22Е представлен вид в поперечном разрезе альтернативной конфигурации электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А;

на фиг. 22F показаны аноды, соединенные с катодами в электрохимической ячейке, представленной на фиг. 22Е, в сочетании с изолирующими элементами;

на фиг. 22G показан другой вариант соединения анодов с катодами в электрохимической ячейке, представленной на фиг. 22Е, в сочетании с изолирующими элементами;

на фиг. 22H показана монополярная конфигурация электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные электроды;

на фиг. 22I показана биполярная конфигурация электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные электроды;

на фиг. 23А показан пример осуществления концевой заглушки для электрохимической ячейки;

на фиг. 23В показана схема течения через пример осуществления электрохимической ячейки, в которой имеется концевая заглушка, представленная на фиг. 23А;

на фиг. 23С показан другой пример осуществления концевой заглушки для электрохимической ячейки;

на фиг. 23D представлен вид в поперечном разрезе электрохимической ячейки, включающей концевые заглушки, представленные на фиг. 23А и 23С, а также внутренние отражательные перегородки;

на фиг. 24 показан другой пример осуществления электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные электроды;

на фиг. 25А показан пример осуществления электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные волнообразные электроды;

на фиг. 25В показан другой пример осуществления электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные волнообразные электроды;

на фиг. 26 показан другой пример осуществления электрохимической ячейки, включающей радиально расположенные электроды;

на фиг. 27А показан другой пример осуществления концевой заглушки для электрохимической ячейки;

на фиг. 27В показан другой пример осуществления концевой заглушки для электрохимической ячейки;

на фиг. 27С представлено изометрическое изображение электрохимической ячейки, включающей концевые заглушки, представленные на фиг. 27А и 27В;

на фиг. 28А схематично показано поперечное сечение примера осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 28В представлено изометрическое изображение электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями, представленной на фиг. 28А;

на фиг. 29А схематично показано поперечное сечение другого примера осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 29В схематично показано поперечное сечение другого примера осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 29С показано направление течения текучей среды через пример осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 29D показано направление течения текучей среды через пример осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 30А схематично показано расположение шинных электродов в примере осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 30В схематично показано альтернативное расположение шинных электродов в примере осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 30С схематично показано поперечное сечение примера осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 31А схематично представлены элементы, соединяющие и удерживающие электроды в примере осуществления электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями;

на фиг. 31В в увеличенном виде представлены соединяющие и удерживающие элементы и соответствующие электроды электрохимической ячейки прямоугольной формы с закругленными краями, представленной на фиг. 31А;

на фиг. 32 показан в частичном поперечном сечении пример осуществления электрохимической ячейки, на котором представлен пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 33А показан пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 33В показан другой пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 33С показан другой пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 33D показан другой пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 33Е показан другой пример осуществления электрического соединителя электродов электрохимической ячейки;

на фиг. 34А показано поперечное сечение примера осуществления электрохимической ячейки, включающей электроды, расположенные чередующимися слоями;

на фиг. 34В показано направление течения текучей среды через электрохимическую ячейку, представленную на фиг. 34А;

на фиг. 34С показана альтернативная конфигурация электрохимической ячейки, представленной на

фиг. 34А;

на фиг. 34D показана другая альтернативная конфигурация электрохимической ячейки, представленной на фиг. 34А;

на фиг. 34Е показан пример осуществления электрохимической ячейки, включающей электроды, расположенные чередующимися слоями в монополярной конфигурации;

на фиг. 34F показан пример осуществления электрохимической ячейки, включающей электроды, расположенные чередующимися слоями в биполярной конфигурации;

на фиг. 35 показана система, в которую могут быть включены примеры осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 36 показана система управления примерами осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании;

на фиг. 37 показана запоминающая система системы управления, представленной на фиг. 36; и

на фиг. 38 приведена таблица, в которой представлены различные функциональные параметры различных примеров осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены деталями конструкции и расположением компонентов, представленными в приведенном ниже описании или графических материалах. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть воплощены или осуществлены различными способами. Кроме того, построение фраз и терминология использованы в настоящем описании для раскрытия изобретения и не должны рассматриваться как ограничивающие. Использование в настоящем описании терминов "включающий", "имеющий", "содержащий" и их вариантов охватывает все перечисленные после них объекты и их эквиваленты, а также дополнительные объекты.

Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, в целом, относятся к электрохимическим устройствам, в которых образуются дезинфицирующие средства, такие как гипохлорит натрия. Термины "электрохимическое устройство" и "электрохимическая ячейка" и их грамматические варианты включают понятия "устройства для электрохлорирования" и "ячейки для электрохлорирования" и их грамматические варианты. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, включают один или более электродов. Некоторые аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, раскрыты как включающие жесткие электроды. Используемый в настоящем описании термин "жесткий" относится к объекту, который сохраняет свою форму в отсутствии прикладываемой силы при обычной рабочей температуре и/или при повышенной температуре. Используемый в настоящем описании термин "жесткий электрод" относится к электроду, который имеет достаточную механическую жесткость для сохранения своей формы и расстояния, отделяющего его от соседних электродов или электродных витков, в различных примерах осуществления электрохимических ячеек и устройств, рассмотренных в настоящем описании, в которых не требуется применение разделителей. Например, согласно настоящему изобретению, гибкая пленка, имеющая металлическое покрытие, не считается "жестким электродом".

Согласно изобретению термин "металлические электроды" или его грамматические варианты включает электроды, изготовленные из, включающие или состоящие из одного или более металлов, например титана, алюминия или никеля; тем не менее, термин "металлический электрод" не исключает электроды, включающие или состоящие из других металлов или сплавов. В некоторых примерах осуществления "металлический электрод" может включать множество слоев, полученных из различных металлов. Металлические электроды, применяемые в одном или более любых примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, могут включать внутреннюю часть из металла, имеющего высокую электропроводность, например меди или алюминия, на которую нанесено покрытие из металла или оксида металла, имеющее высокую стойкость к химическому воздействию растворов электролитов, например слой титана, платины, смешанного оксида металлов (ММО), магнетита, феррита, кобальтовой шпинели, тантала, палладия, иридия, серебра, золота или других материалов покрытия. На "металлические электроды" может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, материалы которого включают, без ограничений, платину, смешанный оксид металлов (ММО), магнетит, феррит, кобальтовую шпинель, тантал, палладий, иридий, серебро, золото или другие материалы покрытий. Смешанные оксиды металлов, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, могут включать оксид или оксиды одного или более из следующих материалов: рутения, родия, тантала (необязательно сплавленного с сурьмой и/или марганцем), титана, иридия, цинка, олова, сурьмы, сплава титана и никеля, сплава титана и меди, сплава титана и железа, сплава титана и кобальта или других подходящих металлов или сплавов. На аноды, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, может быть нанесено покрытие из платины и/или оксида или оксидов одного или более из следующих материалов: иридия, рутения, олова, родия или тантала (необязательно сплавленного с сурьмой и/или марганцем). На катоды, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, может быть нанесено покрытие из платины и/или оксида или оксидов одного или более из следующих материалов: иридия, рутения и титана. Электроды, применяемые в примерах осуществления,

рассмотренных в настоящем описании, могут включать основу из одного или более следующих материалов: титана, тантала, циркония, ниобия, вольфрама и/или кремния. Электроды для любых электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании, могут быть изготовлены в виде или из пластин, листов, фольги, экструдированных материалов и/или спеченных материалов.

В настоящем описании термин "трубка" ("трубчатый") включает цилиндрические трубчатые элементы, однако, не исключает трубчатые элементы, имеющие другую форму поперечного сечения, например трубчатые элементы квадратного, прямоугольного, овального поперечного сечения или прямоугольного поперечного сечения с закругленными краями или поперечного сечения, имеющего форму любого правильного или неправильного многоугольника.

В настоящем описании термины "концентрические трубки" или "концентрические спирали" включают трубки или расположенные чередующимися слоями спирали, имеющие общую центральную ось, но не исключают трубки или расположенные чередующимися слоями спирали, окружающие общую ось, которая не обязательно расположена по центру каждой из концентрических трубок или расположенных чередующимися слоями спиралей в наборе концентрических трубок или расположенных чередующимися слоями спиралей.

Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, более компактны, чем ячейки для электрохлорирования согласно предшествующему уровню техники. Используемый в настоящем описании термин "активная плотность" электрохимической ячейки означает отношение площади поперечного сечения между активными или функциональными поверхностями электродов (т.е. поверхностями электродов от которых или к которым течет электрический ток, оказывающий электрохимическое воздействие на текучую среду, находящуюся в электрохимической ячейке), через которую может протекать текучая среда, обрабатываемая в электрохимической ячейке ("активная область" электрохимической ячейки), к общей площади поперечного сечения корпуса электрохимической ячейки. Согласно определению "активная плотность" представляет собой отношение площади, измеряемой в плоскости, перпендикулярной к центральной оси, через которую может протекать текучая среда, к общей площади поперечного сечения, измеряемой в плоскости, перпендикулярной к центральной оси. Это безразмерная величина, выражаемая в долях или процентах. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, включают электрохимические ячейки, имеющие величину активной плотности, составляющую от приблизительно 46 до приблизительно 52%, более приблизительно 50%, в некоторых примерах осуществления более приблизительно 75%, в некоторых примерах осуществления более 85%, в некоторых примерах осуществления более 90% и в некоторых примерах осуществления приблизительно до 95%.

Используемый в настоящем описании термин "общая плотность упаковки (размещения элементов)" электрохимической ячейки означает отношение общей длины пути вдоль функционального электрода в плоскости, перпендикулярной течению текучей среды через электрохимическую ячейку к общей площади поперечного сечения корпуса электрохимической ячейки. "Плотность упаковки" представляет собой отношение "площади активной поверхности" электродов, находящихся в электрохимическом устройстве, к общему внутреннему объему устройства. Единицей измерения этой величины является величина, обратная длине (например, м^{-1}). "Площадь активной поверхности" электрода представляет собой площадь поверхности электрода, от которого или к которому течет электрический ток, вызывающий протекание в электрохимическом устройстве электрохимических реакций. Электрод, имеющий противоположно расположенные поверхности, может иметь площадь активной поверхности на одной поверхности или на обеих поверхностях. "Плотность упаковки анодов" представляет собой отношение "площади активной поверхности" анода (анодов), находящихся в электрохимическом устройстве, к общему внутреннему объему устройства. "Плотность упаковки катодов" представляет собой отношение "площади активной поверхности" катода (катодов), находящихся в электрохимическом устройстве, к общему внутреннему объему устройства. "Общая плотность упаковки электродов" или "общая плотность размещения электродов" представляет собой сумму плотностей размещения анодов и плотностей размещения катодов в электрохимическом устройстве. Аспекты и примеры осуществления электрохимических ячеек, рассмотренные в настоящем описании, могут иметь плотности размещения анодов, плотности размещения катодов и/или общие плотности упаковки (размещения) электродов, составляющие 2 мм^{-1} или более.

В некоторых примерах осуществления линия, проходящая от центральной оси ячейки для электрохлорирования к периферии ячейки для электрохлорирования в плоскости, перпендикулярной центральной оси, проходит через множество электродных пластин. Множество электродных пластин может включать множество анодов и/или множество катодов. Центральная ось может быть параллельна усредненному направлению течения текучей среды через электрохимическую ячейку. Дополнительные примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, включают конструкции и способы, подходящие для изготовления электродов для электрохимической ячейки, регулирования расстояния между электродами электрохимической ячейки и соединения электродов с источниками электрического напряжения.

На фиг. 5 представлен один из примеров осуществления пары спирально навитых электродов для электрохимической ячейки или ячейки для электрохлорирования. Два спирально навитых электрода,

анод 205 и катод 210, образующие пару анод-катод, размещены с образованием между анодом 205 и катодом 210 зазора 215. Ширина зазора 215 может быть постоянной или переменной. В некоторых примерах осуществления ширина зазора 215 может составлять приблизительно от 1 до приблизительно 5 мм. В любом примере осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании, ширина зазора (зазоров) между электродами может быть выбрана с учетом типа электролита, обрабатываемого в электрохимической ячейке. Например, если в качестве электролита применяют солевой раствор, то величина зазора может быть установлена равной приблизительно 2 мм. Если в качестве электролита применяют морскую воду, то величина зазора может составлять от приблизительно 3 до приблизительно 5 мм.

Угловая разность между концами начала витков и/или окончания витков обозначена на изображении 0, может составлять от 0 до 180°. Подаваемый раствор электролита протекает через зазор 215 в направлении, по существу, параллельном осям спиральных витков. Напряжение прямого (постоянного) тока, имеющего постоянную или переменную величину, или в некоторых примерах осуществления напряжение переменного тока, приложено к электродам и к раствору электролита. Вывод 220 анода и вывод 225 катода присоединены к или представляют собой интегральную часть анода 205 и катода 210 соответственно и обеспечивают электрическое подсоединение анода 205 и катода 210. Электрический ток протекает от анода 205 к катоду 210 за один проход. Электрохимические и химические реакции происходят у поверхностей электродов и в объеме раствора электролита в электрохимической ячейке и приводят к образованию раствора продукта.

В одном из примеров осуществления электрохимическая ячейка со спирально навитыми электродами, представленная на фиг. 5 и/или 6, может иметь корпус, внутренний диаметр которого составляет приблизительно 23,8 мм, внутреннюю площадь поперечного сечения корпуса, составляющую приблизительно 444,1 мм², длину прохода электрода, составляющую приблизительно 301,1 мм, внешний диаметр внутренней части, составляющий приблизительно 12 мм (площадь поперечного сечения приблизительно равна 113 мм²), и общую плотность упаковки, составляющую приблизительно 0,68 мм⁻¹.

В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих спирально навитый анод (аноды) и катод (катоды), рассмотренных в настоящем описании, конфигурация и расположение анода (анодов) и катода (катодов) позволяют направлять текучую среду через один или более зазоров между анодом (анодами) и катодом (катодами) в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки. В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих спирально навитый анод (аноды) и катод (катоды), рассмотренных в настоящем описании, конфигурация и расположение анода (анодов) и катода (катодов) позволяют направлять всю текучую среду, подаваемую в электрохимическую ячейку, через один или более зазоров, находящихся между анодом (анодами) и катодом (катодами), в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки.

Показанная на фиг. 5 конструкция может быть расширена и соответственно включать анод, катод и один или более биполярных электродов, и в этом случае электрический ток может множество раз проходить через раствор электролита.

Для большей наглядности размеры компонентов на фигурах в настоящем описании могут быть приведены не в масштабе. Соответственно конструкция и расположение элементов, например электродных соединителей 220, 225 на фиг. 5, могут быть приведены только для иллюстрации.

На фиг. 6 представлен другой пример осуществления однопроходной электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами. Зазор между спирально навитыми анодом 205 и катодом 210 имеет постоянную величину. Поперечный размер зазора может, например, составлять от приблизительно 1 до приблизительно 5 мм. Сплошная внутренняя часть 230 (более ясно показанная на фиг. 7B) представляет собой центральный внутренний элемент или элемент, направляющий течение текучей среды, который препятствует протеканию текучей среды через центральную часть без прохода через зазор. Внутренняя часть может быть изготовлена из непроводящего материала, например из одного или более из следующих материалов: поливинилхлорида (ПВХ), политетрафторэтилена (ПТФЭ), поливинилиденфторида (ПВДФ), акрилонитрилбутадиенстирола (АБС) или полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). Внутренняя часть 230 может быть не соединена механическим образом с анодом 205 и катодом 210. В других примерах осуществления для фиксации внутренней части на соответствующем месте и/или крепления внутренней части 230 к наиболее глубоколежащему витку электрода (в примере осуществления, представленном на фиг. 5 - к наиболее глубоколежащим виткам анода) могут быть использованы один или более механических крепежей. В других примерах осуществления внутренняя часть 230 удерживается на месте внутри наиболее глубоколежащего витка электрода за счет фрикционной посадки. В примере осуществления, представленном на фиг. 5, внутренняя часть 230 контактирует только единственным из анодных 205 и катодных 210 электродов. Один из электродов, либо анод 205, либо катод 210, не соединен и не контактирует с внутренней частью 230. В других примерах осуществления центральный внутренний элемент может представлять собой электропроводный элемент, соединенный электрическим соединением с одним из электродов, либо анодом 205, либо катодом 210, и он может применяться для подачи электрического тока либо к аноду 205, либо к катоду 210. В других примерах осуществления цен-

тральный внутренний элемент может включать осевые шины и/или другие проводящие центральные элементы, изолированные друг от друга; при этом первая осевая шина и/или другой проводящий центральный элемент соединен электрическим соединением с анодом 205, и вторая осевая шина и/или другой проводящий центральный элемент электрически изолирован от первого и соединен электрическим соединением с катодом 210.

Электроды расположены внутри неметаллического корпуса 305, конструкция которого обеспечивает электрическую изоляцию электродов от воздействия окружающей среды и выдерживает давление текучего электролита, пропускаемого через электрохимическую ячейку. Корпус 305 изготовлен из непроводящего материала, не взаимодействующего химически с растворами электролитов и обладающего достаточной прочностью для того, чтобы выдерживать давление в системе. Корпус 305 может включать один или более из следующих материалов: ПВХ, ПТФЭ, ПВХДФ, АБС, ПЭВП, FRP (сокращение от англ. fiber-glass reinforced plastic, т.е. полимер, упрочненный стекловолокном) или другие подходящие материалы, и в некоторых примерах осуществления корпус может включать упрочняющие элементы, например стекловолокно или углеродное волокно, включенное в полимерную матрицу. На конце корпуса 305 находятся соединители 220, 225 электродов, направленные наружу за пределы стенок корпуса 305. В некоторых примерах осуществления соединители 220, 225 электродов могут находиться на противоположных концах корпуса 305 и выступать за пределы стенок корпуса 305. Альтернативные конструкции электрических соединителей 220, 225 рассмотрены ниже, и эти альтернативные конструкции также могут быть применены в примере осуществления, представленном на фиг. 6, и других примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании.

На фиг. 7А и 7В представлен другой пример осуществления двухпроходной по отношению к электрическому току электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами. Кроме спирально навитых анода 205 и катода 220 в ней имеется третий электрод 235, который представляет собой биполярный электрод. Спирально навитые анод 205 и катод 220 смещены вбок относительно друг друга в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки. Один конец (в некоторых примерах осуществления приблизительно одна половина) третьего электрода 235 (со стороны электрохимической ячейки вблизи анода 205) не имеет покрытия и функционирует как катод, а на другой конец (со стороны электрохимической ячейки вблизи катода 210, в некоторых примерах осуществления приблизительно одна половина электрода 235) нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из платины или MMO, и он функционирует как анод. Первая часть третьего электрода 235 размещена внутри анода 205, а вторая часть - внутри катода 210, и электрод 235 ориентирован так, что электрический ток может течь через раствор электролита в двухпроходном режиме, аналогичном режиму в ячейке СТЕ, представленной на фиг. 2В.

