

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202290428 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2022.06.02(22) Дата подачи заявки  
2020.07.27(51) Int. Cl. *C25B 1/10* (2006.01)  
*B01D 53/32* (2006.01)  
*C25B 9/10* (2006.01)  
*C25B 9/20* (2006.01)  
*G01N 27/407* (2006.01)  
*H01M 8/0662* (2016.01)

## (54) ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА И СПОСОБ ОБРАБОТКИ ГАЗОВОГО ПОТОКА, СОДЕРЖАЩЕГО ВОДОРОД

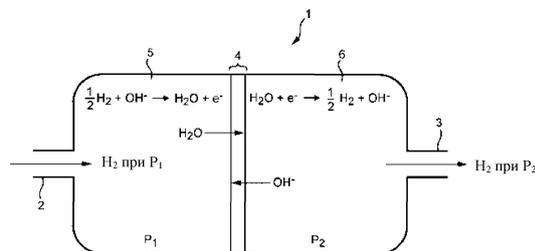
(31) 1910939.6  
(32) 2019.07.31  
(33) GB  
(86) PCT/EP2020/071161  
(87) WO 2021/018852 2021.02.04  
(71) Заявитель:  
ЭНАПТЕР С.Р.Л. (IT)(72) Изобретатель:  
Шмидт Жан-Юсту, Филли Антонио,  
Чапман Шон Кроуфорд, Даймонд  
Лазарус, Прокаччио Дэниэл,  
Каппеллетти Алессандро (IT)(74) Представитель:  
Гизатуллин Ш.Ф., Угрюмов В.М.,  
Строкова О.В., Гизатуллина Е.М.,  
Парамонова К.В., Джермакян Р.В.,  
Костюшенкова М.Ю. (RU)

(57) Электрохимическая ячейка или их стек, где каждая ячейка стека содержит, по меньшей мере, узел мембранного электрода (МЕА), причем МЕА содержит, по меньшей мере, анод, катод и ионообменную мембрану между ними, вход в анодную полуячейку для подачи водорода при первом давлении и выход из катодной полуячейки для переноса водорода при втором давлении, а также средства для обеспечения ячейки необходимым питанием. В одном варианте осуществления очистка и сжатие водорода происходят путем использования реакционного пути по следующим формулам.

АЕМ Анод (I)



АЕМ Катод (II)



202290428 A1

202290428 A1

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА И СПОСОБ ОБРАБОТКИ ГАЗОВОГО ПОТОКА, СОДЕРЖАЩЕГО ВОДОРОД**

Настоящее изобретение относится к электрохимической ячейке и способу обработки газового потока, содержащего водород, необязательно путем использования одной или нескольких электрохимических ячеек, уложенных в стек. Ячейку или стек можно использовать, например, для очистки и сжатия водорода, для обнаружения водорода в потоке и для производства электроэнергии.

Водород можно использовать множеством способов, в том числе в качестве промышленного сырья или в качестве средства для долгосрочного хранения энергии. Некоторые применения, такие как топливные элементы в транспортных средствах, требуют повышенного давления, такого как 350 бар или 700 бар. В некоторых областях применения все еще могут быть желательны более высокие давления. Крайне важно, чтобы хранящийся водород был сухим, так как остаточная влага может повредить компоненты, снизить эффективность или иметь другие негативные последствия.

Водород получает все более широкое распространение в качестве средства для хранения энергии, как долгосрочного, так и краткосрочного. Водород можно использовать в существующих трубопроводах природного газа для обеспечения тепла, а также электроэнергии при использовании в топливных элементах. Водород также имеет множество промышленных применений.

Электролизеры представляют собой устройства, используемые для получения водорода и кислорода путем расщепления воды. Такие системы обычно относятся к одной из трех основных технологий, доступных в настоящее время, а именно, анионообменной мембране (АЕМ), протонообменной мембране (РЕМ) и жидким щелочным системам. Доступны и другие системы, такие как электролиз твердых оксидов.

Водород может быть получен либо из углеводородов, либо электролитически экологически безопасным способом, как раскрыто в WO 2011/004343. Предпочтительно производить «зеленый» водород, устраняя зависимость от ископаемого топлива.

Общепринятые способы сжатия водорода включают механические и немеханические средства. Существует множество проблем, таких как необходимая энергия для механического сжатия, загрязнение водорода маслами/смазками в

компрессоре и необходимость в предварительной сушке. Дополнительные соображения включают источник питания для таких компрессоров и их стоимость.

При электрохимическом сжатии на основе PEM водород низкого давления вступает в реакцию с водой, разделяясь на ионы гидроксония и электроны, при этом ионы гидроксония пересекают мембрану перед рекомбинацией с образованием газообразного водорода и воды. Система PEM предусматривает следующие реакции:

PEM Анод



PEM Катод



Вода присутствует на катоде в системах электрохимического сжатия на основе PEM, что является фундаментальным отличием от пути реакции, наблюдаемого в настоящем изобретении. Таким образом, хотя водород может быть сжат в электрохимической ячейке PEM, он по своей природе является влажным и, следовательно, загрязненным, и поэтому при электрохимическом сжатии на основе PEM необходимо использовать осушитель перед хранением.

Кроме того, кислая среда PEM означает, что необходимо использовать катализаторы на основе металлов платиновой группы (PGM) и дорогие металлы/покрытия (например, титан). Это является препятствием для широкого внедрения по целому ряду причин.

Целью настоящего изобретения является обеспечение средств и способа для электрохимического сжатия и очистки водорода.

Согласно изобретению обеспечена электрохимическая ячейка, содержащая:

- анодную полуячейку, имеющую вход, выполненный с возможностью приема водорода при первом давлении;
- катодную полуячейку, имеющую выход, выполненный с возможностью переноса водорода при втором давлении;
- узел мембранного электрода (MEA), разделяющий указанную анодную полуячейку и указанную катодную полуячейку; и
- источник питания;
- где указанный MEA содержит по меньшей мере:
  - о анодный электрод;

о катодный электрод; и  
о анионообменную мембрану (АЕМ) между ними.

Используемый в настоящем документе термин «ячейка» относится к электрохимической ячейке. Стек обычно предусматривает множество ячеек, однако этот термин может быть использован для описания одной ячейки в стеке или всего стека.

Используемые в настоящем документе термины «влажный», «гидратированный» и «увлажненный» по отношению к анионообменной мембране следует использовать взаимозаменяемо.

Используемые в настоящем документе термины «влажность» и «датчик влажности» используются взаимозаменяемо и предназначены для охвата любых и всех датчиков, способных обнаруживать присутствие воды.

Используемые в настоящем документе термины «анод» и «катод» могут быть использованы взаимозаменяемо с терминами «анодная полуячейка» и «катодная полуячейка».

Используемый в настоящем документе термин анионообменная мембрана (АЕМ) может быть использован для любых ионообменных материалов, которые обладают анионообменными свойствами, при этом обладая или не обладая также катионообменными свойствами (например, ионы калия, добавленные путем допирования КОН материалов на основе РВИ, или смешанные катионные и анионные полимеры и/или функциональные группы). Дополнительные катионные группы могут участвовать или не участвовать в одной или обеих полуреакциях.

Используемый в настоящем документе термин «сжатие» обычно относится к повышению давления, однако в некоторых вариантах осуществления предусматривается, что может быть желательно снижение давления, и термин «сжатие» может быть использован как синоним декомпрессии. Электрохимическая ячейка может называться компрессором, но это не исключает вариантов, в которых ячейка работает только как датчик или средство для очистки.

Используемый в настоящем документе термин «назначение» относится к любому конечному применению очищенного и/или сжатого водорода, такому как, но без ограничения, дозаправка топливом или хранение.

Баланс установки (ВОР), включая средства регулирования температуры и давления, клапаны, проводка и т.д., не показаны. Подключение источника питания к электрохимической ячейке или ячейкам также не описано в настоящем документе.