Центральная внутренняя часть 230 представляет собой центральный внутренний элемент или элемент, направляющий течение текучей среды, который препятствует течению текучей среды через центр электрохимической ячейки мимо зазоров, расположенных между анодом 205 и биполярным электродом 235, и зазоров, расположенных между катодом 210 и биполярным электродом 235. Внутренняя часть 230 может быть не соединена механическим образом с анодом 205, катодом 210 и биполярным электродом 235. В других примерах осуществления для фиксации внутренней части в нужном месте и/или крепления внутренней части 230 к наиболее глуболежащему витку электрода (анода 205 или биполярного электрода 235 со стороны электрохимической ячейки вблизи анода 205 и катода 210 или биполярного электрода 235 со стороны электрохимической ячейки вблизи катода 210) может быть установлен один или более механических крепежей. В других примерах осуществления внутренняя часть 230 удерживается на месте внутри наиболее глуболежащего витка электрода за счет фрикционной посадки. В некоторых примерах осуществления внутренняя часть 230 контактирует и/или присоединена только к одному из электродов, либо аноду 205, либо биполярному электроду 235 со стороны электрохимической ячейки вблизи анода 205, и контактирует и/или присоединена только к одному из электродов, либо катоду 210, либо биполярному электроду 235 со стороны электрохимической ячейки вблизи катода 210.

Ячейка, показанная на фиг. 7А и 7В, может быть расположена внутри неметаллического корпуса 305, например неметаллического корпуса, представленного на фиг. 6. В другом примере осуществления может быть реализован режим с множеством проходов электрического тока. Введение дополнительных биполярных электродов и перекрытие соответствующих участков анода и катода позволяет создать ячейку для электрохлорирования, которая обеспечивает три или более прохода электрического тока, схема которых аналогична схеме многопроходной ячейки с РЕ, представленной на фиг. 4.

Электроды 205, 210 в примерах осуществления, показанных на фиг. 5-7В, и в любых других примерах осуществления электрохимической ячейки со спирально навитыми электродами, рассмотренных в настоящем описании, могут быть намотаны по отдельности и затем собраны вместе. Например, каждый электрод может быть изготовлен намоткой титановой пластины, имеющей покрытие или не имеющей покрытия, вокруг сердечника. Для прессования и гибки металлической (например, титановой) пластины, используемой для изготовления электрода, при вращении сердечника могут быть применены валцы или другие средства. Из-за остаточного напряжения титан будет разгибаться, образуя зазор между каждым витком спирали. С помощью расчетов и проведения экспериментов может быть определена такая сте-

пень натяжения витков каждого электрода, при которой после релаксации электрод образует зазор, достаточный для размещения другого спирально навитого электрода, имеющего ту же центральную ось. В альтернативном варианте вблизи титановой пластины может быть размещен второй материал, который совместно с титаном наматывают на сердечник с целью образования требуемого зазора между витками спирали. Материал может представлять собой, например, эластомер с высокой твердостью. Центральная внутренняя часть 230 может быть введена в пространство и/или зафиксирована в требуемом положении в пространстве, ограниченном наиболее глубоколежащим витком наиболее глубоколежащего электрода, после или до сборки электродов или введения электродов в корпус.

Электроды 205, 210 и/или 235 любого примера осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании, могут включать или состоять из титановых пластин (из одной титановой пластины для каждого спирально навитого электрода в примерах осуществления со спиральной навивкой) толщиной, составляющей от приблизительно 0,25 до приблизительно 3 мм. Электроды 205, 210 и/или 235 любого примера осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании, могут представлять собой жесткие электроды.

Платиновое покрытие титанового электрода после навивки представляет собой обычное покрытие и может быть нанесено, например, способом электроосаждения. Покрытие из ММО может быть нанесено на плоский электрод до его намотки. ММО может быть нанесен одним или более из следующих способов: химическим осаждением, термическим осаждением и/или осаждением из газовой фазы, аэрографической окраской и тепловой обработкой и может быть подвергнут тепловой обработке после осаждения.

Электроды 205, 210 могут быть намотаны вместе с находящимися между ними разделителями; разделители могут иметь пористую структуру, которая позволяет текучей среде протекать через зазоры между электродами. Разделители могут быть оставлены на месте для сохранения зазора между электродами и обеспечения других функций, таких как диспергирование и перемешивание потока.

Электроды могут быть изготовлены из материала, проницаемого для текучей среды, например из перфорированных титановых пластин или вспененной (рыхлой) сетки (см. фиг. 8). В случае анода 205 или части биполярного электрода 235, которая служит анодом, на все открытые поверхности может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из платины или ММО.

Возможные способы сохранения расстояния между электродами 205, 210 и/или 235 (если таковые имеются) включают, например, размещение между электродами разделителей. Разделители могут включать коммерчески доступные непроводящие экраны из тканого материала или экструдированные экраны, например, такие, как показано обозначениями 300 и 350 на фиг. 9А и 9В соответственно. Конфигурация разделителей 300, 350 может быть подобрана с целью минимизации площадей контакта между разделителем и соседними электродами - эти области могут быть защищены от протекания электродных реакций; для снижения затруднений при выпуске газообразного H_2 с поверхностей электродов и удаления газа в потоке текучей среды; для минимизации перепада давлений на разных концах устройства для электрохлорирования и/или для максимального улучшения перемешивания и массопереноса и, таким образом, увеличения скоростей реакций на поверхности электродов. В некоторых примерах осуществления электроды 205, 210 и/или 235 (если таковые имеются) могут представлять собой жесткие металлические электроды, при использовании которых может требоваться меньшее количество разделителей (или совсем не требоваться разделителей) для сохранения требуемого зазора между электродами 205, 210 и/или 235 (если таковые имеются), чем в случае электродов, полученных из гибких материалов.

В некоторых примерах осуществления для сохранения расстояния между электродами 205, 210 и/или 235 (если таковые имеются) может быть применена неметаллическая (например, из ПВХ, ПТФЭ, ПВХФ и/или ПЭВП или другого материала, имеющего высокое электрическое и химическое сопротивление) втулка или колесико 240, имеющее множество спиц 245. В каждой спице 245 имеются прорезы, расположенные через установленные интервалы, в которые помещают и в которых находятся края электродов 205, 210 и/или 235 (если таковые имеются), как показано на фиг. 10. В альтернативном варианте или дополнительно спицы 245 могут иметь штифты или выступы, которые могут захватывать чередующиеся стороны краев электродов для удержания их в нужном положении. Втулка или колесико 240, представленное на фиг. 10, может быть размещено на обоих концах устройства для электрохлорирования. Пара примеров осуществления втулки или колесика 240 может быть установлена у двух внешних концов ячейки для электрохлорирования, одна втулка или колесико 240 на каждом конце. Неметаллическая втулка или колесико 240 может включать сплошную центральную деталь 250, которая предотвращает течение текучей среды по внутренней части устройства для электрохлорирования. Внутренняя часть устройства для электрохлорирования ограничена центральной областью, в которой электрический ток, подводимый к аноду и катоду, протекал бы через электролит, находящийся в устройстве для электрохлорирования, при отсутствии сплошной центральной детали. В некоторых примерах осуществления сплошная центральная деталь 250 контактирует только с наиболее глубоколежащим электродом электрохимического устройства.

В других примерах осуществления втулка или колесико 240 может быть изготовлено из проводящего материала, например титана, что способствует подаче и/или распределению электрического тока в электродах 205, 210. В таких примерах осуществления первая втулка или колесико 240 может создавать

электрический контакт только с анодом 205 или только с катодом 210, в то время как вторая втулка или колесико 240 создает электрический контакт с другим электродом, то есть анодом 205 или катодом 210.

В других примерах осуществления в выбранных точках электродов может быть произведено высверливание и установлены непроводящие буферы 255 для сохранения расстояния до поверхностей соседних электродов, как показано на фиг. 11. Буферы 255 могут быть сформованы из непроводящего полимера, например ПТФЭ или ПВДФ, и их конструкция может позволять защелкивать их для фиксации на месте. Например, буферы могут включать вставляемую деталь 255А и охватывающую деталь 255В, где вставляемая деталь 255А выполнена с возможностью защелкивания и удержания на месте в охватывающей детали 255В, причем вставляемую деталь 255А размещают на первой поверхности электрода 205, 210 и/или 235 (если таковой имеется), а охватывающую деталь размещают на противоположной поверхности электрода 205, 210 и/или 235 (если таковой имеется).

Электрические соединения с электродами 205, 210 могут включать колесообразное устройство 260 из титана, имеющее спицы 265, которые приварены к краю электрода для создания электрических соединений, как показано на фиг. 12А-12С. Спицы 265 могут включать прорези, расположенные через интервалы, в которые вставлены концевые края одного из электродов 205, 210, для сохранения расстояния между витками спирального электрода, который подсоединен к спице. Внешний обод 270 устройства 260 может быть присоединен к источнику постоянного напряжения для подвода электрического тока к тому электроду, к которому электрически присоединено устройство 260. Внешний обод 270 может включать единственное электрическое соединение 275, как показано на фиг. 12А, множество электрических соединений 275, как показано на фиг. 12В, и/или контактный столбик 280, как показано на фиг. 12С. Как показано на фиг. 12С, устройство 260 может включать лапки 285, расположенные вдоль поверхностей электрода 205, 210, к которому устройство электрически присоединено, для создания большей площади электрического контакта и, таким образом, контакта с меньшим сопротивлением, чем в случае устройств 260, показанных на фиг. 12А и 12В. Для безопасности и предотвращения коррозии соединения (соединения) 275, 280 могут быть герметизированы и изолированы от окружающей среды с помощью структур и методов, рассмотренных ниже.

В различных примерах осуществления к каждому электроду присоединены один или более выводов. Например, на фиг. 6 представлены полосы из титана, приваренные к электродам 205, 210 и изогнутые на одном конце с образованием выводов 220, 225. Толщина титана в полосах может превышать толщину титана в электродах, что приводит к повышению механической жесткости краев электродов и обеспечивает путь с более низким электрическим сопротивлением для того, чтобы электрический ток протекал вниз по краям.

Для обеспечения безопасности и предотвращения коррозии соединения между выводом и электрическим проводом, отходящим от источника напряжения, может быть герметизировано и изолировано от окружающей среды и от электролита, протекающего через электрохимическую ячейку. Например, на фиг. 13А-13С представлен способ применения уплотнительных прокладок 290 для герметизации выводов 295 во фланцах 310 на конце неметаллического корпуса 305. Для присоединения выводов 295 к источнику постоянного напряжения могут быть применены водонепроницаемые соединители 315 (например, соединители IP54).

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих спирально навитые электроды, которые рассмотрены в настоящем описании, могут включать аноды и катоды (или пары анод-катод), конфигурация и расположение которых позволяют направлять по существу всю или всю текучую среду, протекающую через активные области или зазоры между анодами и катодами, в по существу или полностью осевом направлении через активные области. По существу или полностью осевое направление через активные области может быть параллельным или, по существу, параллельным центральной оси электрохимической ячейки и/или анодов и катодов (или пар анод-катод). Течение текучей среды через активные области может считаться течением, по существу, в осевом направлении или в полностью осевом направлении через активные области, даже если в течении текучей среды через активные области имеются турбулентные области и/или завихрения.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих спирально навитые электроды, которые рассмотрены в настоящем описании, могут иметь множество преимуществ по сравнению с ячейками для электрохлорирования, включающими концентрические трубки, и ячейками для электрохлорирования с параллельными пластинчатыми электродами, имеющимися в настоящее время на рынке. Например, в имеющихся в настоящее время ячейках для электрохлорирования, включающих концентрические трубки (СТЕ), только внутренняя поверхность внешнего электрода и внешняя поверхность внутреннего электрода участвуют в электродных реакциях, в которых образуется гипохлорит натрия. Другие поверхности электродов изолированы от раствора электролита. Внешние трубки и электрические соединения открыты для воздействия окружающей среды.

В конструкции со спирально навитыми электродами активна большая часть поверхности или вся площадь поверхности обеих сторон каждого электрода. Активная область на единицу объема устройства в представленном на фиг. 7А и 7В устройстве с двумя проходами электрического тока, которое заключе-

но в корпус Schedule 40 длиной четыре дюйма (что приблизительно составляет 10 см) (или корпус из ПВХ, например, SCH80 ПВХ), в пять раз превышает активную область электрохимической ячейки, представленной на фиг. 1. Таким образом, устройство, рассматриваемое в настоящем описании, гораздо более компактно (более чем на 80% меньше в объеме) при эквивалентной площади активных электродов, чем традиционное устройство с СТЕ.

В аспектах и примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, спирально навитые электроды могут быть введены в немагнитический корпус и присоединены к источнику постоянного или переменного напряжения с помощью водонепроницаемых соединителей таким образом, чтобы ни один из электрически активных компонентов не подвергался воздействию окружающей среды (см., например, фиг. 13А-13С). Такая конструкция гораздо более безопасна для операторов (рабочих), и при этом отсутствует риск возникновения короткого замыкания между устройствами и наружно заземленным компонентом или жидкостью. При этом отсутствует необходимость в герметичном кожухе, необходимом для доступных в настоящее время устройств с СТЕ, что снижает сложность системы и капитальные вложения на ее установку.

В ячейках для электрохлорирования с параллельными пластинами (PPE) для поддержки и выравнивания большого количества плоских электродов и для направления потока текущей среды через устройство требуется сложная рамная конструкция (см., например, фиг. 3). В примерах осуществления электрохимических устройств со спирально навитыми электродами, рассмотренных в настоящем описании, требуется гораздо меньшее количество электродов.

Как указано в настоящем описании, ожидается, что плотность активной площади электродов на единицу объема устройства со спирально навитыми электродами будет превышать эту величину в ячейке для электрохлорирования с параллельными пластинчатыми электродами. Электроды занимают всю площадь круглого поперечного сечения цилиндрического корпуса, в то время как в PPE они занимают лишь квадратную или прямоугольную область, составляющую его часть.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих спирально навитые электроды, которые рассмотрены в настоящем описании, могут иметь активные плотности, составляющие от приблизительно 46 до приблизительно 52%, более приблизительно 50%, в некоторых примерах осуществления более приблизительно 75%, в некоторых примерах осуществления более 85%, в некоторых примерах осуществления более 90% и в некоторых примерах осуществления до приблизительно 95%.

Электрические соединения с одним анодом на одном конце устройства со спирально навитыми электродами и с одним катодом на другом его конце отличаются меньшей сложностью, чем соединения с множеством анодов и катодов в устройстве с PPE (сравнить фиг. 4 с фиг. 7А и 7В). Кроме того, предполагается, что устройства со спирально навитыми электродами, рассмотренные в настоящем описании, имеют меньшее количество деталей и их легче собирать, чем устройство с PPE.

Ячейки для электрохлорирования применяют в агрегатах, используемых на море, в прибрежной зоне, в муниципальных зонах, в промышленности и в коммерческой деятельности. Для применения в различных областях конструкционные параметры электрохимических устройств со спирально навитыми электродами, например расстояние между электродами, толщина электродов и плотность покрытия, площади электродов, способы электрических соединений и т.д., могут быть оптимизированы. Таким образом, аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут заменить конструкции с СТЕ и PPE и могут позволить разместить элементы производственных линий на одной проектируемой платформе, что позволит повысить унификацию компонентов и оптимизировать масштабы материально-технического обеспечения и производства.

В соответствии с другим аспектом ячейка для электрохлорирования включает множество концентрических трубчатых электродов. По меньшей мере, некоторые из концентрических трубчатых электродов могут быть монополярными или биполярными. Первый пример осуществления, включающий три концентрические трубки, показан на фиг. 14А и в целом обозначен цифрой 400. Средний трубчатый электрод 405 представляет собой анод, имеющий покрытие, устойчивое к окислению, например, из платины или ММО, и на внутренней, и на внешней поверхностях, что позволяет максимально использовать площадь поверхности среднего трубчатого электрода 405. Внутренний трубчатый электрод 410 и внешний трубчатый электрод 415 не имеют покрытия и служат внутренним катодом и внешним катодом соответственно. Электроды монополярны, то есть электрический ток проходит через электролит один раз на один электрод. Каждый из электродов 405, 410, 415 может включать титановую трубку. Электрическое соединение 430 анода соединено электрическим соединением со средним трубчатым электродом 405. Электрическое соединение 435 катода соединено электрическим соединением с внутренним трубчатым электродом 410 и внешним трубчатым электродом 415.

В примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, включающих множество трубчатых анодных или катодных электродов, множество трубчатых анодных электродов могут быть обобщенно названы анодом или анодной трубкой, и множество трубчатых катодных электродов могут быть обобщенно названы катодом или катодной трубкой. В примерах осуществления изобретения, включающих множество трубчатых анодных и/или множество трубчатых катодных электродов, множество труб-

чатых анодных и/или множество трубчатых катодных электродов может быть обобщенно названо парой анод-катод.

В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих концентрические трубчатые электроды, например один или более анодов и/или катодов, рассмотренных в настоящем описании, конфигурация и расположение электродов позволяют направлять текучую среду через один или более зазоров между электродами в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки. В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих концентрические трубчатые электроды, например один или более анодов и/или катодов, рассмотренных в настоящем описании, конфигурация и расположение электродов позволяют направлять всю текучую среду, подаваемую в электрохимическую ячейку через один или более зазоров между электродами в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки.

Ширина зазоров 420, 425 между электродами может быть постоянной или переменной. Ширина зазоров между электродами в поперечном направлении может составлять, например, от приблизительно 1 до приблизительно 5 мм и, как было рассмотрено выше, может быть выбрана в зависимости от типа электролита, обрабатываемого в электрохимической ячейке. Подаваемый раствор электролита протекает через два кольцевых зазора 420, 425, образованных между тремя трубчатыми электродами. Прямое напряжение, постоянное или переменное, или в некоторых примерах осуществления переменный электрический ток подают к электрическим соединениям 430, 435 анода и катода. Электрический ток одновременно протекает от внутренней и внешней поверхностей анода (средний трубчатый электрод 405) к внутреннему и внешнему катодам (внутренний трубчатый электрод 410 и внешний трубчатый электрод 415). Между внутренним трубчатым электродом 410 и внешним трубчатым электродом 415 может быть создано электрическое соединение посредством одного или более проводящих мостиков 440, которые могут быть изготовлены из того же материала, что и внутренний трубчатый электрод 410 и внешний трубчатый электрод 415, например титана. У поверхностей электродов и в объеме раствора протекают электрохимические и химические реакции, в результате чего образуется раствор продукта, например гипохлорита натрия, подходящий для проведения дезинфекции. Ячейка 400 для электрохлорирования может быть заключена в непроводящий корпус, например корпус 305, показанный на фиг. 6.

В другом примере осуществления, показанном на фиг. 14В и, в целом, обозначенном как 400', средний трубчатый электрод 405 не имеет покрытия или гальванического покрытия, и, таким образом, внутренняя сторона и внешняя сторона среднего трубчатого электрода 405 служат двумя катодными поверхностями. На поверхности внутреннего трубчатого электрода 410 и внешнего трубчатого электрода 415, обращенные к среднему трубчатому электроду 405, нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из ММО или платины, которое образует две анодные поверхности. Электроды монополярны, то есть электрический ток проходит через электролит один раз на один электрод. Каждый из электродов 405, 410, 415 может включать титановую трубку. Электрическое соединение (контакт) 430 анода соединено электрическим соединением с внутренним трубчатым электродом 410 и внешним трубчатым электродом 415. Электрическое соединение (контакт) 435 катода соединено электрическим соединением со средним трубчатым электродом 405.

Пример осуществления, показанный на фиг. 14В, аналогичен примеру, показанному на фиг. 14А, за исключением того, что электрический ток протекает от анодной поверхности на внутреннем трубчатом электроде 410 и внешнем трубчатом электроде 415 к двум катодным поверхностям, находящимся на среднем трубчатом электроде 405. Между внутренним трубчатым электродом 410 и внешним трубчатым электродом 415 может быть создано электрическое соединение посредством одного или более проводящих мостиков 440, которые могут быть изготовлены и включать или состоять из того же материала, что и внутренний трубчатый электрод 410 и внешний трубчатый электрод 415, например из титана. Электроды любых примеров осуществления электрохимических ячеек, включающих концентрические трубчатые электроды, могут представлять собой жесткие металлические электроды, толщина которых составляет, например, от приблизительно 0,25 до приблизительно 3 мм, от приблизительно 0,9 до приблизительно 2 мм или приблизительно 1,5 мм. У поверхностей электродов и в объеме раствора протекают электрохимические и химические реакции, в результате чего образуется раствор продукта, например гипохлорита натрия, находящийся в кольцевых зазорах 420, 425, образующихся между трубчатыми электродами 405, 410, 415. Электрохимическая ячейка 400' или ячейка 400' для электрохлорирования может быть заключена в непроводящий корпус, например корпус 305, показанный на фиг. 6. В некоторых примерах осуществления течение электролита через центр электрохимических ячеек 400, 400', через внутреннее пространство наиболее глуболежащих электродов 410, может быть заблокировано помещением в это пространство проводящего сердечника, например, представленного на фиг. 7В и рассмотренного выше при описании электрохимических ячеек, и/или концевых заглушек, например, представленных на фиг. 10 и/или 17, рассмотренном ниже.

В соответствии с другим примером осуществления электрохимическая ячейка или ячейка для электрохлорирования с концентрическими трубчатыми электродами включает четыре концентрических трубчатых электрода. Пример ячейки для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами представлен на фиг. 15, где она обозначена общим обозначением 500. Ячейка 500 для электрохлорирова-

ния с четырьмя трубчатыми электродами включает внутренний трубчатый электрод 505 и промежуточный трубчатый электрод 510, которые служат анодами и которые могут быть соединены электрическим соединением с электрическим соединителем (контактом) 525 анода. Внутренний трубчатый электрод 505 и промежуточный трубчатый электрод 510 также могут быть соединены электрическим соединением друг с другом посредством одного или более проводящих мостиков 550. Внешний трубчатый электрод 520 и промежуточный трубчатый электрод 515 служат катодами, которые могут быть соединены электрическим соединением с электрическим соединителем (контактом) 530 катода. Внешний трубчатый электрод 520 и промежуточный трубчатый электрод 515 также могут быть соединены электрическим соединением друг с другом посредством одного или более проводящих мостиков 555. Внешний трубчатый электрод 520 и промежуточный трубчатый электрод 515 расположены на противоположных сторонах промежуточного трубчатого анодного электрода 510.

Ячейка 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами функционирует аналогично ячейке 400 для электрохлорирования с тремя трубчатыми электродами, за исключением того, что подаваемый раствор электролита протекает через три кольцевых зазора 535, 540, 545, образованных в ячейке 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами. Дополнительный трубчатый электрод, добавленный в ячейку 400 для электрохлорирования с тремя трубчатыми электродами, для образования ячейки 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами обеспечивает дополнительную поверхность катодного электрода, дополнительную анодную поверхность и дополнительный кольцевой зазор. У поверхностей электродов и в объеме раствора протекают электрохимические и химические реакции, в результате чего образуется раствор продукта, находящийся в трех кольцевых зазорах 535, 540, 545, образованных в ячейке 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами. Ячейка 500 для электрохлорирования может быть заключена в непроводящий корпус, например корпус 305, показанный на фиг. 6. В других примерах осуществления внешний трубчатый электрод 520 и промежуточный трубчатый электрод 515 применяются в качестве анодов и на них может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, а внутренний трубчатый электрод 505 и промежуточный трубчатый электрод 510 применяются в качестве катодов и не имеют покрытия, устойчивого к окислению. В некоторых примерах осуществления течение электролита через центр электрохимической ячейки 500, через внутреннее пространство наиболее глубоколежащего электрода 505, может быть заблокировано помещением в это пространство проводящего сердечника, например, представленного на фиг. 7В в электрохимической ячейке, и/или размещением концевых заглушек, например, представленных на фиг. 10 и/или 17, рассмотренном ниже.

В соответствии с другим примером осуществления ячейка для электрохлорирования с концентрическими трубчатыми электродами включает пять концентрических трубчатых электродов. Пример ячейки для электрохлорирования с пятью трубчатыми электродами представлен на фиг. 16, где она обозначена общим обозначением 600. Ячейка 600 для электрохлорирования с пятью трубчатыми электродами включает промежуточные трубчатые электроды 620 и 625, служащие анодами, которые могут быть соединены электрическим соединением с электрическим соединителем (контактом) 635 анода. Промежуточные трубчатые электроды 620, 625 также могут быть соединены электрическим соединением друг с другом посредством одного или более проводящих мостиков 665. Внутренний трубчатый электрод 605, центральный трубчатый электрод 610 и внешний трубчатый электрод 615 служат катодами, которые могут быть соединены электрическим соединением с электрическим соединителем (контактом) 630 катода. Внутренний трубчатый электрод 605, центральный трубчатый электрод 610 и внешний трубчатый электрод 615 также могут быть соединены электрическим соединением друг с другом посредством одного или более проводящих мостиков 660. Промежуточные трубчатые электроды 620, 625 расположены на противоположных сторонах относительно центрального трубчатого анодного электрода 610.

Ячейка для электрохлорирования с пятью трубчатыми электродами функционирует аналогично ячейке 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами, за исключением того, что подаваемый раствор электролита протекает через четыре кольцевых зазора 640, 645, 650, 655, образованных в ячейке для электрохлорирования с пятью трубчатыми электродами. Дополнительная трубка, добавленная в ячейку 500 для электрохлорирования с четырьмя трубчатыми электродами, для образования ячейки 600 для электрохлорирования с пятью трубчатыми электродами обеспечивает наличие дополнительной поверхности катодного электрода, дополнительной анодной поверхности и дополнительного кольцевого зазора. У поверхностей электродов и в объеме раствора протекают электрохимические и химические реакции, в результате чего в четырех кольцевых зазорах, образованных в ячейке 600 для электрохлорирования пятью трубчатыми электродами, образуется раствор продукта. Ячейка 600 для электрохлорирования может быть заключена в непроводящий корпус, например корпус 305, показанный на фиг. 6. В других примерах осуществления внутренний трубчатый электрод 605, центральный трубчатый электрод 610 и внешний трубчатый электрод 615 служат анодами, и на них может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, а промежуточные трубчатые электроды 620 и 625 служат катодами и не имеют покрытия, устойчивого к окислению. В некоторых примерах осуществления течение электролита через центр электрохимической ячейки 600 через внутреннее пространство наиболее глубоколежащего электрода 605 может быть заблокировано помещением в это пространство проводящего сердечника, напри-

мер, представленного на фиг. 7В в электрохимической ячейке, и/или размещением концевых заглушек, например, представленных на фиг. 10 и/или 17, рассмотренном ниже.

На фиг. 17 представлен другой пример осуществления электрохимической ячейки, где она обозначена общим обозначением 700. Как показано на фиг. 17, анодные и/или катодные трубки 705, 710 в ячейке для электрохлорирования могут иметь отверстия 715, которые облегчают выпуск водорода, образованного в электрохимических реакциях, протекающих в ячейке для электрохлорирования, за пределы электродов 705, 710, что уменьшает эффект экранирования водородом поверхности электрода (электродов). Эффект экранирования водородом снижает доступную площадь анода и, следовательно, выход гипохлорита натрия. Дополнительно или в альтернативном варианте анод (аноды) и/или катод (катоды) может включать проницаемый для текучей среды и/или перфорированный материал или сетчатый материал, например перфорированный титан или титановую сетку, представленную на фиг. 8. Впускной конец и/или выпускной конец электрохимической ячейки 700 может быть снабжен концевой заглушкой 720, обеспечивающей перекрытие центральной внутренней части. Концевая заглушка (заглушки) 720 представляет собой центральный внутренний элемент или элемент, направляющий течение текучей среды, который предотвращает течение текучей среды по центральному каналу электрохимической ячейки 700, ограниченному пространством, находящимся внутри наиболее глуболежащего трубчатого электрода, так что среда протекает по кольцевому зазору (зазорам) 725. В некоторых примерах осуществления концевая заглушка (заглушки) 720 может быть присоединена к наиболее глуболежащему концентрическому трубчатому электроду электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами с помощью одного или более механических крепежей и/или за счет фрикционной посадки. В некоторых примерах осуществления концевая заглушка (заглушки) 720 может контактировать и/или быть присоединена только к наиболее глуболежащему концентрическому трубчатому электроду электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами. По меньшей мере один электрод в примерах осуществления электрохимических ячеек с концентрическими трубчатыми электродами может быть не соединен и не находиться в контакте с концевой заглушкой (заглушками) 720.

Электроды могут быть расположены внутри неметаллического корпуса, конструкция которого обеспечивает электрическую изоляцию электродов от окружающей среды и выдерживает давление текучей среды, например, внутри корпуса 305, представленного на фиг. 6. В любой из примеров осуществления ячеек для электрохлорирования или электрохимических ячеек с множеством трубчатых электродов или в любой из примеров осуществления электрохимических ячеек со спирально навитыми электродами, рассмотренные в настоящем описании, могут быть включены соответствующие элементы, например отверстия в электродах 715 и концевая заглушка (заглушки) 720, показанные на фиг. 17.

На фиг. 18А и 18В представлен другой пример осуществления электрохимической ячейки с концентрическими трубчатыми электродами, где она обозначена общим обозначением 800. Кроме анода 805 и катода 810, состоящих из множества трубок, в этом примере имеется третий трубчатый электрод 815, который представляет собой биполярный электрод. Одна концевая часть 815А биполярного трубчатого электрода 815 (в некоторых примерах осуществления приблизительно одна половина электрода 815) не имеет покрытия и функционирует как катод, а на другую концевую часть 815В (в некоторых примерах осуществления приблизительно на одну половину электрода 815) нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из платины или ММО, и эта часть функционирует как анод. Биполярный трубчатый электрод 815 расположен внутри трубчатого анодного электрода 805 и трубчатого катодного электрода 810, причем трубчатый анодный электрод 805 окружает концевую часть 815А, а трубчатый катодный электрод 810 окружает концевую часть 815В. Трубчатый анодный электрод 805 и трубчатый катодный электрод 810, имеющие одинаковый диаметр, смещены вбок по длине электрохимической ячейки 800. Биполярный трубчатый электрод 815 ориентирован таким образом, чтобы электрический ток мог протекать за два прохода через раствор электролита, пропускаемый между биполярным трубчатым электродом 815 и трубчатым анодным электродом 805 и трубчатым катодным электродом 810, аналогично действию устройства, показанного на фиг. 2В. Как показано на фиг. 18В, внутренняя разделительная заглушка 820 и/или концевая заглушка (заглушки) 825 представляют собой центральный внутренний элемент или элемент, направляющий течение текучей среды, который может быть помещен в биполярный трубчатый электрод 815 для предотвращения течения жидкости через центральное пространство наиболее глуболежащего электрода (например, наиболее глуболежащего биполярного трубчатого электрода 815) электрохимической ячейки 800. Электрохимическая ячейка 800 может быть помещена внутри неметаллического корпуса, например корпуса 305, показанного на фиг. 6.

Введение дополнительных биполярных трубчатых электродов 815 и перекрытие соответствующих трубчатых анодных электродов 805 и трубчатых катодных электродов 810 таким образом, что трубчатые анодные и катодные электроды располагаются на противоположных сторонах множества биполярных трубчатых электродов относительно радиального направления через ячейку для электрохлорирования или электрохимическую ячейку, может быть получена ячейка для электрохлорирования, в которой электрический ток совершает три или более прохода, которая по схеме аналогична многопроходной ячейке с РРЕ, представленной на фиг. 4.

Каждый электрод, находящийся в электрохимической ячейке или ячейке для электрохлорирования

с концентрическими трубчатыми электродами, может быть изготовлен из коммерчески доступных титановых трубок согласно стандарту ASTM B338 или трубчатых элементов или метрических эквивалентов, определяемых Американским национальным институтом стандартов (American national standards institute, ANSI), имеющих или не имеющих покрытие. Титановые концевые соединительные пластины 730 могут быть обрезаны с помощью лазера и могут быть приварены к трубчатым электродам, как показано на фиг. 17, для образования между трубчатыми электродами зазора соответствующей ширины, а также для подачи электрического тока к трубчатым электродам. Ширина зазора, составляющая, например, от приблизительно 1 до приблизительно 5 мм или от приблизительно 3 до приблизительно 4 мм, может поддерживаться вдоль длины трубчатых электродов с помощью разделительных выступов или разделителей, изготовленных из химически инертного и/или непроводящего материала, например ПТФЭ или ПВДФ. Разделители могут включать выступы 905 разделителей, например выступы разделителей С-образной или U-образной формы, которые размещены вокруг краев трубчатых электродов, представленных на фиг. 19. Дополнительно или в альтернативном варианте электроды могут быть высверлены на выбранных участках, и в отверстия для сохранения расстояния до поверхностей соседних электродов установлены непроводящие буферы 910, показанные на фиг. 19В. Буферы 910 могут быть сформованы из непроводящего полимера, например ПТФЭ или ПВДФ, и их конструкция может позволять защелкивать их для фиксации на месте. Например, буферы могут включать вставляемую и охватывающую детали, 910А, 910В, где вставляемая деталь 910А выполнена с возможностью защелкивания и удержания в охватывающей детали 910В; при этом вставляемая деталь 910А расположена на первой поверхности электрода, и охватывающая деталь расположена на противоположной поверхности электрода. Дополнительно или в альтернативном варианте разделители могут включать резьбовые фиксаторы 915, которые пропускают через отверстие в трубчатом электроде и которые отделяют трубчатый электрод от соседнего трубчатого электрода, как показано на фиг. 19С. В примерах осуществления электрохимических ячеек или ячеек для электрохлорирования со спирально навитыми или параллельными пластинами, рассмотренных в настоящем описании, также могут быть применены любые разделители, показанные на фиг. 19А-19С.

Как показано на фиг. 20А и 20В, для обеспечения электрического соединения с электродами может быть применено колесообразное устройство 100, изготовленное, например, из титана, и включающее спицы 1005, которые приварены к краям электродов в электрохимической ячейке или ячейке для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, рассмотренной в настоящем описании. Первое колесообразное устройство 1000 может быть размещено на первом конце электрохимической ячейки или ячейки для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, рассмотренной в настоящем описании, для создания электрического контакта с трубчатым анодным электродом (электродами), а второе колесообразное устройство 1000 может быть размещено на втором конце электрохимической ячейки или ячейки для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, рассмотренной в настоящем описании, для создания электрического контакта с трубчатым катодным электродом (электродами). В колесообразном устройстве 1000 могут быть сделаны отверстия 1010, позволяющие текучей среде протекать через зазоры между концентрическими трубчатыми электродами. Спицы 1005 могут иметь установочные элементы, например, прорези, выводы, штифты и/или выступы, расположенные через интервалы, например, аналогично прорезям в колесике 240, представленном на фиг. 10, которые фиксируют трубчатые электроды и поддерживают расстояние между трубчатыми электродами. Внешний обод 1015 колесообразного устройства 1000 может быть присоединен к источнику питания с помощью единственного соединителя 1020, как показано на фиг. 20А, или множества соединителей 1020, как показано на фиг. 20В.

Для безопасности и предотвращения коррозии соединение между электрическим соединителем 1020 и электрическим проводом 1025 от источника питания может быть герметизировано и изолировано от окружающей среды. На фиг. 21А и 21В показан пример способа применения уплотнительных прокладок 1030 для герметизации электрического соединителя 1020 во фланце 1035 на конце неметаллического корпуса 1040, в котором размещена электрохимическая ячейка или ячейка для электрохлорирования. Для соединения электрического соединителя 1020 с источником питания применяют водонепроницаемые соединители 1045 (например, соединители IP54).

На фиг. 21А и 21В также показаны примеры осуществления, которые обеспечивают высокую степень защиты (корпуса) от проникновения (англ. ingress protection, сокращенно IP), что защищает операторов от риска удара током и позволяет не использовать дорогостоящий устойчивый к атмосферным воздействиям кожух. Для изготовления неметаллического корпуса 1040 могут быть применены трубчатые компоненты, изготовленные из полимерного материала с высокой плотностью, например АБС, непластифицированного ПВХ (англ. unplasticized polyvinyl chloride, сокращенно U-PVC), хлорированного ПВХ (англ. chlorinated polyvinyl chloride, сокращенно С-PVC) и/или ПВДФ, который обладает химической стойкостью к воздействию гипохлорита натрия и способностью выдерживать высокие достигаемые давления, составляющие от приблизительно 5 до приблизительно 15 бар (от приблизительно 5×10^5 Па до приблизительно $1,5 \times 10^6$ Па). Для передачи электрического тока к и от электродов могут быть применены коммерчески доступные кабельные соединители с высоким показателем IP.

Примеры осуществления электрохимических ячеек или ячеек для электрохлорирования и устройств, включающих множество концентрических трубчатых электродов, имеют ряд преимуществ по сравнению с применяемыми в настоящее время электрохимическими конструкциями или конструкциями для электрохлорирования. Например, в применяемых в настоящее время ячейках для электрохлорирования с концентрическими трубчатыми электродами (СТЕ) только внутренняя поверхность внешнего электрода и внешняя поверхность внутреннего электрода участвуют в электродных реакциях, в которых образуется гипохлорит натрия. Другие поверхности изолированы от раствора электролита. Внешние трубки и электрические соединения открыты для воздействия окружающей среды. Напротив, в примерах осуществления с множеством трубчатых электродов (например, примерах осуществления с тремя трубчатыми электродами и пятью трубчатыми электродами) в анодах используется как внутренняя, так и внешняя поверхность трубчатых анодных электродов, на которые нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из ММО или платины.

В электрохимической ячейке или ячейке для электрохлорирования, включающей четыре концентрических трубчатых электрода, покрытие наносят или гальванизацию производят на обеих сторонах одного трубчатого анода, в то время как на другой трубчатый анод покрытие наносят только на одну сторону. Однако при этом использование материала все же остается более эффективным, чем в существующей конструкции с СТЕ.