Поскольку водород часто требуется при повышенных давлениях, более высоких, чем те, которые достигаются компрессором с одной ячейкой, предполагается, что одна или несколько ячеек могут быть использованы последовательно, при этом множество ячеек составляют стек. Следует отметить, что в компрессоре может быть использован один или несколько стеков. Кроме того, если концентрация примесей выше определенного уровня, может потребоваться более одной ячейки.

В соответствии с изобретением обеспечен второй вариант осуществления узла электрохимической ячейки, содержащего по меньшей мере первую и вторую электрохимические ячейки, по существу, как описано выше, сконфигурированные в стек, в котором выход катодной полуячейки указанной первой электрохимической ячейки сообщается по текучей среде с входом анодной полуячейки второй электрохимической ячейки.

Используемый в настоящем документе термин «ступень ячеек» относится к одной или нескольким ячейкам, где водород, поступающий на анод, имеет по существу схожее давление, и катодный выход каждой ячейки или ячеек в ступени объединяется, чтобы стать сырьем для анода ячейки или ячеек на следующей ступени. Каждая ступень может иметь параллельное, последовательное соединение или их сочетание.

Общепринятой практикой является наличие множества ступеней сжатия при сжатии жидкости. То же самое можно применить к электрохимическому сжатию. В одном варианте осуществления настоящего изобретения предусматривается наличие множества ступеней сжатия, достигаемого за счет наличия одной или нескольких ячеек на каждой ступени, как обсуждалось выше. Водород поступает на аноды ячейки или ячеек на первой ступени при первом давлении, при этом катодный выход или выходы из ячеек на первой ступени находятся при втором давлении, при этом указанные выходы объединены. Катодный выход из первой ступени при втором давлении обычно является входом одной или нескольких анодных полуячеек на второй ступени, или, если имеется только одна ступень сжатия/очистки, выход направляется в хранилище.

Предусматривается, что ячейки или стеки каждой ступени могут быть расположены параллельно или, в целях экономии места, последовательно с трубопроводом и ВОР, что позволяет использовать множество ступеней. Различные варианты расположения показаны на фигурах. Могут быть обеспечены средства для разделения и/или изоляции каждой ячейки.

Сумма тока, подаваемого на ячейку или их стек, для каждой группы ячеек или ступени сжатия обычно по существу такая же, как и для следующей группы или

ступени сжатия. Колебания требуемого тока через мембраны на каждой ступени возникают, если перепад давления в каждой ячейке на одной ступени отличается от другой. Более высокий перепад давления требует более высокой плотности тока, чтобы преодолеть обратную диффузию водорода (переход). Это может, однако, привести к более низкой фарадеевской эффективности. Этот вариант осуществления изображен на фигурах.

В норме очистка происходит с одновременным сжатием. В таком варианте осуществления второе давление выше, чем первое давление. Любые известные средства регулирования давления могут быть использованы на каждом катодном выходе таким образом, что водород покидает катодный выход при повышенном давлении. В альтернативных вариантах осуществления может потребоваться декомпрессия водорода, и средства для регулирования давления могут быть изготовлены соответствующим образом.

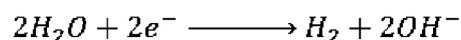
В компрессоре на основе АЕМ с одной ячейкой или их стеком водород поступает в анодную полуячейку первой ячейки при первом давлении, и водород сжимается до второго давления в первой катодной полуячейке. Поток водорода при втором давлении направляется из первой катодной полуячейки в анодную полуячейку второй ячейки. Водород сжимается до третьего давления во второй катодной полуячейке и так далее. В сериях ячеек давление постепенно повышается, например,  $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$  и т.д. Предполагается, что катодная полуячейка имеет более высокое давление, чем анод, и содержащийся в ней водород является более чистым, чем водород в соответствующем аноде, и предыдущих ячейках.

Системы АЕМ по своей природе отличаются от РЕМ, поскольку гидроксильные анионы  $\text{OH}^-$  пересекают мембрану, а не гидроксоний (сольватированный протон). Таким образом, механизм функционирования отличается, и необходимо решать новые проблемы. Реакции представляют собой следующие:

АЕМ Анод



АЕМ Катод



Электрохимическое сжатие в системе на основе АЕМ не должно требовать дополнительной сушки, так как вода расходуется на катоде параллельно со сжатием

водорода. В текущей практике наблюдается явное преимущество перед альтернативами.

Этот путь реакции принципиально отличается от PEM и противоречит общепринятому мнению в области электрохимии, что водород должен расщепляться на два иона водорода.

Можно видеть, что водород, электрохимически сжатый в системе на основе АЕМ, является сухим. Практически сухой водород может переходить из первой во вторую ячейку и т.д., по мере того, как вода образуется в анодной реакции и расходуется в катодной реакции. MEA предпочтительно приспособлен для удержания воды с помощью описанных в настоящем документе средств управления водой.

В системах на основе PEM платина или металлы платиновой группы (PGM) требуются в качестве катализатора как на аноде, так и на катоде. В настоящем изобретении для электрохимического сжатия на основе АЕМ могут быть использованы, но не требуются катализаторы PGM, делая систему более устойчивой по своей природе. Можно использовать любой известный катализатор для реакции выделения водорода (HER) и/или реакции окисления водорода (HOR), при этом настоящее изобретение не ограничивается катализатором. Анодный катализатор и катодный катализатор могут быть одинаковыми или разными.

Узел мембранного электрода (MEA) может не содержать иономеров и/или связующих веществ. В качестве альтернативы он может содержать оба или один из иономера и связующего. В одном варианте осуществления предполагается, что MEA содержит подложку с электропроводящими нитевидными кристаллами, на которую напыляют тонкий слой катализатора, чтобы максимизировать площадь поверхности и минимизировать потребность в катализаторе. Тесный контакт с большой площадью поверхности снижает потребность в иономере.

Анионообменная мембрана может представлять собой любую мембрану с желаемыми свойствами. К требуемым свойствам относятся, в основном, высокая ионная проводимость, низкая газопроницаемость, высокая механическая прочность и гидрофильность. Однако предполагается, что мембрана может представлять собой композитную мембрану. Композитная мембрана содержит неорганический наполнитель из гигроскопичных частиц, таких как наночастицы глины, такой как, но без ограничения, монтмориллонит, или органический наполнитель, такой как любые иономерные наночастицы или волокна, полученные путем, но без ограничения,

электропрядения, или их комбинацию. Иономер может представлять собой анионный иономер.

Предполагается, что мембрана будет иметь полимерную основу с неорганическим и/или органическим наполнителем, причем этот наполнитель является гидрофильным. Гидрофильные свойства удерживают воду и помогают гарантировать, что водород при повышенном давлении останется сухим. Предполагается, что полимер может представлять собой полибензимидазол (PBI), предпочтительно модифицированный для повышения его стойкости к щелочам и/или ковалентного связывания с положительным зарядом, но это не является ограничивающим признаком. Кроме того, предполагается, что мембрана может быть допирована избытком  $\text{OH}^-$ , по сравнению с ионообменной емкостью, полученной либо за счет ковалентно связанного положительного заряда (например, соли четвертичного аммония), либо за счет нейтрализации кислого водорода (например, пиррольного водорода в PBI), используя, но без ограничения, высококонцентрированный щелочной раствор (например, KOH). Источник  $\text{OH}^-$  может быть в любой форме, но предпочтительно в водной форме.

При электрохимическом сжатии водорода необходимо учитывать перепад давления на мембране. Слишком высокое значение может привести к повреждению мембраны или других компонентов. Повышение механической прочности мембраны может снизить ее характеристики в других областях, таких как ионная проводимость. Теоретического предела перепада давления в отдельной ячейке нет, однако на практике существуют ограничения, обусловленные целостностью компонентов и пересечением. Предполагается, что в каждой ячейке будет наблюдаться повышение давления от 1 до 2000 бар, более предпочтительно от 1 до 1000 бар. Перепад давления может находиться в диапазоне от 10 до 500 бар, от 10 до 100 бар, от 10 до 80 бар, от 20 до 50 бар, от 30 до 40 бар. Предполагается, что электрохимический компрессор на основе АЕМ увеличит давление примерно на 35 бар на ячейку в стеке.