В электродных устройствах с множеством трубчатых электродов, которые рассмотрены в настоящем описании, включающих три, четыре и пять трубчатых электродов происходит постепенное увеличение активной области на единицу объема по сравнению с электродами СТЕ, показанными на фиг. 1А и 1В. При увеличении числа трубчатых электродов, используемых в электрохимических ячейках или ячейках для электрохлорирования и устройствах, включающих множество концентрических трубчатых электродов, диаметр наиболее глуболежащего трубчатого электрода будет постепенно уменьшаться, что приводит к уменьшению активной площади поверхности на одну трубку. Однако в целом электродное устройство с множеством трубчатых электродов будет иметь значительно большую активную поверхность, чем электродное устройство с СТЕ, показанное на фиг. 1А и 1В.

Таким образом, электрохимические ячейки или ячейки для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, рассмотренные в настоящем описании, гораздо более компактны по сравнению с существующими СТЕ электролизерами, если их применяют в виде множества установок, образующих электролизер, который используют для получения эквивалентного количества гипохлорита натрия, что и с помощью существующих СТЕ электролизеров. Электрохимическая ячейка или ячейка для электрохлорирования, включающая три концентрических трубчатых электрода, занимает приблизительно на 30% меньше пространства, чем традиционная ячейка с СТЕ. Электрохимическая ячейка или ячейка для электрохлорирования, включающая четыре или пять концентрических трубчатых электродов, позволит сэкономить еще больше пространства.

Множество трубчатых электродов может быть помещено в немагнитический непроводящий корпус и присоединено к источнику питания посредством водонепроницаемых соединителей таким образом, что ни один из электрически активных компонентов не будет подвергаться воздействию окружающей среды (см., например, фиг. 21А и 21В). Такая конструкция гораздо более безопасна для операторов (рабочих), и при этом отсутствует риск возникновения короткого замыкания между устройствами и наружно заземленным компонентом или жидкостью. При этом отсутствует необходимость в герметичном кожухе, необходимом для доступных в настоящее время устройств с СТЕ, что снижает сложность системы и капитальные вложения на ее установку.

Ячейки для электрохлорирования с параллельными пластинчатыми электродами (РРЕ) имеют гораздо более высокую плотность упаковки элементов на единицу объема по сравнению с традиционными ячейками с СТЕ, и в них может быть получен более высококонцентрированный гипохлорит натрия. Ячейка для электрохлорирования, включающая множество концентрических трубчатых электродов, может превзойти указанные преимущества ячейки с РРЕ. При этом ячейка для электрохлорирования, включающая множество концентрических трубчатых электродов, не обладает недостатком ячейки с РРЕ, который состоит в необходимости периодической кислотной очистки, обусловленной низкой скоростью потока и, следовательно, низкой степенью самоочистки, обычно наблюдаемой в ячейках с РРЕ, что, таким образом, значительно сокращает затраты на текущий ремонт и снижает степень использования опасных химических веществ. Устройство с ячейкой для электрохлорирования, включающей множество концентрических трубчатых электродов, будет включать меньшее количество деталей, и, следовательно, ее легче монтировать, чем ячейку с РРЕ.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих концентрические трубчатые электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут включать аноды и катоды (или пары анод-катод), конфигурация и расположение которых позволяют направлять по существу всю или всю текучую среду, протекающую через активные области или зазоры между анодами и катодами в по существу или полностью осевом направлении через активные области. По существу или полностью осевое направление через активные области может быть параллельно или по существу параллельно центральной оси электрохимической ячейки и/или анодов и като-

дов (или пар анод-катод). Течение текучей среды через активные области может считаться течением в по существу осевом направлении или в полностью осевом направлении через активные области, даже если в течении текучей среды через активные области имеются турбулентные области и/или завихрения.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих концентрические трубчатые электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут иметь активные плотности, составляющие от приблизительно 46 до приблизительно 52%, более приблизительно 50%, в некоторых примерах осуществления более приблизительно 75%, в некоторых примерах осуществления более 85%, в некоторых примерах осуществления более 90% и в некоторых примерах осуществления до приблизительно 95%.

Ячейки для электрохлорирования применяют в агрегатах, используемых на море, в прибрежной зоне, в муниципальных зонах, в промышленности и в коммерческой деятельности. Конструкционные параметры ячеек для электрохлорирования, включающих множество концентрических трубчатых электродов, например, расстояние между электродами, толщина и плотность покрытия электродов, площади электродов, способы электрических соединений и т.д., могут быть выбраны в зависимости от воплощения. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены количеством электродов, расстоянием между электродами, материалом электродов или материалом разделителей, количеством проходов ячеек для электрохлорирования или материалом покрытия электродов.

В соответствии с другим аспектом в электрохимических ячейках или ячейках для электрохлорирования могут быть установлены электроды, расходящиеся в виде лучей от одной оси в радиальном направлении, также называемые в настоящем описании электродами, по существу, имеющими радиальную ориентацию. Электроды, расходящиеся в виде лучей от одной оси в радиальном направлении, могут включать катоды и аноды, отходящие от области, расположенной у центрального канала электрохимической ячейки или ячейки для электрохлорирования, по направлению к внешнему кожуху или корпусу ячейки. Катодные и анодные электроды чередуются вдоль окружности, очерченной в плоскости, в целом, перпендикулярной течению жидкости через ячейку. Катодные и анодные электроды разделены зазорами, и жидкость, протекающая через зазоры, подвергается электрохимической обработке, например электрохлорированию. Несмотря на то, что обычно считается, что архитектура со спирально навитыми электродами обладает самым высоким из возможных отношением площади поверхности к объему, плотности упаковки в конструкциях с электродами, расходящимися от одной оси в радиальном направлении, могут иметь значения, близкие к такой величине. Конструкция с электродами, расходящимися от одной оси в радиальном направлении, также может быть признана более простой, чем конструкция со спирально навитыми электродами, благодаря простоте образующих ее субкомпонентов и устойчивости методик (листовой металл, спекание, экструзия), которые могут быть применены для ее изготовления.

На фиг. 22А и 22В представлен один репрезентативный неограничивающий пример осуществления электрохимической ячейки или ячейки для электрохлорирования, включающей радиально расходящиеся электроды, где ячейка обозначена общим обозначением 1100. Электрохимическая ячейка 1100 включает множество радиально расходящихся анодов 1105, отделенных от радиально расходящихся катодов 1110 каналами 1115 для текучей среды. Радиально расходящиеся аноды 1105 и радиально расходящиеся катоды 1110 направлены от области 1130, ограниченной вблизи и вокруг центральной оси 1135 электрохимической ячейки 1100, в направлении наружу к периферии или к корпусу электрохимической ячейки. В некоторых примерах осуществления некоторые из или все аноды 1105 представляют собой жесткие металлические электроды, например титановые электроды, на которые может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из ММО или платины. В некоторых примерах осуществления некоторые из или все катоды 1110 представляют собой жесткие металлические электроды, например титановые электроды, или в других примерах осуществления пористые катоды, подходящие для диффузии газа, которые обеспечивают отвод водорода. В некоторых примерах осуществления некоторые из или все аноды 1105 могут представлять собой аноды, подходящие для диффузии газа. В некоторых примерах осуществления электрохимические ячейки или ячейки для электрохлорирования, включающие радиально расходящиеся электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут включать один или более биполярных электродов. Электроды любого из примеров осуществления электрохимических ячеек, включающих радиально расходящиеся электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут представлять собой жесткие металлические электроды, толщины которых составляют, например, от приблизительно 0,25 до приблизительно 3 мм или от приблизительно 1 до приблизительно 2 мм.

Для подачи кислорода может быть сформирован центральный канал 1120 для газа, что позволяет кислороду реагировать с водородом, генерируемым, например, в реакциях электрохлорирования, протекающих в ячейке 1100, с образованием воды. В некоторых примерах осуществления имеется катализатор, например, на и/или в катодах 1110, который способствует протеканию реакции между кислородом и водородом в ячейке 1100. Радиально расходящиеся аноды 1105, радиально расходящиеся катоды 1110, каналы 1115 для текучей среды и центральный канал 1120 могут быть заключены в непроводящий внешний кожух 1125. Отношение площади поверхности электродов к объему можно регулировать, правильно подбирая такие параметры, как толщина электродов, расстояние между электродами, а также общий размер ячейки.

Текучая среда, например электролит, обрабатываемый в ячейке 1100, может протекать через каналы для текучей среды в направлении, по существу, параллельном центральному каналу 1120 и центральной оси 1135. В некоторых примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих радиально расходящиеся аноды 1105 и радиально расходящиеся катоды 1110, рассмотренных в настоящем описании, конфигурация и расположение радиально расходящихся анодов 1105 и радиально расходящихся катодов 1110 позволяют направлять течение некоторой части или всей текучей среды через каналы для текучей среды, ограниченные соседними радиально расходящимися анодами 1105 и радиально расходящимися катодами 1110, в направлении, параллельном или, по меньшей мере, по существу, параллельном центральной продольной оси электрохимической ячейки.

На фиг. 22С представлено перспективное изображение поперечного сечения анода 1105 электрохимической ячейки 1100, представленной на фиг. 22А. На фиг. 22D представлено перспективное изображение поперечного сечения катода 1110 электрохимической ячейки 1100, представленной на фиг. 22А, на котором показано возможное соединение радиально расходящихся деталей 1110А с помощью удерживающих элементов 1110В.

На фиг. 22Е показана альтернативная конфигурация электрохимической ячейки 1100, представленной на фиг. 22А и 22В, в которой радиально расходящиеся аноды 1105 и радиально расходящиеся катоды 1110 имеют, по существу, одинаковую толщину в радиальном направлении. Электрохимическая ячейка, представленная на фиг. 22Е, также включает сплошную внутреннюю деталь 1150, которая предотвращает протекание текучей среды через внутреннюю часть электрохимической ячейки. Внутренняя деталь 1150 может включать непроводящий материал, например ПВДФ, ПТФЭ или другой полимер, или может быть изготовлена из проводящего материала. На фиг. 22F и 22G показано, каким образом радиально расходящиеся аноды 1105 и радиально расходящиеся катоды 1110 примеров осуществления электрохимических ячеек или ячеек для электрохлорирования, включающих радиально расходящиеся электроды, могут быть соединены или присоединены друг к другу с помощью изолирующих элементов 1140. На фиг. 22H показано, что примеры осуществления электрохимических ячеек или ячеек для электрохлорирования, включающих радиально расходящиеся электроды 1105, 1110, могут быть монополярны. На фиг. 22I показано, что примеры осуществления электрохимических ячеек или ячеек для электрохлорирования, включающих радиально расходящиеся электроды, могут быть биполярны и включать радиально расходящиеся аноды 1105 и радиально расходящиеся катоды 1110, расположенные на соответствующем расстоянии друг от друга по длине электрохимической ячейки, а также биполярный радиально направленный электрод 1145. Для создания многополярной (многополюсной) электрохимической ячейки в ячейке могут быть размещены дополнительные радиально расходящиеся аноды 1105 и/или радиально расходящиеся катоды 1110.

На фиг. 23А-23D показана электрохимическая ячейка, обозначенная общим обозначением 1200, которая включает конфигурацию конструкции для течения жидкости, отличную от геометрии электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А и 22В. Применение отклоняющих заглушек позволяет установить схему течения текучей среды в осевом направлении через электрохимическую ячейку 1200. Как показано на фиг. 23А, электрохимическая ячейка 1200 может включать концевую заглушку 1205 на впускное отверстие, снабженную отверстиями 1210, расположенными по окружности вблизи внешнего края 1215, но со смещением от внешнего края 1215 концевой заглушки 1205 на впускное отверстие. Отверстия 1210 могут быть соединены соединением, подходящим для переноса текучей среды, с каналами 1220 для текучей среды, находящимися между анодами 1225 и катодами 1230 внутри электрохимической ячейки 1200. Таким образом, текучая среда, например электролит, вводимый через отверстия 1210, может радиально втекать вовнутрь в направлении, указанном стрелкой 1235 (фиг. 23В), в центральный канал 1240 для текучей среды по мере того, как текучая среда перемещается по длине электрохимической ячейки 1200. Радиально расходящиеся аноды 1225 и радиально расходящиеся катоды 1230 направлены от центрального канала 1240 электрохимической ячейки 1200 наружу к периферии или корпусу электрохимической ячейки 1200. Как и в электрохимической ячейке 1100, некоторые из или все аноды 1225 представляют собой металлические электроды, например титановые электроды, на которые может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из ММО или платины, и некоторые из или все катоды 1230 представляют собой пористые катоды, подходящие для диффузии газа, что обеспечивает отвод водорода. Для подвода кислорода к катодам 1230, подходящим для диффузии газа, внутри непроводящего внешнего кожуха или корпуса 1250 может быть создан канал 1245 для газа, расположенный по окружности снаружи каналов 1220 для текучей среды. Как показано на фиг. 23С, на концевой заглушке 1260 для выпускного отверстия имеется выпускное отверстие 1255, расположенное, по существу, по центру и находящееся в соединении, подходящем для переноса текучей среды, с центральным каналом 1240. В альтернативном примере осуществления текучая среда может протекать от концевой заглушки 1260 для выпускного отверстия к концевой заглушке 1205 для впускного отверстия и течь радиально наружу от центрального канала 1240 к отверстиям 1210 по мере протекания текучей среды через электрохимическую ячейку 1200.

Как показано на фиг. 23D, электрохимическая ячейка 1200 может включать внутренние отражательные перегородки 1265. Отражательные перегородки 1265 могут быть применены для регулирования

или изменения направления течения и/или для перемешивания текучей среды, пропускаемой через электрохимическую ячейку 1200, и могут дополнительно удлинять каналы 1220 для течения текучей среды по сравнению с электрохимической ячейкой 1200, в которой отсутствуют отражательные перегородки 1265. Течение текучей среды через электрохимическую ячейку 1200 может проходить от внешних отверстий 1210 к центральному каналу 1240 для текучей среды, от центрального канала 1240 для текучей среды к центральному каналу 1240 для текучей среды или от внешних отверстий 1210 к внешним отверстиям 1210.

На фиг. 24 представлен другой вариант геометрии электрохимической ячейки, представленной на фиг. 22А и 22В. Снижение толщины электродов и уменьшение зазоров между электродами позволяет повысить отношение площади поверхности электродов 1105, 1110 к объему ячейки для электрохлорирования.

На фиг. 25А представлен другой вариант геометрии электрохимической ячейки, представленной на фиг. 24, в котором площадь поверхности электродов 1105, 1110 была дополнительно увеличена посредством применения искривлений. В примере осуществления, представленном на фиг. 25А, каждый анод 1105 и катод 1110 имеет волнообразную форму. В других примерах осуществления аноды 1105 и катоды 1110 могут иметь искривления, отличающиеся от показанных, которые позволяют увеличивать площадь поверхности электродов. Например, как показано на фиг. 25В, электрохимическая ячейка может включать либо аноды 1105, либо катоды 1110, имеющие волнообразную форму, в то время как другие аноды 1105 или катоды 1110 не имеют волнообразной формы.

На фиг. 26 представлена модификация примера осуществления, представленного на фиг. 22А и 22В, включающая многоканальную геометрию с волнообразными электродами. В примере осуществления, представленном на фиг. 26, площадь поверхности для удаления водорода вблизи или в катодах 1110 может быть увеличена по сравнению с примером осуществления, представленным на фиг. 22А и 22В, за счет включения множества катодов 1110, подходящих для диффузии газа, на один анод 1105. Газ, например кислород, может быть подведен к множеству катодов 1110, подходящих для диффузии газа, через осевые каналы 1145 для газа, радиально отходящие от центрального канала 1120, а также через центральный канал 1120.

На фиг. 27А-27С представлен пример осуществления конфигурации пневматической и электрической разводки осевых каналов 1145 для газа, представленной на фиг. 26. Концевые заглушки 1150, 1155 с высвобожденными элементами 1160 каналов и впускными отверстиями/выпускными отверстиями 1165 для газа могут быть установлены на противоположных концах 1170, 1175 электрохимической ячейки 1100, образуя, таким образом, пневматически герметичные камеры. Потенциально заглушки 1150, 1155 могут иметь две функции, поскольку они также могут включать электрические контакты для подвода электрического тока к электродам 1105, 1110.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих радиально расходящиеся электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут включать аноды и катоды (или пары анод-катод), конфигурация и расположение которых позволяют направлять по существу всю или всю текучую среду, протекающую через активные области или зазоры между анодами и катодами в по существу или полностью осевом направлении через активные области. По существу или полностью осевое направление через активные области может быть параллельным или по существу параллельным центральной оси электрохимической ячейки и/или анодов и катодов (или пар анод-катод). Течение текучей среды через активные области может считаться течением в по существу осевом направлении или в полностью осевом направлении через активные области, даже если в течении текучей среды через активные области имеются турбулентные области и/или завихрения.

Аспекты и примеры осуществления электрохимических устройств или устройств для электрохлорирования, включающих радиально расходящиеся электроды, рассмотренные в настоящем описании, могут иметь активные плотности, составляющие от между приблизительно 46 до приблизительно 52%, более приблизительно 50%, в некоторых примерах осуществления более приблизительно 75%, в некоторых примерах осуществления более 85%, в некоторых примерах осуществления более 90% и в некоторых примерах осуществления до приблизительно 95%.

В соответствии с другим аспектом изобретение относится к прямоугольной электрохимической ячейке с закругленными краями или электрохимической ячейке без осевой намотки. Прямоугольная форма с закругленными краями представляет собой двухмерную форму, включающую два полукруга, присоединенные параллельными линиями, тангенциальными к их конечным токам (фиг. 28А), и полученная форма затем может быть экстраполирована в третье измерение (фиг. 28В).

Прямоугольная форма с закругленными краями имеет определенные преимущества по сравнению с электрохимическими ячейками с осевой намоткой или цилиндрическими электрохимическими ячейками, поскольку она позволяет создавать множество конфигураций для гидродинамического направления потоков и электрической разводки. Примеры осуществления прямоугольной электрохимической ячейки с закругленными краями могут включать один или более каналов, ограниченных двумя или более электродами, намотанными вокруг периметра центральной прямоугольной внутренней части с закругленными краями. Каналы могут быть сформированы множеством способов, например с помощью электродов,

мембран, разделителей, трубок или других элементов. Форма электродов также может быть различной и включать, без ограничений, проводящие листы стабильных размеров или подходящие для диффузии газа электроды. После формирования названные каналы применяются для доставки одного или более реагентов, как посредством текучей среды, так и газа. К электродам может быть подведено напряжение, под действием которого в электрохимической ячейке образуются один или более продуктов.

На фиг. 29А-29D представлены несколько различных примеров осуществления конфигурации потока. Например, как показано на фиг. 29А, вокруг прямоугольной внутренней части с закругленными краями может быть обвит единственный канал с единственным направлением течения, которое направлено либо изнутри наружу, либо снаружи внутрь. Другие примеры осуществления, например, такой, как показано на фиг. 29В, включают геометрические формы, включающие более одного канала, через которые текучая среда и/или газ могут протекать во множестве направлений. Такие геометрические формы особенно предпочтительны в тех примерах осуществления, в которых применяют электроды, подходящие для диффузии газа, в которых обрабатываемая текучая среда протекает через один канал, а кислород подводят к подходящим для диффузии газа электродам через другой канал. В другом примере осуществления, представленном на фиг. 29С, реагенты могут перемещаться "непрерывным сквозным потоком" вдоль оси экструзии центральной внутренней части. Дополнительные примеры осуществления, представленные на фиг. 29D, включают комбинации конфигураций течения, показанных на фиг. 29А и 29С, в которых в некоторых ячейках текучая среда перемещается вдоль внутренней экструдированной части, а в других ячейках следует вдоль обвитого периметра.

На фиг. 30А-30С представлены возможные конфигурации электрической разводки в примерах осуществления электрохимических ячеек прямоугольной формы с закругленными краями. В некоторых примерах осуществления ориентация электрической разводки имитирует направление движения текучей среды. В некоторых примерах осуществления для подачи напряжения между ячейками могут быть применены электрические шины 1305, которые либо проходят вдоль длины внутренней экструдированной части (фиг. 30А), либо обвиты вокруг периметра (фиг. 30В).

На фиг. 30С представлен неограничивающий пример осуществления экструдированного электрического соединения, в котором внутренний элемент состоит из анода 1310, отделенного от катодов 1315 изоляцией 1320. В этой конфигурации полукруглые концевые секции 1325 могут быть смещены для размещения толщины пачки (пачек) 1330 электродов и создания гладкого перехода при размещении пачек 1330 друг поверх друга. Кроме того, могут быть применены простые и безопасные электрические соединения (фиг. 31А и 31В), включающие винты или болты 1335 и проводящие разделители 1340, применяемые для электрического соединения электродов 1345 с шинами 1350 и размещения друг относительно друга и разделителей 1350.

В соответствии с другим аспектом изобретение относится к установке и способу образования улучшенного электрического соединения с электродами в электрохимическом устройстве или ячейке или устройстве или ячейке для электрохлорирования. Примеры осуществления такого улучшенного электрического соединения подходят для любого и для всех электрохимических устройств или ячеек и устройств или ячеек для электрохлорирования, рассмотренных в настоящем описании.

В процессе функционирования электрохимической ячейки часто бывает желательным поддерживать низкую рабочую температуру даже при более высоких значениях электрического тока, проходящего через электрохимическую ячейку. Традиционные электрохимические ячейки обычно включают только титановые электрические соединители 101А, 101В, приваренные к внешнему титановому кожуху (см. фиг. 1А). Титановые электрические соединители 101А, 101В обеспечивают высокую химическую стойкость, но при подводе электричества к электрохимической ячейке они могут нагреваться, что нежелательно (из-за потерь энергии). Из-за высокого сопротивления титановых соединителей, величина электрического тока, подводимого к традиционным титановым соединителям, может иметь ограничения, чтобы температура воздуха вокруг соединителей не поднималась слишком высоко. Однако это ограничивает выход хлора или гипохлорита натрия, вырабатываемого в ячейке для электрохлорирования, поскольку выход гипохлорит натрия в ячейке прямо пропорционален величине подаваемого электрического тока. Из-за нагрева традиционных титановых соединителей, такие соединители нельзя полностью заключать в электроизоляционный материал с высокой степенью защиты от проникновения по IP54 или более. Это приводит к необходимости применения дорогостоящих кожухов для электрических элементов, которые не удерживают тепло в той же степени, что и заключенные в кожух электрические соединители. Для преодоления указанных недостатков традиционные титановые соединители часто изготавливают из материала с большим поперечным сечением, что существенно повышает стоимость электрического соединителя и электрохимической ячейки.

Сопротивление меди составляет $1,707 \times 10^{-8}$ Ом/м, в то время как сопротивление титана составляет $7,837 \times 10^{-7}$ Ом/м. Сопротивление меди приблизительно в 46 раз меньше электрического сопротивления титана. Соответственно может быть желательно изготавливать электрические соединители для электродов электрохимической ячейки, по меньшей мере, частично из меди, имеющей низкое сопротивление. Однако медь более подвержена химической коррозии, чем титан и вследствие этого не должна контакти-

ровать с электролитом, протекающим через электрохимическую ячейку.

В некоторых примерах осуществления улучшенного электрического соединителя часть электрического соединителя, контактирующая с технологической текучей средой или электролитом (например, морской водой, содержащей следы коррозионно-активного эквивалентного хлора), представляет собой титан. Теплота, генерируемая электрическими токами, протекающими через этот материал, эффективно отводится текучей технологической текучей средой. Поскольку скорость течения технологической текучей среды часто достигает значительных величин, которые могут превышать 2 м/с в самоочищающихся ячейках и составлять от 0,2 до 0,4 м/с в ячейках с плоскими пластинчатыми электродами, повышение температуры титановых деталей электрического соединителя остается на пренебрежимо малом уровне. Часть электрического соединителя, контактирующая с воздухом, изготовлена из меди (или другого металла или сплава, сопротивление которого ниже, чем сопротивление титана).

Недостатки традиционных титановых соединителей могут быть устранены за счет применения электрических соединителей, охлаждаемых воздухом и жидкостью, которые включают части, полученные из разных металлов, например титана и меди (или другого металла или сплава, сопротивление которого ниже, чем сопротивление титана). Металл с меньшим электрическим сопротивлением (например, медь) может формировать или может быть включен в часть электрического соединителя, подвергающуюся действию воздуха. Из-за очень низкого электрического сопротивления повышение температуры невелико и ограничивается приемлемой величиной. Этот внешний проводник соединен с внутренней частью соединителя, имеющей более высокое химическое сопротивление (например, из титана), которая контактирует с технологической жидкостью (например, морской водой). Благодаря охлаждению под действием водной технологической жидкости повышение температуры во внутренней части соединителя, имеющей более высокое химическое сопротивление, невелико и ограничивается приемлемой величиной.

При сравнимых величинах электрического тока объединенный биметаллический (состоящий из двух металлов) электрический соединитель может быть более экономически эффективным, чем традиционный соединитель, изготовленный только из титана. Температура внешнего проводника в биметаллическом электрическом соединителе повышается незначительно, что позволяет заключать этот проводник в электроизоляционные материалы, что, таким образом, исключает необходимость использования дорогостоящих кожухов для электрооборудования. Кроме того, примеры осуществления биметаллического электрического соединителя с воздушно-жидкостным охлаждением позволяют подводить к конструктируемым электрохимическим ячейкам гораздо более высокие электрические токи, чем в случае использования традиционных соединителей для электрических ячеек, состоящих только из титана.

На фиг. 32 показан пример осуществления электрохимической ячейки 1400, включающей электрический соединитель, включает титановую деталь 1405, которая во время функционирования будет контактировать с технологической текучей средой или электролитом, и медную деталь 1410, которая во время функционирования будет контактировать с воздухом. Титановая деталь 1405 и медная деталь 1410 могут быть физически и электрически соединены внутри фланца 1415 электрохимической ячейки, который обеспечивает герметичное уплотнение вокруг деталей соединителя и изолирует внутреннюю область электрохимической ячейки от окружающей среды, например, с помощью уплотнительных прокладок (для простоты не показанных на фиг. 32), как указано выше при описании фиг. 13А-13С и/или 21А и фиг. 21В. Следует понимать, что медь представляет собой пример материала с высокой проводимостью, и в электрических соединениях, рассмотренных в настоящем описании, она может быть заменена другим материалом или сплавом с высокой электропроводностью. Термин "медная деталь" или "медь" использован для удобства, и следует понимать, что это не означает, что рассмотренные элементы изготовлены только из меди.

Различные примеры изготовления биметаллического электрического соединителя с воздушно-жидкостным охлаждением, устанавливаемого в электрохимических ячейках, рассмотренных в настоящем описании, представлены на фиг. 33А-33F. Например, на фиг. 33А показан способ, в котором титановая деталь 1405 соединена с медной деталью 1410 механическими крепежными элементами, например болтами 1420. Болты 1420 могут быть изготовлены из того же материала, что и титановая деталь 1405 или медная деталь 1410. Титановая деталь 1405 в примере осуществления, представленном на фиг. 33А, а также в других примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, может включать лапки или спицы 1425, которые образуют электрический контакт либо с анодами, либо с катодами электрохимического устройства, и отверстия 1430, позволяющие технологической текучей среде, например электролиту, втекать или вытекать из электрохимического устройства. Лапки или спицы 1425 могут включать прорезы 1430, захватывающие электроды, находящиеся в электрохимическом устройстве.

На фиг. 33В показан способ, в котором титановая деталь 1405 соединена с медной деталью 1410 посадкой с натягом. Сравнивая фиг. 33А и 33В, можно отметить, что медная деталь 1410 может выступать за пределы титановой детали 1405 или может полностью окружать титановую деталь 1405.

На фиг. 33С показан пример осуществления, в котором титановая деталь 1405 включает внешний обод 1435 с нанесенной резьбой, который может быть ввинчен в соответствующее место медной детали 1410 с помощью соответствующей резьбы, нанесенной на внутренний обод отверстия 1440, имеющегося

в медной детали 1410.

В другом примере осуществления, показанном на фиг. 33D, медная деталь 1410 включает нижнюю цилиндрическую резьбовую часть 1445, которую ввинчивают в отверстие 1450 титановой детали 1405. На фиг. 33A-33C титановая деталь 1405, по существу, представляет собой пластину, но на фиг. 33D титановая деталь 1405 представляет собой трехмерный цилиндрический элемент.

В дополнительном примере осуществления, показанном на фиг. 33E, медная деталь 1410 заменена полиметаллическим электрическим соединителем 1455, изготовленным, например, из сплава титана и меди или из одного или более других металлов с высокой электропроводностью. Сопротивление полиметаллического электрического соединителя 1455 ниже, чем сопротивление титана. Полиметаллический электрический соединитель 1455 может быть приварен к титановой детали 1405, представленной на фиг. 33E. В других примерах осуществления медные детали 1410, показанные на любом из фиг. 33A-33D, могут быть заменены полиметаллическими деталями, имеющими размеры, аналогичные размерам медных деталей 1410 в этих примерах осуществления.

В соответствии с другим аспектом ячейка для электрохлорирования, которая обозначена общим обозначением 1500 на фиг. 34A и 34B, включает катод 1505 из множества параллельных пластин 1505A, электрически и механически соединенных с дугообразным основанием 1505B, и анод 1510 из множества параллельных пластин 1510A, электрически и механически соединенных с дугообразным основанием 1510B. Параллельные пластины 1505A катода 1505 чередуются с параллельными пластинами 1510A анода 1510. Как и в других примерах осуществления, рассмотренных в настоящем описании, анод 1510 и/или катод 1505 может быть изготовлен из титана, и на анод 1510 может быть нанесено покрытие, устойчивое к окислению, например, из платины или ММО. Анод 1510 и/или катод 1505 могут быть изготовлены способом экструзии. Катод 1505 и анод 1510 расположены в цилиндрическом или по существу цилиндрическом резервуаре 1515, который в некоторых примерах осуществления изготовлен из непроводящего материала. Электрические соединения с анодом 1510 и катодом 1505 могут быть выполнены в соответствии с любым из механизмов электрического соединения, рассмотренных выше. Между пластинами анода 1510 и катода 1505 в соответствии с любым из принципов разделения, рассмотренных выше, могут быть размещены разделители. Активные области анода 1505 и катода 1510 включают параллельные пластины 1505A катода 1505 и параллельные пластины 1510A анода 1510 и в некоторых примерах осуществления дугообразные основания 1505B, 1510B катода 1505 и анода 1510. Движение текучей среды через резервуар 1515 осуществляется в направлении, показанном на фиг. 34B, обычно перпендикулярном направлению пластин анода 1510 и катода 1505 от их соответствующих точек закрепления на основании. Активные области анода 1505 и катода 1510 располагаются, по существу, по всему поперечному сечению резервуара 1515, оставляя расстояние от краев резервуара 1515, достаточное только для того, чтобы анод 1505 и катод 1510 не контактировали друг с другом и не создавали короткого замыкания. Для обеспечения большой активной площади электродов дугообразные основания 1505B, 1510B могут представлять собой арки, составляющие несколько менее 180°, например от приблизительно 165 до приблизительно 175°. Таким образом, ячейка 155 для электрохлорирования включает большую площадь активных электродов на единицу объема, чем традиционные устройства для электрохлорирования с параллельными пластинчатыми электродами, и может производить эквивалентное хлорирование при меньшем общем объеме.

Альтернативные конфигурации электрохимической ячейки 1500 с различными расстояниями между пластинчатыми анодами и катодами показаны на фиг. 34C и 34D. Как показано, самые внешние пластины 1510A, 1505A анода 1510 или катода 1505 могут иметь утолщенные части 1510C, 1505C, толщина которых превышает толщину оснований 1510B, 1505B, и которые могут иметь толщину, равную или превышающую толщину других пластин 1510A, 1505A. В некоторых примерах осуществления утолщенные части 1510C, 1505C могут быть сформованы сгибанием вовнутрь листового металла, из которого изготовлены внешние пластины 1510A, 1505A. Аноды 1510 и/или катоды 1505 могут быть сформованы сгибанием листового металла (фиг. 34C) и/или экструзией (фиг. 34D). Электрохимическая ячейка 1500, включающая чередующиеся аноды и катоды 1510, 1005, может быть монополярной и иметь один анод 1510 и катод 1505 (фиг. 34E) или биполярной (фиг. 34F) и иметь один анод 1510 и катод 1505, разнесенные относительно друг друга по длине электрохимической ячейки 1500, каждый из которых имеет пластины, чередующиеся с пластинами биполярного электрода 1520. Для создания многополярной электрохимической ячейки могут быть добавлены дополнительные аноды 1510 и/или катоды 1505.

Электрохимические ячейки и устройства или ячейки и устройства для электрохлорирования, рассмотренные в настоящем описании, могут составлять часть более крупной системы. Один из примеров системы, в которой применяют одну или более электрохимических ячеек или устройств или ячеек или устройств для электрохлорирования, показан на фиг. 35 и обозначен общим обозначением 1600. В некоторых примерах осуществления система 1600 представляет собой морскую систему, например водное судно или нефтяную платформу, и в других примерах осуществления - наземное сооружение, например электростанцию, нефтебуровую установку или систему или другое промышленное предприятие. В других примерах осуществления система 1600 представляет собой или может включать плавательный бассейн или систему обработки питьевой воды, сточных вод или способы промышленной обработки воды, в

которых для обработки или дезинфекции воды используют один или более продуктов, получаемых в электрохимических устройствах системы 1600, например дезинфицирующее средство.

Система 1600 включает одну или более систем 1605 для электрохлорирования, которые могут включать одну или более электрохимических ячеек или устройств или ячеек или устройств для электрохлорирования, рассмотренных в настоящем описании. В систему может быть направлена технологическая жидкость или электролит, который в некоторых примерах осуществления представляет собой морскую воду или слабоминерализованную воду, направляемую из источников 1610А, находящихся вне системы, и/или источников 1610, находящихся внутри системы. Например, если система представляет собой морскую систему, то внешним источником 1610А может быть океан, а внутренним источником 1610В может быть, например, балластный резервуар водного судна. В наземной системе внешним источником 1610А может быть океан, а внутренним источником 1610В может быть слабоминерализованная сточная вода из промышленного способа, выполняемого в системе 1600. Одна или более систем 1605 электрохлорирования образуют хлорированную воду и/или раствор, содержащий гипохлорит натрия из воды, получаемой от источников 1610А и/или 1610В, и направляют его в место 1615 использования. Место использования может представлять собой источник охлаждающей воды, используемой в системе, источник дезинфицирующего средства для балластного резервуара водного судна, забой скважины нефтяной системы или любую другую систему, в которой может быть использована хлорированная вода. Течение текучей среды через систему 1600 может регулироваться различными насосами 1620. Один или более датчиков 1625 могут отслеживать один или более параметров протекающей через систему текучей среды, например концентрации ионов, концентрацию хлора, температуру или любой другой интересующий параметр. Насосы 1620 и датчики 1625 находятся в коммуникации с системой управления или контроллером 1630, который сообщается с датчиками 1625 и насосами 1620 и регулирует работу насосов 1620 и других элементов системы 1600 для достижения требуемых рабочих параметров.

Контроллер 1630, применяемый для отслеживания и регулирования работы различных элементов системы 1600, может включать компьютеризованную систему управления. Различные аспекты контроллера 1630 могут быть осуществлены в виде специализированного программного обеспечения, выполняемого универсальной компьютерной системой 1700, такой, как показано на фиг. 36. Компьютерная система 1700 может включать процессор 1702, присоединенный к одному или более устройств 1704 памяти, такому как накопитель на магнитных дисках, полупроводниковая память или другое устройство для хранения данных. Память 1704 обычно применяют для хранения программ и данных во время работы компьютерной системы 1700. Компоненты компьютерной системы 1700 могут быть соединены с помощью соединительного механизма 1706, который может включать одну или более шин (например, между компонентами, которые интегрированы в составе одной машины) и/или сеть (например, между компонентами, которые находятся в отдельных машинах). Соединительный механизм 1706 позволяет обмениваться сообщениями (например, данными, инструкциями) между системными компонентами системы 1700. Компьютерная система 1700 также включает одно или более устройств 1708 ввода, например клавиатуру, мышь, шаровой манипулятор, микрофон, сенсорный экран, и одно или более устройств 1710 вывода, например печатающее устройство, дисплей и/или громкоговоритель.

Устройства 1710 вывода также могут включать клапаны, насосы или переключатели, которые могут быть применены для введения технологической воды (например, слабоминерализованной воды или морской воды) из источника 1610А и/или 1610В в систему 1605 для электрохлорирования или место 1615 использования и/или для регулирования скорости перекачивания насосов 1620. Один или более датчиков 1714 также могут передавать входные данные в компьютерную систему 1700. Эти датчики могут включать, например, датчики 1625, которые могут представлять собой, например, датчики давления, датчики концентрации химических веществ, датчики температуры или датчики любых других интересующих параметров системы 1600. Эти датчики могут быть установлены на любом участке системы 1600, в котором нужно их присутствие, например выше по потоку относительно места 1615 использования и/или системы 1605 электрохлорирования, или могут быть соединены соединением, подходящим для переноса текучей среды, с источником 1601А и/или 1601В. Кроме того, компьютерная система 1700 может содержать один или более интерфейсов (не показаны), которые соединяют компьютерную систему 1700 с коммуникационной сетью наряду с соединительным механизмом 1706 или в качестве альтернативы соединительному механизму 1706.

Система 1712 хранения, более подробно показанная на фиг. 37, обычно включает пригодный для чтения и записи на компьютере носитель 1802 долговременной записи, на котором хранятся сигналы, определяющие программу, выполняемую процессором 1702, или информация, обрабатываемая программой. Носитель может включать, например, память на диске или флэш-память. Обычно в процессе работы процессор считывает данные с носителя 1802 долговременной записи в другую память 1804, которая обеспечивает большую скорость доступа процессора к информации, чем носитель 1802. Такое устройство 1804 памяти обычно представляет собой энергозависимое запоминающее устройство с произвольным доступом, такое как динамическая оперативная память (англ. dynamic random access memory, сокр. DRAM) или статическое запоминающее устройство (англ. static memory, сокр. SRAM). Она может находиться, как показано, в системе 1712 хранения или в запоминающей системе 1704. Процессор 1702

обычно обрабатывает данные в запоминающей интегральной схеме 1804 и по завершении обработки копирует данные на носитель 1802. Известно множество различных механизмов осуществления перемещения данных между носителем 1802 и элементом 1804 запоминающей интегральной схемы, и аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены перечисленными. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены конкретной запоминающей системой 1704 или системой 1712 хранения.