Хотя предполагается, что электрохимический компрессор будет работать с водородом, генерированным любым известным способом, таким как паровая конверсия, предпочтительно использовать экологически чистый источник водорода. Для достижения этого предпочтительно, чтобы входной поток являлся выходным потоком из электролизера, еще более предпочтительно из электролизера на основе АЕМ. Могут присутствовать загрязняющие вещества, но они должны быть ограничены водой и кислородом. Другие загрязняющие вещества, в случае их присутствия, не должны подвергать катализатор опасности отравления, это исключает такие вещества,

как монооксид углерода. Другие загрязняющие вещества могут вступать в реакцию с  $\text{OH}^-$ , например, кислоты или соли, содержащие анионы, отличные от  $\text{OH}^-$ . Могут возникнуть определенные обстоятельства, когда допускаются газообразные кислоты, такие как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_3$  и т.д., поскольку отравление катализатора носит временный характер, так как они могут быть преобразованы в их кислую форму на анодной стороне реакции, где потребляются гидроксильные ионы, тем самым удаляя кислоту. В вариантах осуществления, в которых водород сжимается в результате парового реформинга, загрязняющие вещества должны быть удалены.

Настоящее изобретение предусматривает как повышение давления, так и очистку водорода; любые разрешенные загрязняющие вещества не проходят дальше первой полуячейки. Вода должна оставаться связанной мембраной, и  $\text{OH}^-$ , образующийся на катоде, мигрирует к аноду, после чего расходуется на анодную реакцию. Некоторое количество воды может переноситься с катода на анод с  $\text{OH}^-$  за счет электроосмотического сопротивления. Поток воды через мембрану, как по величине, так и по направлению, зависит от подаваемого тока.

Предполагается, что мощность может подаваться в виде постоянного (DC), переменного (AC) тока, импульсного тока или обратного импульсного тока. Однако в предпочтительном варианте осуществления источником питания является любой из источников постоянного тока, импульсного тока или обратного импульса. Преимущество обратного импульса заключается в том, что электроды будут очищаться от ядов при временном изменении направления тока.

Мембрана в каждой ячейке должна оставаться достаточно влажной. Этой цели служит вода, образующаяся в ходе анодной реакции, а также мембрана, выбранная по ее свойствам. Произведенной воды должно быть достаточно для поддержания влажности мембраны, без затопления катода или ее удаления катодным потоком водорода. Для подавления/предотвращения нежелательного движения воды используются и раскрыты средства управления водой.

Например, может быть использован микропористый слой (MPL), который является достаточно пористым, чтобы обеспечить движение водорода, но предотвращает поток воды через MPL в любом направлении. Кроме того, мембрана может иметь гидрофильный компонент, удерживающий воду мембраны связанной, но доступной для катодной реакции.

Хотя МЕА может состоять из анода, анионообменной мембраны и катода, обычно слоев будет больше. Любое одно или несколько из следующего может быть

включено, с одной стороны или с обеих сторон, отдельно или в комбинации. Газодиффузионный слой (GDL) может присутствовать на одном из катода и анода или как на катоде, так и аноде. В случае присутствия MEA имеет следующую структуру: анодный GDL, анодный каталитический слой, мембрана, катодный каталитический слой, катодный GDL. В другом варианте осуществления можно использовать MPL. Как правило, MPL будет только на катодной стороне, но также может быть только на анодной стороне или на обеих сторонах, если используется более одного, при этом MPL могут быть одинаковыми или разными, причем MPL выбирают по его пористости и гидрофобным свойствам. Мембрана управления водой также может быть использована на анодной или катодной стороне, или на обеих сторонах, что дополнительно обсуждается ниже.

Предполагается, что MPL может находиться на мембране каждой ячейки на катодной стороне или только на одной или нескольких мембранах. В качестве альтернативы, MPL также может находиться на анодной стороне, или как на анодной, так и на катодной сторонах. Кроме того, предполагается, что MPL, в случае использования, может иметь различные свойства в различных местах в стеке, например, быть более гидрофобным в последних ячейках. MPL, который является более гидрофобным в конечной ячейке или ячейках, будет предотвращать присутствие (избытка) воды в конечном выходе, что может быть менее желательным в первых ячейках, в случае если на другие свойства мембраны будут влиять различные свойства MPL. Микропористые слои обычно получают путем литья суспензии, содержащей материал с электронной проводимостью и связующее вещество, на подложке. Материал с электронной проводимостью представляет собой материал, такой как, но без ограничения, сажа, наночастицы никеля и т.д. Связующее вещество представляет собой гидрофобный полимер, такой как, но без ограничения, PTFE, FEP и т.д. Размер пор, распределение, распределение пор различных размеров, гидрофобность и другие физико-химические свойства могут быть отрегулированы путем изменения каждого составляющего компонента, их соотношений и/или технологии изготовления.

Другим средством управления водой является включение иономера в MEA на одной или обеих сторонах АЕМ, т.е. анодной и катодной сторонах. Предпочтительно, чтобы иономер находился как на катодной, так и на анодной сторонах мембраны. Обычно для целей управления водой на катодной стороне будет относительно больше иономера, чем на анодной стороне. В качестве альтернативы предполагается, что на

анодной стороне АЕМ может отсутствовать иономер, тогда как на другой стороне мембраны иономер может присутствовать.

Еще одним средством управления водой в мембране является включение мембраны управления водой в МЕА. Такая мембрана предпочтительно будет гигроскопичной и будет находиться на катодной стороне МЕА. Мембрана управления водой также предпочтительно будет иметь высокую ионную и/или электронную проводимость. Мембрана управления водой может находиться на анодной стороне, катодной стороне или на обеих сторонах. В еще одном варианте осуществления мембрана управления водой может быть помещена между двумя АЕМ, при этом мембрана управления водой в любом из вариантов осуществления является частью МЕА. Примером мембраны управления водой будет иономер, смешанный с сажей.

Еще одним средством управления водой является использование композитной анионообменной мембраны, где наполнитель/нано/микрочастицы обладают гигроскопическими свойствами. Предполагается, что такие частицы могут иметь градиент концентрации внутри мембраны или представлять собой отдельный слой на одной или обеих сторонах АЕМ, не обязательно примыкающий к указанной АЕМ. Катодная сторона мембраны имеет относительно более высокую концентрацию указанных частиц по сравнению с анодной стороной.

Предполагается, что любой из механизмов управления водой, упомянутых в этом документе, может быть использован отдельно или в комбинации друг с другом.

В соответствии с изобретением обеспечен способ обработки газового потока, содержащего водород, включающий обеспечение электрохимической ячейки, по существу как описано выше, подачу содержащего водород газового потока на вход анодной полуячейки и перенос водорода с выхода катодной полуячейки.

Все рассмотренные конструктивные ограничения, относящиеся к устройству, относятся к способу функционирования ячейки, соответственно то же самое относится к способу использования компрессора со стеклом ячеек.

Способ функционирования компрессора с одной ячейкой может быть в значительной степени применим к функционированию компрессора, содержащего стек ячеек.

В соответствии с настоящим изобретением обеспечен способ обработки содержащего водород газового потока, включающий обеспечение узла электрохимической ячейки, по существу как описано выше, подачу содержащего водород газообразного потока на вход анодной полуячейки первой электрохимической

ячейки в стеке, перенос водорода с выхода катодной полуячейки каждой электрохимической ячейки в стеке на вход анодной полуячейки другой электрохимической ячейки, и доставку водорода с выхода катодной полуячейки последней электрохимической ячейки в стеке во внешнее место назначения.

Для электрохимической ячейки, узла электрохимической ячейки и способов, описанных выше, входной поток может поступать непосредственно из электролизера, резервуара для хранения водорода или любого другого возможного источника водорода приемлемого уровня чистоты.