Компьютерная система может включать специально программируемые для конкретных целей аппаратные средства компьютерных систем, например специализированную интегральную микросхему (англ. application specific integrated circuit, сокр. ASIC). Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть выполнены с помощью программного обеспечения, аппаратных средств компьютерных систем или встроенных программ или любой их комбинации. Дополнительно, такие способы, действия, системы, элементы системы и их компоненты могут быть частью компьютерной системы, рассмотренной выше, или представлять собой независимый компонент.

Несмотря на то, что в качестве примера компьютерной системы одного типа представлена компьютерная система 1700, с помощью которой могут быть воплощены различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены осуществлением с помощью компьютерной системы, показанной на фиг. 36. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть воплощены с помощью одного или более компьютеров, имеющих архитектуры или компоненты, отличные от представленных на фиг. 36.

Компьютерная система 1700 может представлять собой универсальную компьютерную систему, которая может быть запрограммирована с использованием высокоуровневого языка компьютерного программирования. Компьютерная система 1700 также может быть создана с использованием специально программируемых специализированных аппаратных средств. Процессор 1702 компьютерной системы 1700 обычно представляет собой коммерчески доступный процессор, такой, как хорошо известные процессоры классов Pentium™ или Core™, поставляемые Intel Corporation. Доступны также многие другие процессоры, которые включают программируемые логические контроллеры. Такой процессор обычно работает на основе операционной системы, которая может представлять собой, например, операционную систему Windows 7, Windows 8 или Windows 10, поставляемую Microsoft Corporation, MAC OS System X, поставляемую Apple Computer, операционную систему Solaris, поставляемую Sun Microsystems, или UNIX, поставляемую различными компаниями. Может быть применено множество других операционных систем.

Процессор и операционная система вместе определяют компьютерную платформу, для которой создают прикладные программы на высокоуровневых языках программирования. Следует понимать, что изобретение не ограничено конкретной системой компьютерной платформы, процессором, операционной системой или сетью. Кроме того, специалисты в данной области техники должны понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены конкретным языком программирования или компьютерной системой. Дополнительно, следует понимать, что также могут быть использованы другие подходящие языки программирования и другие подходящие компьютерные системы.

Одна или более из частей компьютерной системы может быть распределена в одной или более компьютерных системах (не показаны), соединенных с коммуникационной сетью. Эти компьютерные системы также могут представлять собой универсальные компьютерные системы. Например, различные аспекты изобретения могут быть распределены в одной или более компьютерных системах, выполненных с возможностью обслуживания (например, серверы) одного или более клиентских компьютеров или для выполнения общей задачи как части распределенной системы. Например, различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть выполнены на системе клиент-сервер, которая включает компоненты, распределенные в одной или более серверных системах, которые выполняют различные функции в соответствии с различными аспектами и примерами осуществления, рассмотренными в настоящем описании. Эти компоненты могут представлять собой выполняемый промежуточный (например, IL) или интерпретируемый (например, Java) код, который передается через коммуникационную сеть (например, Internet) с использованием коммуникационного протокола (например, TCP/IP). В некоторых примерах осуществления один или более компонентов компьютерной системы 200 может сообщаться с одним или более других компонентов через беспроводную сеть, включающую, например, сеть сотовой связи.

Следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены выполнением с помощью какой-либо конкретной системы или группы систем. Также следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, не ограничены какой-либо конкретной распределенной архитектурой, сетью или коммуникационным протоколом. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть запрограммированы с использованием объектно-ориентированного языка программирования, такого как SmallTalk, Java, C++, Ada или C# (C-Sharp). Также могут быть использованы другие объектно-

ориентированные языки программирования. В альтернативном варианте могут быть использованы функциональные, скриптовые и/или логические языки программирования, например лестничная логическая схема. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть выполнены в непрограммируемой среде (например, документы, созданные в форматах HTML, XML или других форматах, которые при рассмотрении в окне программы для просмотра демонстрируют аспекты графического интерфейса пользователя (англ. graphical-user interface, сокращенно GUI) или выполняют другие функции). Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящем описании, могут быть выполнены в виде программируемых или непрограммируемых элементов или любой их комбинации.

Описание примеров осуществления изобретения

Пример.

Были проведены испытания для сравнения работы ячеек для электрохлорирования с концентрическими трубчатыми электродами, включающих три трубчатых электрода, описанных выше при рассмотрении фиг. 14А, и ячеек, включающих пять трубчатых электродов, описанных выше при рассмотрении фиг. 16, с работой традиционных ячеек с СТЕ, описанных выше при рассмотрении фиг. 1А и 1В.

Ячейки для электрохлорирования с тремя и пятью трубчатыми электродами были заключены в непроводящий кожух из непластифицированного ПВХ, способный выдерживать избыточное давление 12 бар (что составляет $1,2 \times 10^6$ Па). Заключенную в корпус ячейку подвергали действию избыточного гидравлического давления, составляющего 12 бар, в течение 30 мин, что не приводило к появлению протечек или падению гидравлического давления. На анодные электроды ячеек с тремя и пятью трубчатыми электродами было нанесено покрытие из ММО, в основном включающего RuO_2 , а также содержащего IrO_2 и некоторое количество TiO_2 . Исследовали выход гипохлорита. Выход гипохлорита повышался пропорционально увеличению площади поверхности анодов.

Сравнение данных, приведенных в табл. 1, показывает, что площадь поверхности анодных электродов ячейки для электрохлорирования с тремя трубчатыми электродами на единицу объема ячейки в 1,73 раза (или 173%) превышает площадь анода в традиционной ячейке для электрохлорирования с СТЕ на единицу объема ячейки.

$$\text{Вычисление: } 0,97 \text{ м}^3 / 0,56 \text{ м}^3 = 1,73 \text{ или } 173\%$$

Иными словами, это может означать, что для достижения эквивалентной активной площади поверхности анодов объем ячейки с множеством трубчатых электродов, включающей три трубчатых электрода, может составлять 0,58 (58%) от объема традиционной ячейки для электрохлорирования с СТЕ.

$$\text{Вычисление: } 0,56 \text{ м}^3 / 0,97 \text{ м}^3 = 0,58 \text{ или } 58\%$$

Сравнение данных, приведенных в табл. 2, показывает, что площадь поверхности анодных электродов ячейки с тремя трубчатыми электродами на единицу объема ячейки в 2,77 раза (или 277%) превышает площадь анода в традиционной ячейке с СТЕ на единицу объема ячейки.

$$\text{Вычисление: } 0,97 \text{ м}^3 / 0,33 \text{ м}^3 = 2,93 \text{ или } 293\%$$

Иными словами, это может означать, что для достижения эквивалентной активной площади поверхности анодов объем ячейки с множеством трубчатых электродов, включающей пять трубчатых электродов, может составлять 0,36 (36%) от объема традиционной ячейки для электрохлорирования с СТЕ.

$$\text{Вычисление } 0,33 \text{ м}^3 / 0,97 \text{ м}^3 = 0,34 \text{ или } 34\%$$

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что при эквивалентном единичном объеме в ячейке для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, включающей три трубчатых электрода, гипохлорита натрия образуется больше, чем в традиционной ячейке для электрохлорирования с СТЕ, на величину, составляющую от 165 до 174%.

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что при эквивалентном единичном объеме в ячейке для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов, включающей пять трубчатых электродов, гипохлорита натрия образуется больше, чем в традиционной ячейке для электрохлорирования с СТЕ, на величину, составляющую от 327 до 387%.

Таблица 1

Сравнение существующей ячейки СТЕ с 2 трубчатыми электродами и 1 зазором для электролита с ячейкой с множеством трубчатых электродов, включающей 3 трубчатых электрода и 2 зазора для электролита								
Электролит: Солевой раствор с содержанием хлоридов 20,3 г/л / 3,6% NaCl при температуре от 16 до 21°C								
Покрытие RUA-SW	Существующая ячейка с СТЕ	Ячейка с множеством электродов	Отношение	Отношение с учетом разности в площади анода	Существующая ячейка с СТЕ	Ячейка с множеством электродов	Отношение	Отношение для сопоставления площадей анода
Площадь анода, м ²	0,28	0,30	0,93	$0,3 \text{ м}^2 \times 0,93 = 0,28 \text{ м}^2$	0,28	0,30	0,93	$0,3 \text{ м}^2 \times 0,93 = 0,28 \text{ м}^2$
Длина анода, м	1,36	0,79			1,36	0,79		
Диаметр внешней трубки, м	0,071	0,077			0,071	0,077		
Объем ячейки, м ³	0,097	0,060		Ячейка с множеством трубчатых электродов (3) $0,06 \text{ м}^3 \times 0,93 = 0,056 \text{ м}^3$	0,097	0,060		Ячейка с множеством трубчатых электродов (3) $0,06 \text{ м}^3 \times 0,93 = 0,056 \text{ м}^3$
Темп. солевого раствора, °C	16	20				21		
Прямой ток в ячейке, А	210	450			280	600		
Общий ток, А	420	450			560	600		
Плотность тока в ячейке, А/м ²	1500	1500			2000	2000		
Действительное напряжение на (V) ячейке	10,1	5,47			11,5	6,2		
Напряжение на проход электрического тока	5,05	5,47			5,75	6,2		
Действительный выход, кг/ч	0,53	0,54			0,68	0,73		
Действительный выход, кг/ч на 1 м длины	0,39	0,69	1,77		0,50	0,93	1,86	
Действительный выход, кг/ч/1 м ³ объема	5,46	9	1,65		7,01	12,16	1,74	

Таблица 2

Сравнение существующей ячейки СТЕ с 2 трубчатыми электродами и 1 зазором для электролита с ячейкой с множеством трубчатых электродов, включающей 3 трубчатых электрода и 2 зазора для электролита							
Электролит: Солевой раствор с содержанием хлоридов 20,3 г/л / 3,6% NaCl при температуре от 16 до 21°C							
Покрытие RUA-SW	Существующая ячейка с СТЕ	Ячейка с множеством электродов	Отношение	Отношение с учетом разности в площади анода	Ячейка с множеством электродов	Перевод плотности электрического тока 2400 А/м ² в 1875 А/м ²	Отношение
Площадь анода, м ²	0,28	0,5	0,58		0,5		
Длина анода, м	1,36	0,79			0,79		
Диаметр внешней трубки, м	0,071	0,077			0,077		
Объем ячейки, м ³	0,097	0,060		Ячейка с множеством трубчатых электродов (5) $0,6 \text{ м}^3 \times 0,56 = 0,33 \text{ м}^3$	0,060		
Темп. солевого раствора, °C	16,6	15			15		
Прямой ток в ячейке, А	260	450			576		
Общий ток, А	520	900			1152		
Плотность тока в ячейке, А/м ²	1857	1875			2400	$1875/2400 = 0,781$	
Действительное напряжение (V) на ячейке	11	11,7			12,8		
Напряжение на проход электрического тока	5,5	5,6			6,4		
Действительный выход, кг/ч	0,64	1,55			1,66	$0,781 \times 1,66 = 1,297$	
Действительный выход, кг/ч на 1 м длины	0,47	1,97	4,20		2,11	1,64	
Действительный выход, кг/ч/1 м ³ объема	6,6	25,6	3,87		27,6	21,6	3,27

Приведенные выше результаты показывают, что:

1. В ячейке для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов может быть достигнута гораздо большая величина активной площади поверхности анода на единицу объема по сравнению с традиционной конструкцией с СТЕ. Другими словами, достигается гораздо большая плотность упаковки.

2. Из-за гораздо большей величины активной площади поверхности анода в конструкции с множеством трубчатых электродов при приложении к электродам электрического тока образуется пропорционально больший выход гипохлорита натрия.

3. Более высокая плотность упаковки/более высокий выход гипохлорита натрия в ячейках для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов делает эти конструкции более конкурентоспособными по сравнению с ячейками для электрохлорирования с РРЕ, но при этом конструкции с множеством трубчатых электродов не требуют кислотной очистки.

Дополнительным установленным преимуществом является то, что ячейки для электрохлорирования с множеством трубчатых электродов включают меньшее количество деталей по сравнению с традиционными ячейками для электрохлорирования с РРЕ, что приводит к снижению массы и снижению продолжительности сборки ячеек. Ячейка с множеством трубчатых электродов, включающая пять трубчатых электродов, весит приблизительно 15 кг, в то время как масса типовой ячейки для электрохлорирования с РРЕ превышает указанную величину в 10 или более раз. Было показано, что сборка ячейки с множеством трубчатых электродов менее сложна и требует меньше времени, чем сборка традиционной ячейки для электрохлорирования с РРЕ; так, сборка ячейки с множеством трубчатых электродов занимает приблизительно 1,5 ч, в то время как сборка традиционной ячейки с РРЕ занимает 15 ч.

В таблице, представленной на фиг. 38, приведены различные функциональные параметры различных примеров осуществления электрохимических ячеек, рассмотренных в настоящем описании. Конструкция "МК2М" соответствует примеру осуществления, показанному на фиг. 1А и 1В. Данные таблицы позволяют заключить, что некоторые конструкции имеют выраженные в процентах доли площади, доступные для потоков, соответствующие рассмотренному выше параметру "активная плотность", которые превышают 85%.

Приведенные в таблице данные также позволяют заключить, что в некоторых конструкциях отношения площадей электродов к объему ячейки, соответствующие рассмотренному выше параметру "общая плотность упаковки электродов", составляют до приблизительно $1,7 \text{ мм}^{-1}$.

Фразы и термины, используемые в настоящем рассмотрении, приведены для целей описания и не должны рассматриваться как ограничивающие. В настоящем описании термин "множество" означает два или более объекта или компонента. Термины "включающий", "несущий", "имеющий" и "содержащий", имеющиеся в описании или формуле изобретения и подобных разделах, представляют собой неограничивающие термины, т.е. означают "включающий, но не ограничивающийся". Таким образом, использование таких терминов охватывает перечисленные после них объекты и их эквиваленты, а также дополнительные объекты. В отношении пунктов формулы изобретения только переходные фразы "состоящий из" и "по существу состоящий из" имеют ограничивающее или полуограничивающее значение, соответственно. Применение порядковых числительных "первый", "второй", "третий" и т.д. в пунктах формулы изобретения для определения заявляемого элемента само по себе не означает приоритета, предшествования или порядка одного заявляемого элемента по отношению к другому или временного порядка, в котором выполняются операции способа; такие обозначения применяются как указатели для отличия одного заявляемого элемента, имеющего определенное наименование, от другого элемента, имеющего такое же наименование (кроме использования первоначального термина), для различия в заявляемых элементах.

Таким образом, после рассмотрения некоторых аспектов по меньшей мере одного примера осуществления следует понимать, что специалисты в данной области техники могут внести различные изменения, создать модификации и усовершенствования этих аспектов. Любой признак, рассмотренный в любом примере осуществления, может быть включен в любой признак любого другого примера осуществления или заменен любым признаком любого другого примера осуществления. Такие изменения, модификация и усовершенствования должны представлять собой часть настоящего изобретения и быть включены в объем изобретения. Соответственно приведенное выше описание и графические материалы предоставлены лишь в качестве примера.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электрохимическая ячейка, включающая корпус, имеющий впускное отверстие и выпускное отверстие; по меньшей мере три трубчатых электрода, концентрически размещенных в корпусе и имеющих зазоры между соседними трубчатыми электродами, причем указанные по меньшей мере три трубчатых электрода образуют пару анод-катод, а конфигурация и размещение указанных по меньшей мере трех трубчатых электродов позволяет направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в направлении общей оси указанных трубчатых электродов через указанные зазоры, при этом площадь поверхности анода и/или катода из пары анод-катод, соприкасающейся с текучей средой и

отделенной текучей средой от соседней поверхности катода и/или анода соответственно, превышает площадь внутренней поверхности корпуса;

непроводящий центральный внутренний элемент, размещенный в электрохимической ячейке таким образом, что указанный элемент соединен с наиболее глубоколежащим трубчатым электродом электрохимической ячейки и не позволяет потоку текучей среды проходить сквозь внутреннюю часть указанного наиболее глубоколежащего трубчатого электрода.

2. Электрохимическая ячейка по п.1, имеющая общую радиальную плотность упаковки электродов, составляющую по меньшей мере приблизительно 2 мм^{-1} .

3. Электрохимическая ячейка по п.1, в которой по меньшей мере три трубчатых электрода включают одно из следующего: множество трубчатых анодных электродов и множество трубчатых катодных электродов.

4. Электрохимическая ячейка по п.3, в которой либо множество трубчатых анодных электродов, либо множество трубчатых катодных электродов представляют собой недеформируемые электроды.

5. Электрохимическая ячейка по п.3, включающая по меньшей мере четыре трубчатых электрода, при этом меньшей мере четыре трубчатых электрода включают множество трубчатых анодных электродов и множество трубчатых катодных электродов.

6. Электрохимическая ячейка по п.3, конфигурация которой обеспечивает пропускание электрического тока через раствор электролита от трубчатого анодного электрода к трубчатому катодному электроду за один проход.

7. Электрохимическая ячейка по п.3, дополнительно включающая биполярный трубчатый электрод, расположенный между трубчатым анодным электродом и трубчатым катодным электродом.

8. Электрохимическая ячейка по п.7, дополнительно включающая трубчатый электрод, включающий анодную половину и катодную половину.

9. Электрохимическая ячейка по п.7, дополнительно включающая множество биполярных трубчатых электродов, расположенных между соответствующими концентрически установленными соседними парами трубчатых электродов, имеющих анодные половины и катодные половины.

10. Электрохимическая ячейка по п.7, в которой по меньшей мере одно множество из множества трубчатых анодных электродов и множества трубчатых катодных электродов пронизаемо для текучей среды.

11. Электрохимическая ячейка по п.1, дополнительно включающая по меньшей мере один разделитель, расположенный между соседними трубчатыми электродами, где по меньшей мере один разделитель выполнен с возможностью ограничения и сохранения зазора между соседними трубчатыми электродами.

12. Электрохимическая ячейка по п.11, в которой разделитель не препятствует течению раствора электролита через зазор, имеющийся между соседними трубчатыми электродами.

13. Электрохимическая ячейка по п.1, дополнительно включающая металлическую втулку, включающую спицы, соединенные электрическим соединением с краями множества концентрических трубчатых электродов.

14. Электрохимическая ячейка по п.13, в которой каждая спица включает прорези, в которые введены края множества концентрических трубчатых электродов для сохранения зазоров между соседними трубчатыми электродами множества концентрических трубчатых электродов.

15. Электрохимическая ячейка по п.1, в которой центральный внутренний элемент включает концевую заглушку, расположенную на конце наиболее глубоколежащего концентрического трубчатого электрода электрохимической ячейки.