Единственными вероятными загрязняющими веществами, особенно в результате электролитического производства водорода, являются вода и кислород. Вода должна быть связана мембраной, и кислород будет реагировать в первой анодной полуячейке с водородом с образованием воды. Предпочтительно катализатор не является активным в отношении ORR, и присутствующий кислород удаляется из анодной полуячейки. Поэтому эти загрязняющие вещества не считаются проблемой. Однако возможно, что могут присутствовать другие загрязняющие вещества, такие как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и т.д., которые могут снизить эффективность первых нескольких ячеек, поэтому могут быть предусмотрены средства для продувки анодных полуячеек.

Все обсуждаемые конструктивные ограничения, относящиеся к устройству, относятся к способу функционирования ячейки или стеков и должны рассматриваться соответствующим образом.

Предполагается, что конечный выход стека соединен с резервуаром для хранения или резервуарами, приспособленными для хранения водорода при желаемом давлении, которое может составлять от 30 бар до 1000 бар. Давление может быть увеличено до любого необходимого уровня, включая отраслевые стандарты 300 бар, 700 бар и 1000 бар. Предполагается, что находящийся под давлением водород с выхода может быть направлен в любую систему или средство, использующее находящийся под давлением водород, транспорт или для хранения.

Поскольку вода расходуется в каждой катодной камере, водород эффективно осушается при сжатии. Это принципиально отличается от электрохимического сжатия на основе PEM, где вода участвует в форме гидроксония (сольватированного протона). В системах на основе PEM вода транспортируется к катоду вместе с ионами водорода в форме гидроксония. Таким образом, образующийся водород по своей природе является влажным. Чтобы поддерживать требуемые проводящие свойства мембраны, важно обеспечить адекватную гидратацию каждой мембраны в стеке. Если воды,

образующейся в анодной полуячейке, недостаточно, предполагается, что стабильное содержание воды в мембране может быть достигнуто путем добавления воды на входе водорода, чтобы обеспечить влажность сырья. Однако возможно, что в поток может быть добавлено слишком много воды, что приведет к тому, что выходной поток станет влажным, или будет затоплена анодная полуячейка, что предотвратит контакт водорода с анодным катализатором. Это позволит достичь цели сжатия, но не высушивания водорода, или может снизить эффективность ячейки из-за перенапряжения массопереноса. Для достижения как сжатого, так и сухого водорода может быть использована система контроля, описанная ниже.

Для контроля влажности в системе предполагается использование по меньшей мере двух датчиков влажности. Первый датчик влажности расположен на сырьевом потоке, и второй датчик влажности расположен на одном или каждом выходящем потоке, но наиболее важно на выходе водорода из конечной ячейки. Также можно включить датчик влажности на одной или всех ячейках в стеке, чтобы определять насыщение мембраны в заданной точке в стеке, тем самым позволяя оператору определить, является ли мембрана неработоспособной сухой в стеке, может либо быть удален влажный водород с выхода или предпочтительно декомпрессирован и рециркулирован на вход, как обсуждается ниже. В качестве альтернативы вместо датчика влажности может быть использован датчик теплопроводности. Может быть использована любая подходящая альтернативная форма датчика.

Два или более датчиков оперативно соединены с модулем управления, таким как, но без ограничения, PID-контроллер. Если уровни влажности падают ниже предварительно определенного порогового значения, вода будет вводиться на один или несколько входов для воды. Предполагается, что множество входов для введения воды может быть расположено на стеке, обычно в катодную камеру, анодную камеру или между ячейками. Однако из-за возрастающего давления вдоль стека предпочтительно, чтобы один вход для добавочной воды был обеспечен на сырьевом потоке, при первом давлении, при этом указанный вход расположен после первого датчика, и указанный вход для воды расположен перед стеком, или в первую анодную камеру.

Если влажный водород покидает конечную ячейку компрессора, это может представлять проблему. Влажный водород может оказаться непригодным для использования, и поэтому его не следует хранить. Соответственно, в случае, когда влажный водород покидает стек, предполагается, что этот водород может быть удален. В предпочтительном варианте осуществления влажный водород может быть

рециркулирован с выхода перед направлением в место назначения водорода. Предполагается, что рециркуляция будет осуществляться с выхода к входу с помощью средств для декомпрессии находящегося под давлением водорода до уровня, подходящего для повторного введения на более ранней ступени стека компрессора.

Предполагается, что на рециркулируемом потоке может быть обеспечен резервуар промежуточного хранения, чтобы свести к минимуму необходимость отвода в случае избытка влаги. Предполагается, что резервуар промежуточного хранения может иметь средства для слива конденсированной влаги для ее удаления из резервуара. В идеальном варианте обеспечены средства для направления воды на повторное использование в этой или другой системе.

Экологически чистый водород, получаемый путем электролиза, обычно вырабатывается за счет использования избыточной энергии из возобновляемых источников. Это неизбежно приводит к прерывистой генерации водорода. Следовательно, сырьевой поток для стека электрохимического сжатия также может быть прерывистым. Электрохимический очиститель и компрессор приспособлены для работы в периодическом режиме. Между электролизером и компрессором может быть использован буферный резервуар для хранения водорода при промежуточном давлении, например 35 бар, чтобы обеспечить более стабильную подачу водорода в компрессор АЕМ.

Хотя все мембраны могут иметь одинаковую толщину, предполагается, что толщина мембраны может различаться между ячейками стека. В одном варианте осуществления самая толстая мембрана может располагаться в первой ячейке, при этом последующие ячейки имеют более тонкие мембраны. Альтернативно, первая ячейка может иметь более тонкую мембрану, при этом толщина мембран постепенно увеличивается. В еще одном варианте осуществления толщина может изменяться нелинейно, переходя от относительно тонкой к толстой и снова тонкой, или от толстой к тонкой и снова к толстой, или к любому их варианту. Более толстые мембраны будут удерживать больше воды и, таким образом, могут сделать мембраны более устойчивыми к изменениям уровня влажности, обеспечивая сохранение проводящих свойств и снижая вероятность того, что водорода на выходе будет влажным. Более толстые мембраны также могут быть более устойчивыми к более высоким перепадам давления, что позволяет использовать меньшее количество ячеек для осуществления того же ступенчатого изменения перепада давления.

Более толстые мембраны являются относительно устойчивыми к более высоким перепадам давления и, как правило, к более высоким давлениям. При этом предполагается, что могут быть обеспечены подложки для одной или каждой стороны мембраны. Подложки могут быть выполнены из любого подходящего материала, а именно такого, который не будет вредным образом реагировать на систему. Можно использовать любую подходящую мембранную подложку, такую как, но без ограничения, пеноникелевый материал. Подложка может представлять собой сетку или любую другую подходящую структуру, повышающую устойчивость мембран к давлению. Кроме того, подложка мембраны помогает предотвратить ползучесть мембраны при повышенных перепадах давления.

В предпочтительном варианте осуществления ячейка или их стек снабжены средствами регулирования температуры. Нагрев и/или охлаждение могут обеспечить достижение оптимальной температуры. Предполагается, что это температура выше комнатной, но ниже 100°C, более предпочтительно находится в интервале от 40°C до 80°C и в основном составляет 60°C.

Предполагается, что могут быть обеспечены средства для регулирования температуры для ячейки или стека. Нагрев и/или охлаждение могут быть обеспечены за счет использования нагревательного картриджа или радиатора, установленных, например, на одной или каждой концевой пластине стека, или ячейке, и/или промежуточных рамах. Другой альтернативой является жидкость, которая циркулирует внутри или контактирует с любым из указанных выше компонентов, но предпочтительно не контактирует с любым компонентом, который может повлиять на реакцию или эффективность стека.

Хотя предполагается, что стеки сконструированы таким образом, что каждая ячейка имеет по существу идентичную площадь поперечного сечения, стек может содержать ячейки с различными площадями поперечного сечения. В таком варианте осуществления площадь поперечного сечения будет постепенно уменьшаться от первой к последней ячейке, соответственно увеличивая плотность тока для поддержания того же потока водорода, пропорционального общему току, способствуя пассивному увеличению давления из-за уменьшенного объема и улучшению управления водой за счет увеличения электроосмотического сопротивления в случае, если избыток воды переносится от одной ячейки к другой катодным потоком водорода. Наоборот, то есть площадь поперечного сечения будет постепенно увеличиваться от первой к последней ячейке, соответственно уменьшая плотность тока, способствуя

управлению водой в случае постепенной дегидратации от одной ячейки к другой. Поперечное сечение каждой ячейки может варьироваться, или несколько ячеек в стеке могут иметь одинаковую площадь поперечного сечения до уменьшения площади. В еще одном варианте осуществления поперечное сечение может изменяться нелинейно от относительно большого до малого и снова большого или от малого до большого и снова малого.