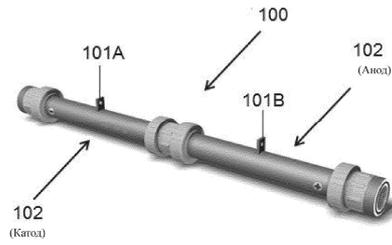
16. Электрохимическая ячейка по п.1, дополнительно включающая электрический соединитель, содержащий первую деталь, расположенную с возможностью контакта с технологической текучей средой, проходящей через электрохимическую ячейку, и электрически соединенную со второй деталью, расположенной с возможностью контакта с воздухом вне корпуса, но не с технологической текучей средой, при этом первая деталь выполнена из материала, который имеет большую коррозионную стойкость и меньшую электрическую проводимость в сравнении со второй деталью.

17. Электрохимическая ячейка по п.16, в которой первая деталь выполнена из титана.

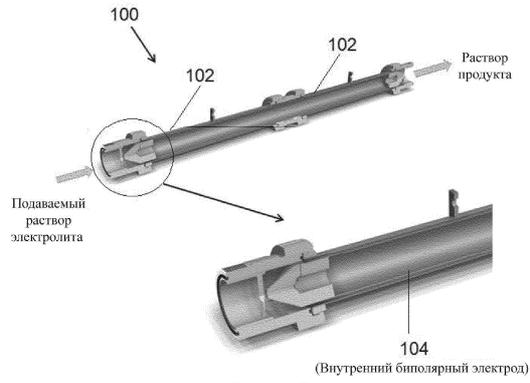
18. Электрохимическая ячейка по п.16, в которой вторая деталь выполнена из меди.

19. Электрохимическая ячейка по п.1, дополнительно включающая непроводящие буферы, имеющие детали, которые проходят через отверстия, выполненные в электродах, при этом непроводящие буферы сохраняют зазоры между соседними электродами.

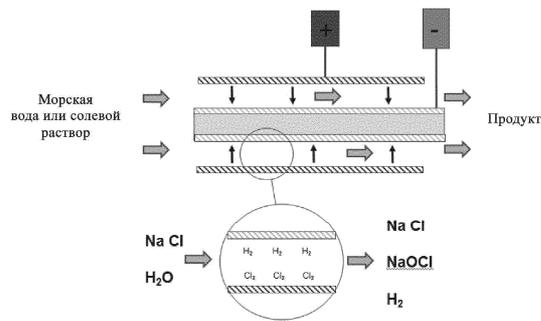
20. Электрохимическая ячейка по п.19, в которой указанные буферы содержат детали, выполненные с возможностью установки, которые расположены на одной из сторон электродов и защелкиваются в охватываемых деталях, расположенных на противоположных сторонах электродов.



Фиг. 1А

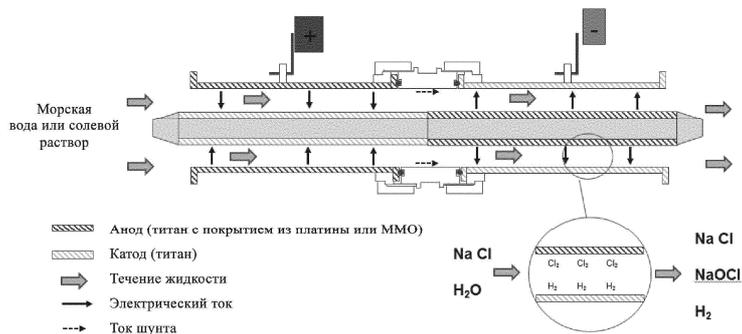


Фиг. 1В



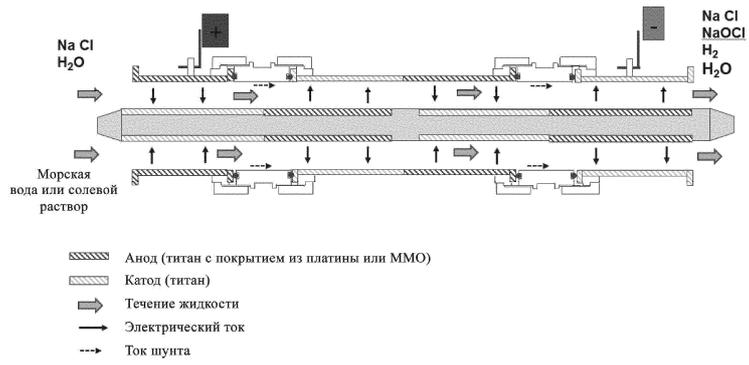
- Анод (титан с покрытием из платины или смешанного оксида металлов (ММО))
- Катод (титан)
- Течение жидкости
- Электрический ток

Фиг. 2А



- Анод (титан с покрытием из платины или ММО)
- Катод (титан)
- Течение жидкости
- Электрический ток
- Ток шунта

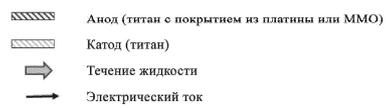
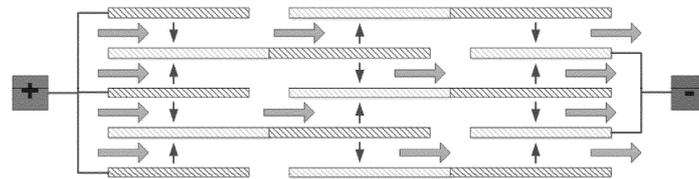
Фиг. 2В



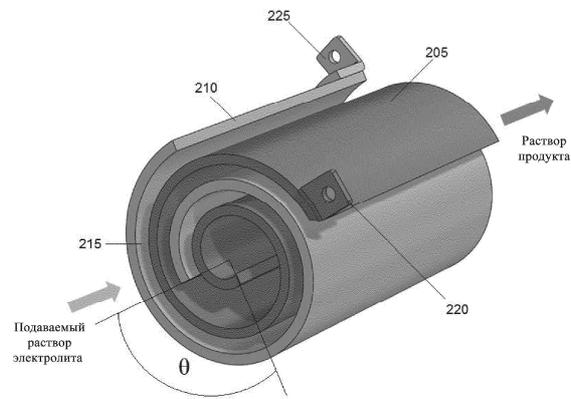
Фиг. 2С



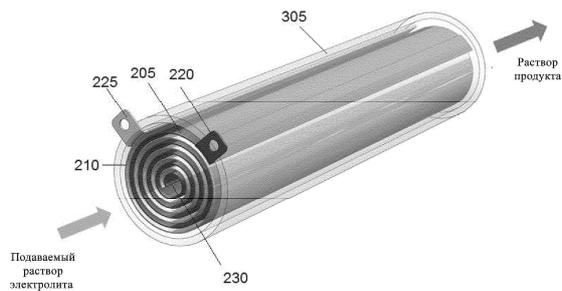
Фиг. 3



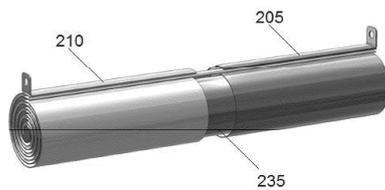
Фиг. 4



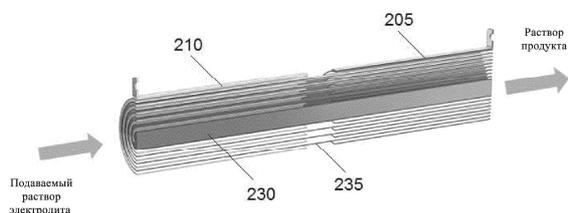
Фиг. 5



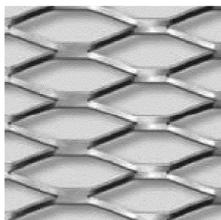
Фиг. 6



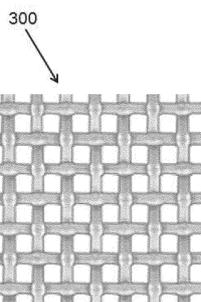
Фиг. 7А



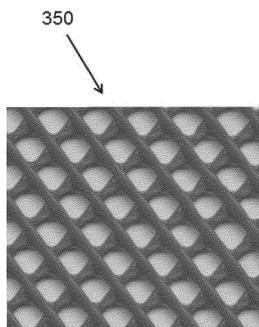
Фиг. 7В



Фиг. 8

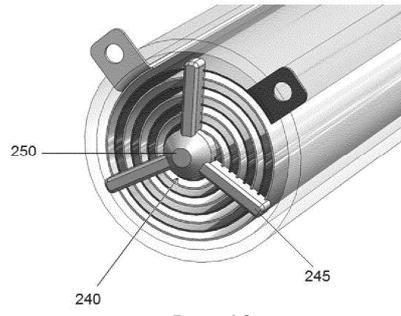


Фиг. 9А

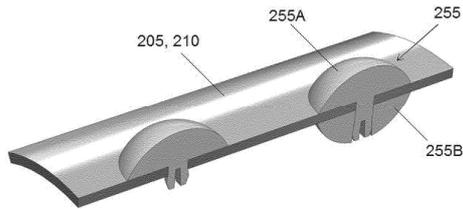


Фиг. 9В

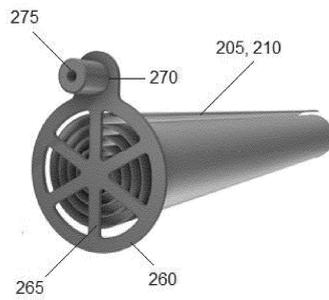
037348



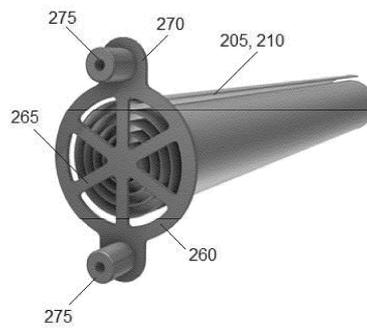
Фиг. 10



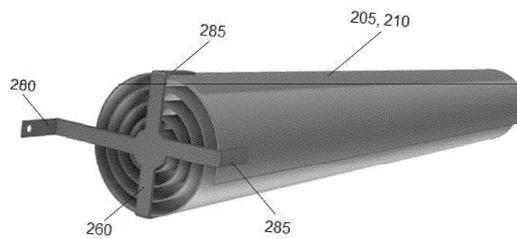
Фиг. 11



Фиг. 12А

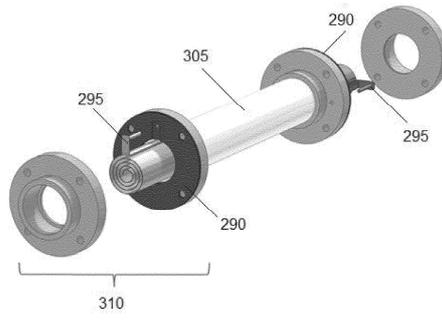


Фиг. 12В

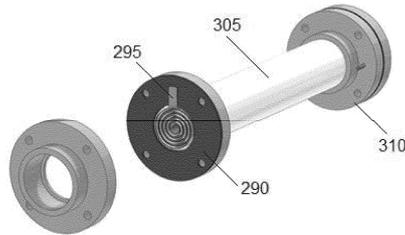


Фиг. 12С

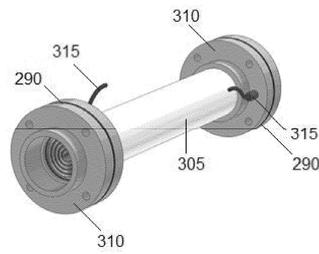
037348



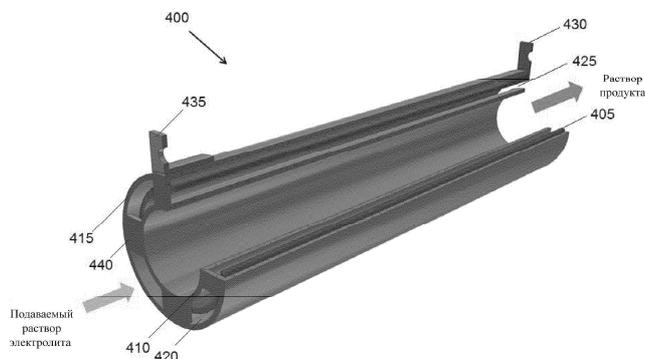
Фиг. 13А



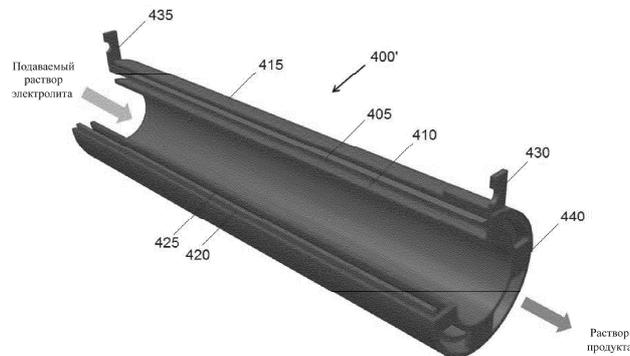
Фиг. 13В



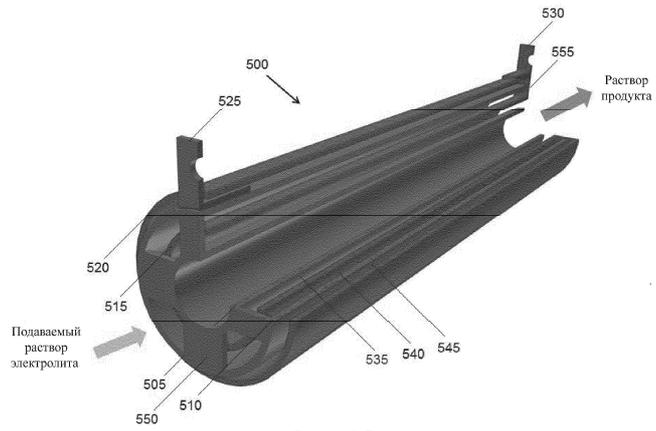
Фиг. 13С



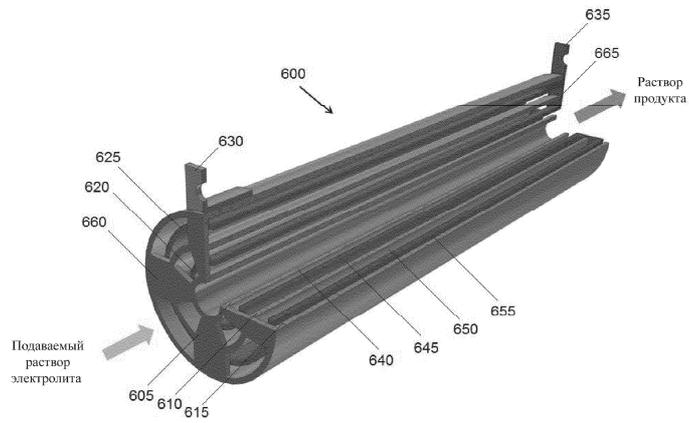
Фиг. 14А



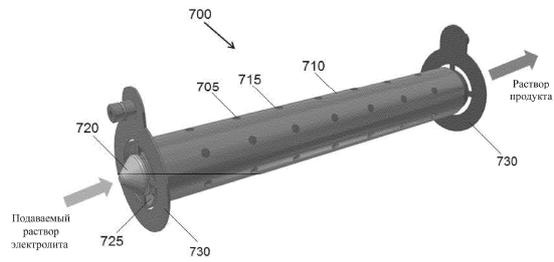
Фиг. 14В



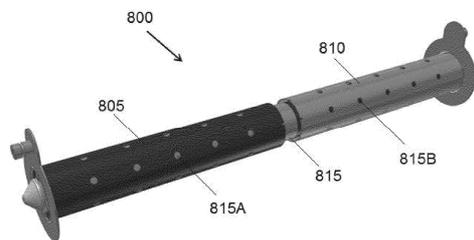
Фиг. 15



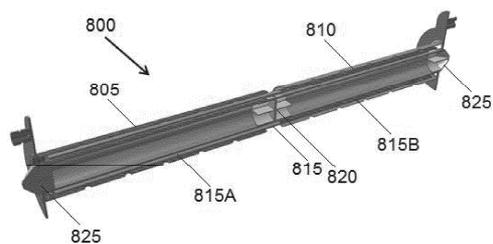
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18А

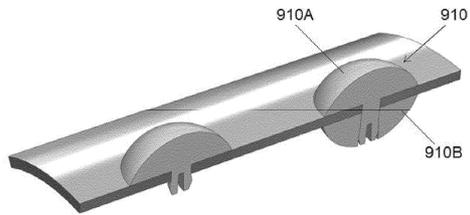


Фиг. 18В

037348



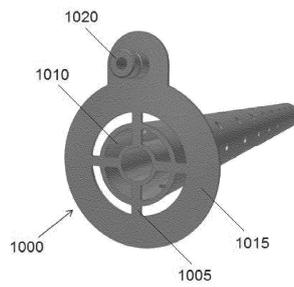
Фиг. 19А



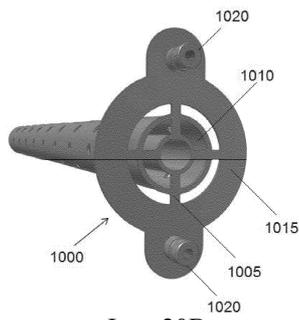
Фиг. 19В



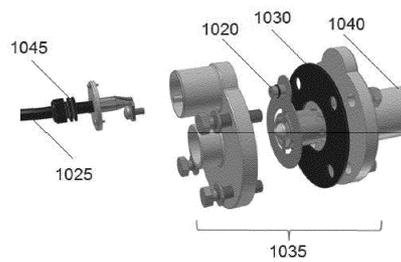
Фиг. 19С



Фиг. 20А

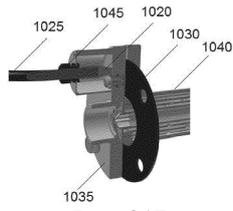


Фиг. 20В

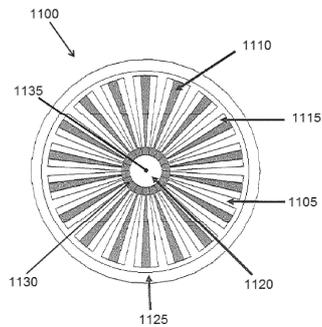


Фиг. 21А

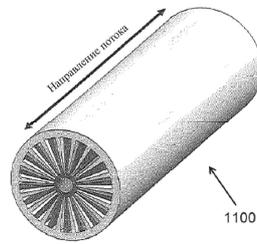
037348



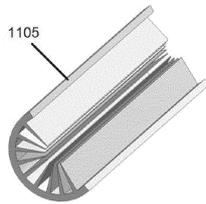
Фиг. 21В



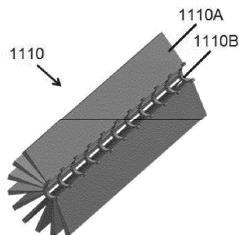
Фиг. 22А



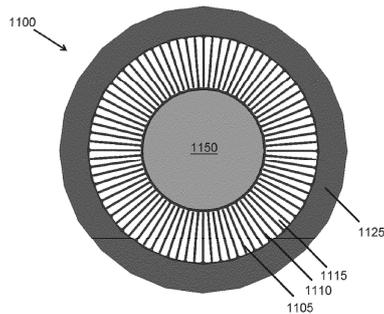
Фиг. 22В



Фиг. 22С

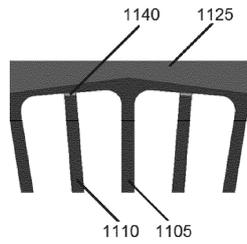


Фиг. 22D

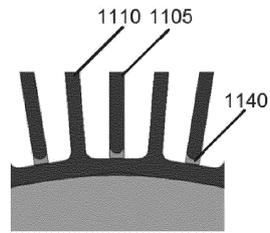


Фиг. 22Е

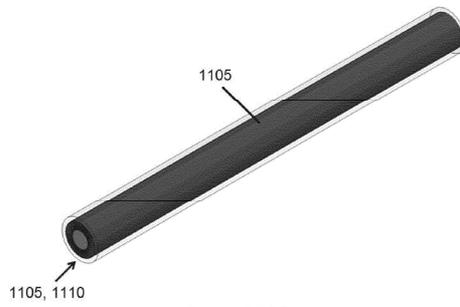
037348



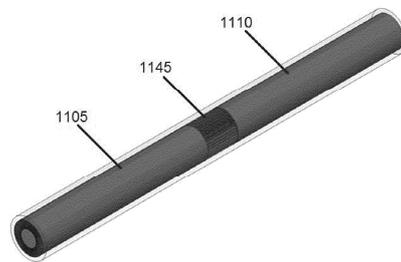
Фиг. 22F



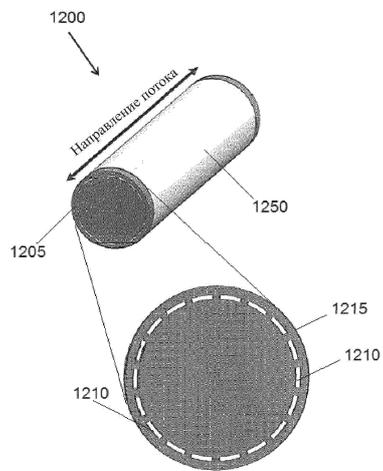
Фиг. 22G



Фиг. 22H

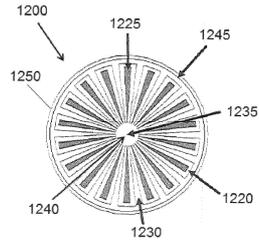


Фиг. 22I

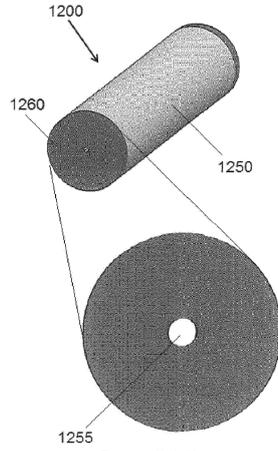


Фиг. 23A

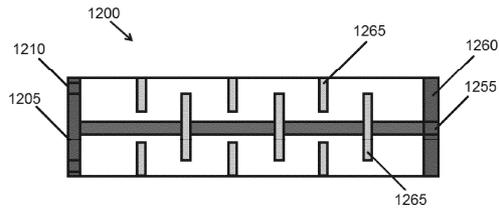
037348



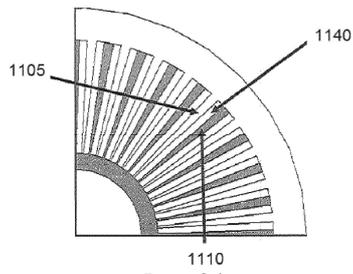
Фиг. 23В



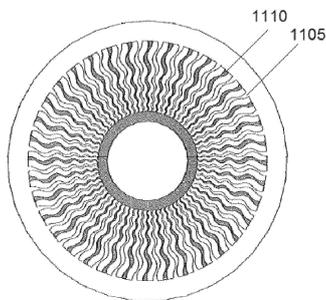
Фиг. 23С



Фиг. 23D

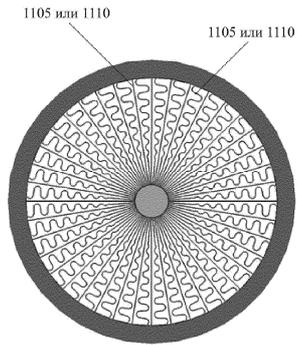


Фиг. 24

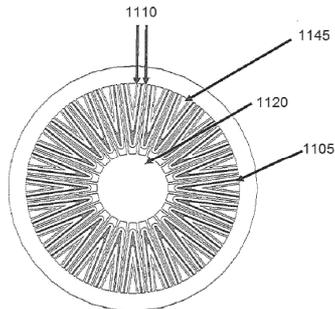


Фиг. 25А

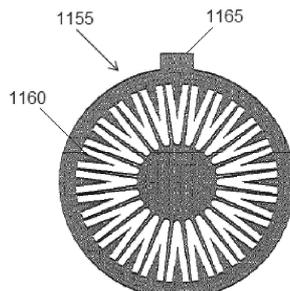
037348



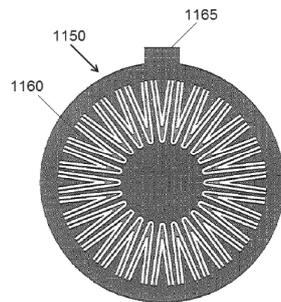
Фиг. 25В



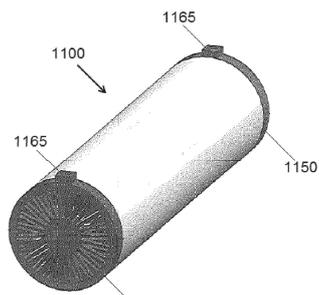
Фиг. 26



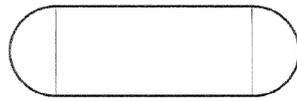
Фиг. 27А



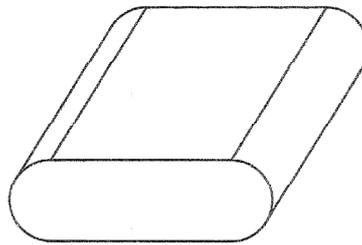
Фиг. 27В



Фиг. 27С



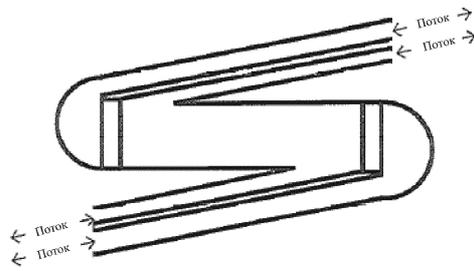
Фиг. 28А



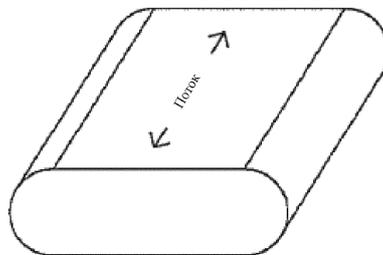
Фиг. 28В



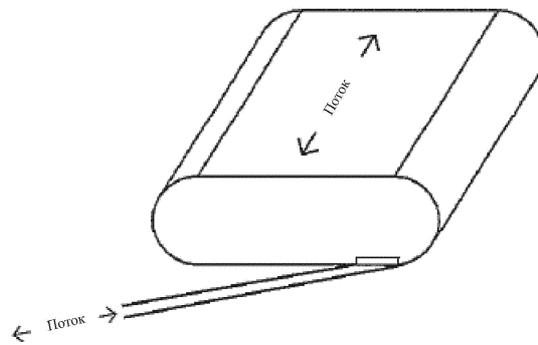
Фиг. 29А



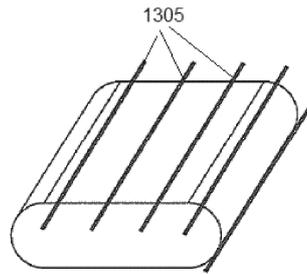
Фиг. 29В



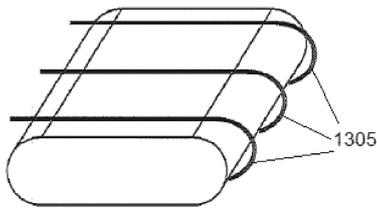
Фиг. 29С



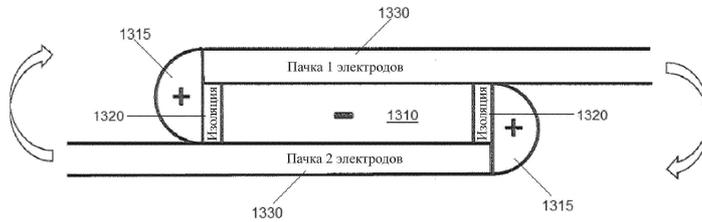
Фиг. 29В



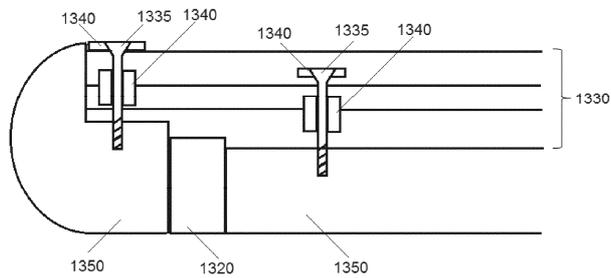
Фиг. 30А



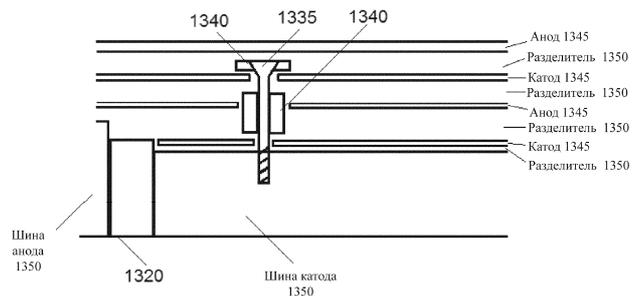
Фиг. 30В



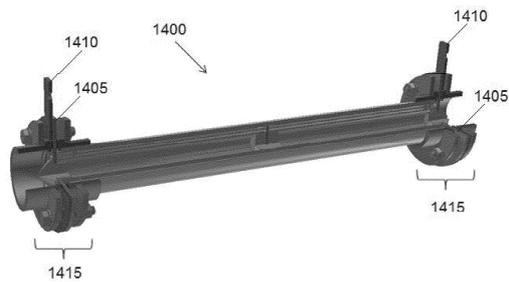
Фиг. 30С



Фиг. 31А

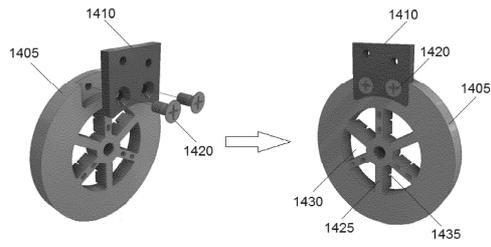


Фиг. 31В

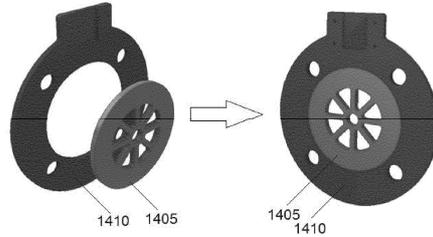


Фиг. 32

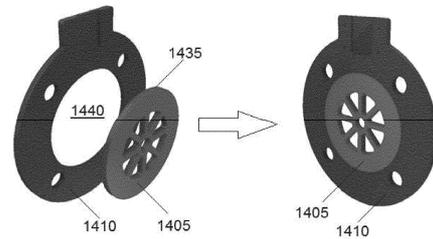
037348



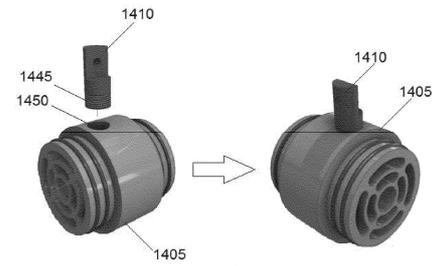
Фиг. 33А



Фиг. 33В



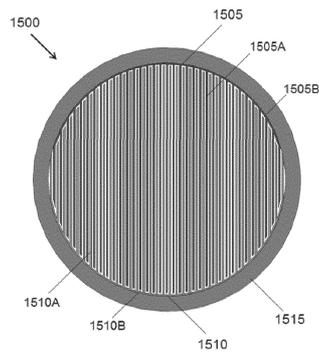
Фиг. 33С



Фиг. 33D

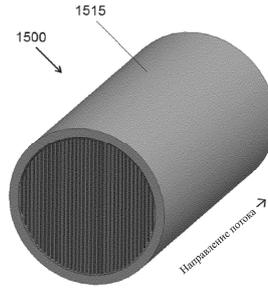


Фиг. 33Е

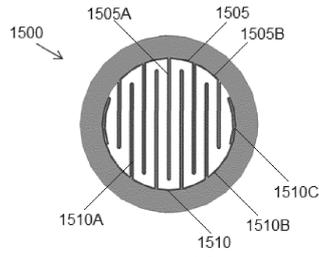


Фиг. 34А

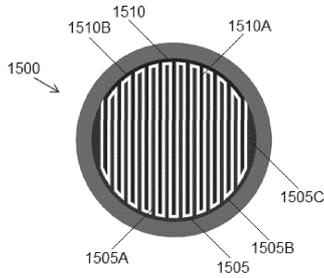
037348



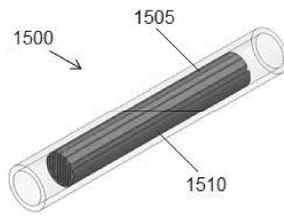
Фиг. 34В



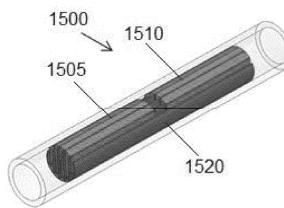
Фиг. 34С



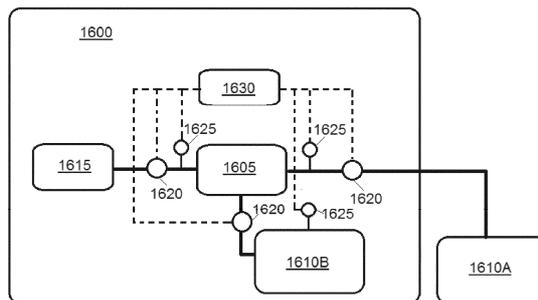
Фиг. 34D



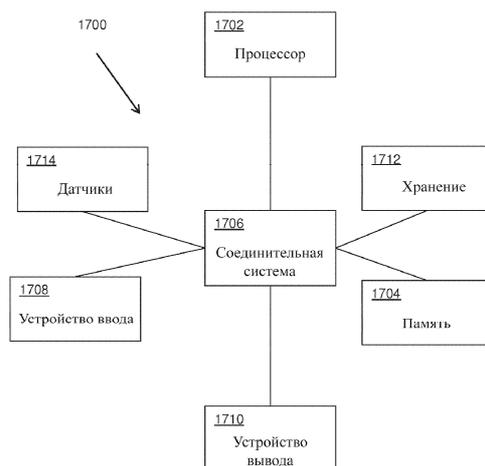
Фиг. 34Е



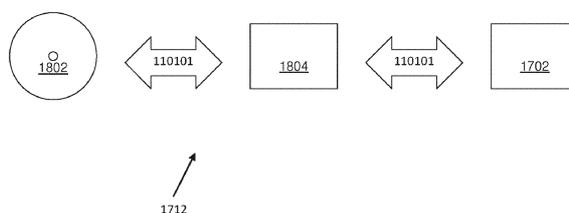
Фиг. 34F



Фиг. 35



Фиг. 36



Фиг. 37

Конструкция	Тип	Внутр. диаметр трубки, дюйм	Общая площадь, мм ²	Площадь внутреннего пространства, мм ²	Площадь катода, мм ²	Площадь анода, мм ²	Площадь потока, мм ²	Доступный поток, %	Длина катода, мм	Длина анода, мм	Отношение площадей электродов к объему ячейки, мм ⁻¹
МК2М	Концентрическая	2,30	2687,5	2026,8	0,0	0,0	660,6	24,6%	181,6	159,6	0,127
3-трубчат.-S ^a	Концентрическая	1,54	1201,1	0,0	143,73	91,11	966,9	80,5%	191,6	191,6	0,319
3-трубчат.-L ^b	Концентрическая	2,72	3748,8	0,0	380,1	317,3	3051,4	81,4%	380,1	380,1	0,203
5-трубчат.	Концентрическая	2,72	3748,8	0,0	475,95	381,7	2891,2	77,1%	634,6	634,6	0,339
7-трубчат.	Концентрическая	2,72	3748,8	0,0	572,6	431,2	2745,1	73,2%	763,4	763,4	0,407
2" ID ^c	Осевая	1,91	1854,3	506,7	195,0	195,0	957,6	51,6%	927,5	927,5	1,000
4" ID	Осевая	3,79	7263,0	506,7	588,3	588,3	5579,7	76,8%	2995,3	2995,3	0,825
8" ID	Осевая	7,57	28998,5	506,7	1892,0	1892,0	24707,8	85,2%	10405,2	10405,2	0,718
12" ID	Осевая	11,29	64632,8	506,7	4080,2	4080,2	55965,6	86,6%	21834,6	21834,6	0,676
1" ID	Спиральная	0,96	464,1	111,2	37,5	37,5	277,9	59,9%	301,1	301,1	1,298
2" ID	Спиральная	1,91	1854,3	506,7	146,6	146,6	1054,4	56,9%	586,0	586,0	0,632
4" ID	Спиральная	3,79	7263,0	506,7	699,9	699,9	5356,5	73,7%	2739,3	2739,3	0,754
8" ID	Спиральная	7,57	28998,5	506,7	2836,0	2836,0	22819,7	78,7%	11155,8	11155,8	0,769
12" ID	Спиральная	11,29	64632,8	506,7	6364,7	6364,7	51396,7	79,5%	25196,5	25196,5	0,780
0,5" ID	Гофрированная	0,53	140,2	0,0	18,4	14,4	107,4	76,6%	119,4	93,3	1,517
1"	Гофрированная	0,94	443,9	0,0	74,9	60,1	308,9	69,6%	388,3	361,8	1,690
1,25" ID	Гофрированная	1,26	798,1	0,0	110,0	96,6	591,5	74,1%	575,9	508,5	1,359
2" ID	Гофрированная	1,91	1854,3	0,0	213,28	218,1	1423,0	76,7%	1119,9	1091,3	1,192
4" ID	Гофрированная	3,79	7263,0	0,0	2047,79	1798,67	3416,6	47,0%	3438,4	3419,2	0,944
12"	Гофрированная	11,29	64632,8	0,0	16401,7	16229,2	32002,0	49,5%	32044,9	31765,4	0,987

^a S = малый (англ. small)

^b L = большой (англ. large)

^c ID = внутренний диаметр

Фиг. 38



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2