Поперечное сечение ячейки или их стека может быть любой формы. Предполагается, что форма будет либо круглой, либо квадратной, либо прямоугольной. В качестве альтернативы можно использовать любую другую форму, такую как, но без ограничения: пятиугольник, шестиугольник, семиугольник, восьмиугольник и так далее. Альтернативно, для площади поперечного сечения может быть использована любая другая правильная или неправильная форма.

Предполагается, что можно использовать комбинацию различной площади поперечного сечения и толщины мембраны, а также другие описанные варианты, такие как MPL или GDL. В варианте осуществления, в котором площадь поперечного сечения уменьшается вдоль стека, толщина мембраны может увеличиваться вдоль стека. Такая конфигурация будет способствовать увеличению давления за счет уменьшенного объема и поможет снизить содержание воды в катодном потоке водорода путем увеличения электроосмотического сопротивления с более высокой плотностью тока и уменьшения переноса воды за счет более толстой мембраны. В других вариантах осуществления может быть использована любая комбинация вышеупомянутых вариантов.

Важно обеспечить достаточное количество воды на мембране или на каждой мембране при запуске, сборке компрессора, и условия ожидания должны это учитывать, путем обеспечения того, что мембраны и MEA в целом будут в значительной степени насыщены при сборке. Средства для дозирования воды также могут быть обеспечены в анодной ячейке или в каждой анодной ячейке.

Хотя настоящее изобретение не предполагается быть ограниченным катализатором или способом осаждения указанного катализатора, предусматривается, что катализатор может быть нанесен путем использования суспензии катализатора или распыления на электропроводящую подложку. Катализатор обычно содержит наночастицы, и подложка с электропроводящим каталитическим слоем может представлять собой что-то вроде углеродной ткани или Ni пены. Другой подложкой для катализатора может быть Se или его нано/микрочастицы.

Следует отметить, что электрохимическое сжатие не требует движущихся частей со всеми вытекающими отсюда преимуществами. Кроме того, электрохимическое сжатие потребляет гораздо меньше энергии, чем альтернативные формы сжатия, и, следовательно, по своей природе более безопасно для окружающей среды и повышает общую эффективность при рассмотрении производства водорода и управления им. Сжатие может быть достигнуто в одну стадию, в зависимости от эластичности используемой мембраны. Кроме того, процесс может быть изотермическим, а не адиабатическим.

Электрохимический компрессор, как описано в настоящем документе, может быть использован в других областях с по существу аналогичной конфигурацией.

Предпочтительно, чтобы подлежащий сжатию водород был получен с помощью электролиза или другого экологически чистого источника водорода. В таких случаях, хотя это применимо ко всем сценариям, электрохимическая ячейка или ячейки, вероятно, будут работать с перерывами. Во время замедления/перехода в режим ожидания градиент давления внутри стека будет выравниваться, а не поддерживать градиент давления. Возможно получение энергии от ячейки или ячеек путем реверсирования протекания электрического тока в стек во время перехода в режим ожидания. Генерируемая энергия может быть сохранена любым известным способом для последующего использования. Такая работа сводит к минимуму потери энергии. Энергия образуется в результате декомпрессии водорода, находящегося под давлением, за счет использования перепада давления, который создает электродвижущую силу.

Хотя предполагается, что водород, находящийся под давлением, покидающий ячейку или стек, будет храниться, альтернативный вариант осуществления позволяет осуществлять прямую дозаправку устройства, требующего водород, такого как, но без ограничения, автомобиль, вилочный погрузчик, лодка, автобус или любое другое устройство, работающее на водороде. В таком варианте осуществления следует использовать трубопровод и сопло с соответствующими характеристиками.

Другим альтернативным применением электрохимической ячейки или стека, как раскрыто, является датчик водорода. Присутствие газообразного водорода в потоке может быть обнаружено путем подачи газа, потенциально содержащего водород, на анод ячейки и приложения напряжения к ячейке или стеку. Если водород присутствует, будет измерен ток, причем ток пропорционален его парциальному давлению. И наоборот, можно прикладывать ток, и измеренное напряжение указывает на присутствие водорода в газовом потоке. Чтобы предотвратить повышение давления в

аноде ячейки, используемой в качестве датчика водорода, требуется выход из анода для предотвращения нежелательного повышения давления. Без упомянутого выхода анода поток, тестируемый на водород, не будет иметь пути выхода из ячейки. Это обсуждается дополнительно ниже в другом применении. Если скорость анодного потока высокая, с высоким % содержанием водорода в указанном потоке, электрохимическая ячейка может быть выполнена с возможностью функционирования только в качестве датчика или одновременно датчика и компрессора. Средства регулирования давления и система управления, как в других вариантах осуществления, потребуются для любой конфигурации.

Другим средством пассивного обнаружения водорода является измерение напряжения разомкнутой цепи ячеек. Катализатор может быть одинаковым или различным с обеих сторон. Потенциал разомкнутой цепи прямо пропорционален парциальному давлению присутствующего загрязняющего газа и может быть измерен пассивно. Калибровка для такого варианта осуществления датчика потребует путем введения газовых потоков известного состава в электрохимическую ячейку.

Еще одним применением для отдельной ячейки или их стека в соответствии с настоящим изобретением является выделение и сжатие водорода из потока, содержащего газообразный водород. Предполагается, что это будет применяться к потокам природного газа, содержащего водород, но может быть использован любой газ, содержащий водород. При этом некоторые газы могут негативно влиять на долговечность ячейки или стека, такие как, но без ограничения, монооксид углерода, диоксид углерода или аммиак. Загрязняющие вещества не будут пересекать мембрану ни электрохимически, ни каким-либо иным образом, и как таковые останутся в анодной полуячейке. Для предотвращения повышения давления в аноде первой ячейки предусмотрен выход для удаления газовых примесей. Возможно, некоторое количество водорода останется в потоке на выходе из анода, и поэтому предполагается, что газ можно будет рециркулировать в анод для дальнейшей очистки. Датчик водорода, как описано выше, может быть использован для обнаружения присутствия водорода и определения необходимости рециркуляции.

Анодный выход может быть использован на любой ячейке в стеке для любого варианта осуществления, но наиболее предпочтительно его используют на первой ячейке или ступени ячеек, чтобы обеспечить удаление загрязняющих веществ из анодной полуячейки или ячеек. Это не исключает включения анодных выходов на последующих ячейках.

Средства для регулирования давления могут быть обеспечены на любом одном или нескольких из входа в анодную ячейку, выхода анодной ячейки, в случае присутствия, или выхода катодной ячейки. Такие средства включают, но без ограничения, клапан.

Для лучшего понимания изобретения сейчас будет описан конкретный вариант его осуществления в качестве примера и со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

на фигуре 1 изображен электрохимический компрессор АЕМ с одной ячейкой,

на фигуре 2 изображено множество ячеек, образующих электрохимический стек АЕМ,

на фигуре 3а показана электрохимическая ячейка АЕМ с одной ячейкой,

на фигуре 3b показано множество ячеек, образующих электрохимический стек АЕМ,

на фигуре 4 показан МЕА, пригодный для использования в настоящем изобретении,

на фигуре 5 показана электрохимическая ячейка в соответствии с настоящим изобретением, пригодная для использования либо в качестве датчика водорода, либо для выделения водорода из потока газа, содержащего водород,

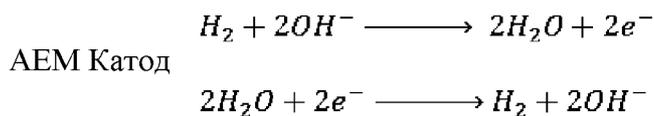
на фигуре 6 показана электрохимическая ячейка фигуры 5 с дополнительной ячейкой для дальнейшего сжатия водорода,

на фигуре 7а показан электрохимический компрессор, содержащий множество ячеек в качестве первой ступени сжатия, и

на фигуре 7b показан электрохимический компрессор, содержащий множество ячеек, в качестве первой ступени сжатия в альтернативной конструкции.

Ссылаясь на фигуру 1, можно видеть электрохимический компрессор 1 на основе АЕМ с одной ячейкой. Имеется вход 2 и выход 3. Через вход 2 поток преимущественно водорода из электролизера или другого источника водорода подается в анодную полуячейку 5, при этом МЕА 4 отделяет анодную полуячейку 5 от катодной полуячейки 6. Водород поступает в анодную полуячейку 5 при первом давлении  $P_1$ , которое повышается до второго более высокого давления  $P_2$  в катодной полуячейке 6. Реакции как в анодной, так и в катодной полуячейках являются следующими:

АЕМ Анод



MEA 4 разделяет две полуячейки и будет состоять по меньшей мере из анода, катода и АЕМ между ними. Можно использовать дополнительные слои, такие как GDL или MPL, при этом их свойства могут изменяться по мере необходимости, как описано выше. На фигуре 4 представлена увеличенная схема MEA 4.

Вода, образующаяся на аноде, становится связанной с мембраной, после чего расходуется в катодной реакции.  $OH^-$ , образующийся на катоде, мигрирует обратно к аноду, после чего расходуется в анодной реакции. Электроны с анода расходуются на катоде.

Следует отметить, что загрязняющие вещества, такие как вода или кислород, могут присутствовать на входе для водорода. Ни то, ни другое не является проблемой, поскольку вода будет вести себя так, как описано выше, и кислород может реагировать с водородом в первой анодной полуячейке с образованием воды, в зависимости от катализатора.

Наиболее вероятно, что электрохимического компрессора АЕМ с одной ячейкой будет недостаточно для достижения необходимого давления, поскольку такое множество ячеек можно использовать последовательно, образуя стек, как видно на фигуре 2.

На фигуре 2 (ВОР не показан) изображено множество ячеек 1a, 1b и 1c, образующих стек 10. Квадратные скобки вокруг 1b показывают, что в стеке может иметься более трех ячеек. Количество ячеек в стеке не является ограничивающим признаком настоящего изобретения. Водород из электролизера, промежуточного хранилища или другого источника поступает в первую анодную камеру при  $P_1$  через вход 2a. Происходит анодная реакция с образованием водорода на катоде в катодной реакции до тех пор, пока не будет достигнуто  $P_2$  в 3a. Водород при  $P_2$  с первого катода ба поступает на анод второй ячейки 5b, все еще при  $P_2$ , через выход 3a, соединенный с входом 2b. Вторая анодная и катодная реакции происходят в полуячейках 5b и 6b, при этом водород вырабатывается во второй катодной камере 6b до тех пор, пока не будет достигнуто  $P_3$ . Это продолжается последовательно до последней ячейки стека, на этой фигуре 1c, где водород подается в резервуар для хранения или другое место назначения, требующее подачи водорода под давлением из конечного выхода 3c при конечном давлении  $P_4$ . Система управления и ВОР не показаны.

Ссылаясь на фигуру 3а и 3б показаны ячейки с различной площадью поперечного сечения МЕА. На фигуре 3а показана одиночная ячейка 11 с сужением 7 для МЕА 4, на фигуре 3б показаны две такие последовательные ячейки. Две пунктирные линии X----X показывают, что МЕА 4 второй ячейки меньше, чем у первой. Такие отклонения предназначены для того, чтобы помочь управлять перепадом давления, наблюдаемым в каждой ячейке стека, и улучшить управление водой. Другие раскрытые средства включают изменение механических, а также химических и физико-химических свойств мембран.

Ссылаясь на фигуру 4, можно видеть схематическое изображение МЕА 4 с различными составляющими частями. Слева направо в следующем порядке: анодный GDL 45а, анодный катализатор 42, анионообменная мембрана 41, катодный катализатор 43, MPL 44 и катодный GDL 45с. Основными компонентами являются два катализатора и мембрана, остальные компоненты могут улучшить функциональность системы. MPL 44 может различаться между ячейками, чтобы иметь разные свойства для достижения желаемого результата, такие различия не показаны. Более гидрофобный MPL в последних ячейках стека должен свести к минимуму утечку воды через мембрану, тем самым гарантируя, что сжатый водород, выходящий из стека, будет как можно более сухим.

Ссылаясь на фигуру 5, можно видеть схему электрохимической ячейки 21 в соответствии с настоящим изобретением, подходящей для сжатия водорода, а также выделения водорода из потока газа, содержащего водород, или в качестве датчика водорода. Во-первых, будет обсуждаться операция по очистке от водорода.

Анод 25 в этом варианте осуществления имеет вход 22 для подачи потока жидкости, содержащего водород, и выход 27 для отвода других загрязняющих газов для предотвращения нарастания давления в анодной полуячейке 25, средства для регулирования выхода, обычно клапан, на выходе 27 не показаны. При подаче тока на ячейку водород будет реагировать, как описано в более ранних вариантах осуществления, в то время как остальные газы не будут реагировать. Это означает, что водород проходит через АЕМ 24 и достигает катодной полуячейки 26, при этом загрязняющие газы остаются в аноде 25. Водород покидает катод 26 при повышенном давлении  $P_2$ . Давление  $P_2$  можно регулировать с помощью любого известного средства регулирования давления, такого как клапан, в этом и любом другом варианте осуществления для обеспечения возможности повышения давления.

Ячейка, показанная на фигуре 5, также может быть использована в качестве датчика водорода. В таком варианте осуществления поток газа, в котором неизвестно, присутствует ли водород, подается в ячейку 21 через вход 22. К ячейке прикладывается небольшое напряжение, и, если присутствует водород, будет обнаруживаться ток. Измеряемый ток должен быть пропорционален парциальному давлению или концентрации водорода в потоке. Выход 27 в аноде позволяет удалять другие газы, чтобы предотвратить нежелательное повышение давления из-за того, что другие загрязняющие газы остаются в аноде. Катодный выход 23 ячейки, приспособленный для обнаружения водорода, подает водород из ячейки либо для дальнейшего сжатия, либо для других целей. Датчик может быть использован только для обнаружения присутствия водорода, чтобы информировать пользователя о его присутствии, таким образом, в таком варианте осуществления может не потребоваться сжатие.

Ссылаясь на фигуру 6, ячейка на фигуре 5, 21а показана с катодным выходом 23а, соединенным с анодным входом 22b второй ячейки 21b в стеке, следует отметить, что для обеспечения дальнейшего сжатия водорода могут быть подключены дополнительные ячейки. Принцип действия во многом повторяет описание других стеков, с той лишь разницей, что водород удаляется из загрязненного потока в ячейке 21а. Очищенный и сжатый водород в катоде 26а сообщается с анодом 25b через выход/вход 23а, 22b. Ячейка 21b будет дополнительно сжимать водород, когда он проходит через мембрану 24b к катоду 26b. Следует отметить, что дополнительные ячейки могут быть использованы последовательно, если требуется дальнейшее сжатие.

На фигурах 7а и 7b показаны два варианта альтернативного устройства электрохимического стека. Во-первых, ссылаясь на фигуру 7а, по меньшей мере две электрохимические ячейки 31а и 31b, образующие стек для первой ступени сжатия, соединены параллельно. Водород поступает в каждый анод 35а, 35b при первом давлении, и при подаче тока происходят описанные выше анодные и катодные реакции. Водород преобразуется в катоде 36а и 36b, и средства регулирования давления (не показаны) позволяют подавать водород из катодных выходов 33а и 33b при втором давлении. Катодные выходы на каждой ступени затем объединяются, см. трубу 37, с водородом при втором давлении, образуя сырье для анодного входа 32с ячейки или ячеек на следующей ступени сжатия. Количество ячеек на каждой ступени или количество ступеней сжатия не ограничено. Перепад давления каждой ячейки на ступени обычно будет одинаковым, но может различаться между ступенями.

Наконец, ссылаясь на фигуру 7b можно увидеть электрохимический компрессор с несколькими ячейками, 51a и 51b, образующими ступень. Как обсуждалось выше, на каждой ступени может быть более двух ячеек. Водород поступает через анодные входы 52a, 52b при первом давлении, пересекает мембраны 54a и 54b по описанному выше механизму реакции и преобразуется в катодах 56a, 56b. Водород при втором давлении поступает от катодов через катодные выходы 53a и 53b в трубопровод 57, при этом поток образует сырье для следующей стадии сжатия. Водород поступает в ячейку на следующей стадии сжатия 51c через анодный вход 52c. Ячейки 51a, 51b и 51c разделены изолирующими слоями 58.

Следует отметить, что, хотя это и не показано, подача 57 будет содержать средства регулирования давления и другие элементы, составляющие ВОР.

Для ясности, в этих примерах ячейки 31a, 31b составляют ступень, и ячейка 31c составляет ступень. Аналогично на фигуре 7b ячейки 51a и 51b составляют ступень, и ячейка 51c представляет отдельную ступень. На фигуре 2 ячейки 1a, 1b и 1c представляют собой каждая отдельную ступень. Ступени могут иметь одинаковое или различное количество ячеек, в зависимости от требований. Каждая ступень может иметь 2 или более ячеек, образующих указанную ступень.

Чтобы поддерживать постоянный расход, сумма плотностей тока на мембранах ячеек на каждой ступени будет по существу одинаковой, когда перепад давления в каждой ячейке одинаков. Если ячейки одной ступени имеют более высокий перепад давления, то плотность тока будет пропорционально выше для учета обратного потока и т.д., как обсуждалось выше.

Изобретение не предназначено для ограничения деталями любого из вышеописанных вариантов осуществления. Например, любой электрохимический компрессор для водорода, использующий ячейку или ячейки с АЕМ, вероятно, будет охвачен настоящим изобретением.

Способ изготовления компонентов внутри электрохимического компрессора не предназначен для ограничения настоящего изобретения.

Так как водород, выходящий из компрессора, должен быть по своей природе сухим, осушитель может быть предусмотрен на конечном выходе, чтобы обеспечить по существу сухость водорода перед хранением под давлением.

Настоящее изобретение не предназначено для ограничения используемым катализатором, хотя предпочтение отдается катализатору, отличному от PGM, составом мембраны, конечным давлением или любым другим подобным компонентом.

Хотя предполагается, что градиент рН с кислыми и щелочными областями на противоположных концах может возникать при экстремальных плотностях тока, предпочтительно, чтобы рН в настоящем изобретении был по существу 7 или выше, еще более предпочтительно по существу от 9 до 14 и даже выше, предпочтительно от по существу 12 до по существу 13. В любом случае настоящее изобретение не зависит от градиента рН.

Хотя часто необходимо сжимать водород, предполагается, что настоящее изобретение может быть использовано только для очистки потока водорода без необходимости дальнейшего сжатия. В таком варианте осуществления ячейку или их стек в соответствии с настоящим изобретением можно использовать без средств для регулирования давления, таких как, но без ограничения, клапаны, между ячейками, которые обеспечили бы поток водорода между ячейками и очистку, происходящую в нем. Раскрыты средства для управления водой, помогающие в сушке водорода. Ячейки, как описано и изображено, могут быть выполнены в соответствии с любым из раскрытых признаков, т.е. в качестве датчика, компрессора, осушителя или их комбинации.

Загрязняющие вещества обычно остаются в первой анодной полуячейке. При наличии загрязняющих веществ, отличных от воды и кислорода, выход для анода является предпочтительным, чтобы предотвратить повышение давления в первой ячейке. Выход также позволяет производить удаление воды, чтобы предотвратить затопление анода.

Хотя предполагается, что сжатый водород будет использован для хранения энергии или в топливных элементах, альтернативные варианты использования сжатого водорода включают охлаждение.

Хотя в стеке может быть большое количество ячеек, не предполагается, что потребуется водород существенно выше 1000 бар. Если давление будет увеличено на 35 бар на ячейку, предполагается, что в каждом стеке будет не более 30 ячеек.

Настоящее изобретение может быть выполнено множеством способов, при этом одна или несколько ячеек образуют ступень сжатия, причем каждая ступень может рассматриваться как стек. Такие стеки могут быть расположены последовательно или параллельно друг другу.

Настоящее изобретение обеспечивает возможность одновременного сжатия и сушки водорода без движущихся частей. Система также не зависит от кислой среды или катализаторов PGM и не имеет движущихся частей. Таким образом, система по

своей сути является более эффективной, чем известные альтернативы, улучшая экологические характеристики водорода.

### Формула изобретения

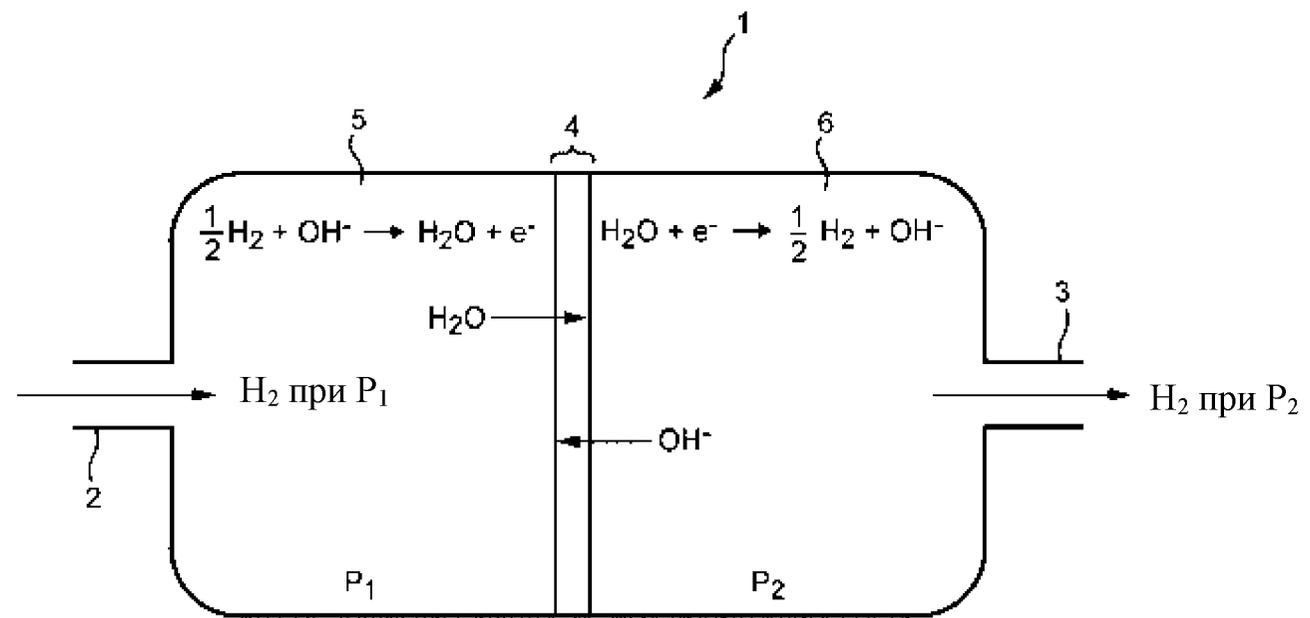
1. Электрохимическая ячейка, содержащая:
  - анодную полуячейку, имеющую вход, выполненный с возможностью приема водорода при первом давлении;
  - катодную полуячейку, имеющую выход, выполненный с возможностью переноса водорода при втором давлении;
  - узел мембранного электрода (МЕА), разделяющий указанную анодную полуячейку и указанную катодную полуячейку; и
  - источник питания;где указанный МЕА содержит по меньшей мере:
  - анодный электрод;
  - катодный электрод; и
  - анионообменную мембрану (АЕМ) между ними.
2. Электрохимическая ячейка по п. 1, содержащая по меньшей мере один анодный выход.
3. Электрохимическая ячейка по п. 1 или п. 2, дополнительно содержащая средства регулирования давления в любом одном или нескольких из:
  - входа анодной полуячейки;
  - выхода катодной полуячейки;
  - выхода анодной полуячейки, в случае присутствия.
4. Электрохимическая ячейка по п. 3, где средство регулирования давления на выходе катодной полуячейки выполнено таким образом, чтобы при использовании поддерживать давление газа в катодной полуячейке выше, чем давление газа в анодной полуячейке.
5. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где МЕА дополнительно содержит один или несколько катализаторов.
6. Электрохимическая ячейка по п. 5, где катализатор или каждый катализатор не является металлом платиновой группы.

7. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где MEA дополнительно содержит любой один или несколько из:
  - анодного газодиффузионного слоя (GDL);
  - катодного GDL;
  - микропористого слоя (MPL) на анодной и/или катодной стороне;
  - регулирующей воду мембраны на анодной и/или катодной стороне;
  - подложки мембраны на анодной и/или катодной стороне.
8. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где указанная АЕМ содержит композитную мембрану.
9. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где указанная АЕМ допирована источником  $\text{OH}^-$ .
10. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, включающая иономер по меньшей мере на одной катодной стороне АЕМ и анодной стороне АЕМ.
11. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где MEA не содержит иономера и/или связующего вещества по меньшей мере на одной из анодной или катодной стороны указанной АЕМ.
12. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где АЕМ содержит гигроскопические частицы.
13. Электрохимическая ячейка по п. 12, где указанные гигроскопические частицы находятся в градиенте концентрации, при этом их концентрация выше на катодной стороне АЕМ.
14. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, в случае зависимости от пункта 3, где средство регулирования давления выполнено таким образом, чтобы при использовании поддерживать перепад давления в ячейке в диапазоне 1-1000 бар.

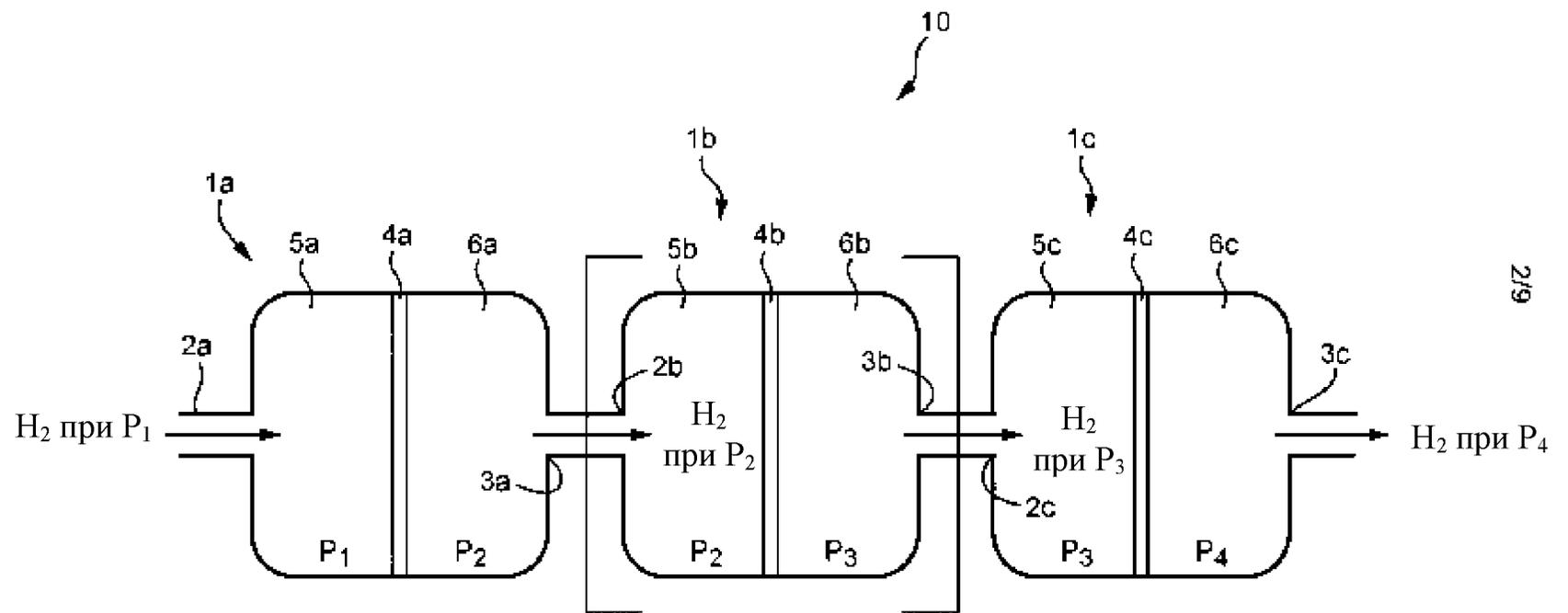
15. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, содержащая датчик влажности, соединенный с выходом указанной катодной полуячейки.
16. Электрохимическая ячейка по любому из пп. 1-15, содержащая выходное средство, выполненное с возможностью сообщения с внешним устройством, работающим на водороде, для его непосредственной дозаправки.
17. Электрохимическая ячейка по любому из пп. 1-15, где при использовании во время линейного замедления мощность, генерируемая ячейкой, сохраняется.
18. Электрохимическая ячейка по любому из предшествующих пунктов, где указанный источник питания представляет собой обратный импульс.
19. Датчик водорода, содержащий электрохимическую ячейку по любому из пп. 1-15, где указанная анодная полуячейка содержит выход, датчик, дополнительно содержащий средство для приложения напряжения к указанной ячейке, и средства измерения тока, выполненные с возможностью измерения тока через ячейку в результате приложения упомянутого напряжения, причем ток указывает на присутствие водорода в протекающем газовом потоке.
20. Датчик водорода, содержащий электрохимическую ячейку по любому из пп. 1-15, где указанная анодная полуячейка содержит выход, датчик, дополнительно содержащий средство для протекания тока через указанную ячейку, и средства измерения напряжения, выполненные с возможностью измерения напряжение на ячейке в результате подачи упомянутого тока, причем напряжение указывает на присутствие водорода в протекающем газовом потоке.
21. Датчик водорода, содержащий электрохимическую ячейку по любому из пп. 1-15, где указанная анодная полуячейка содержит выход, датчик, дополнительно содержащий средства для пассивного измерения потенциала разомкнутой цепи, при этом указанный потенциал пропорционален парциальному давлению загрязняющего газа.

22. Устройство для удаления водорода из газового потока, при этом устройство содержит электрохимическую ячейку по любому из пп. 1-15, где указанная анодная полуячейка снабжена выходом, выполненным с возможностью удаления из него загрязняющих газов.
23. Узел электрохимической ячейки, содержащий по меньшей мере первую и вторую электрохимические ячейки по любому из пп. 1-15, выполненный в виде стека, где выход катодной полуячейки указанной первой электрохимической ячейки сообщается по текучей среде с входом анодной полуячейки второй электрохимической ячейки.
24. Узел электрохимической ячейки по п. 23, содержащий множество электрохимических ячеек по любому из пп. 1-15, расположенных последовательно в виде стека, где выход катодной полуячейки каждой электрохимической ячейки, кроме последней электрохимической ячейки в стеке, сообщается по текучей среде с входом анодной полуячейки непосредственно примыкающей электрохимической ячейки в стеке, и выход катодной полуячейки последней электрохимической ячейки в стеке выполнен с возможностью доставки водорода во внешний пункт назначения.
25. Способ обработки газового потока, содержащего водород, включающий обеспечение электрохимической ячейки по любому из пп. 1-15, подачу содержащего водород газового потока на вход анодной полуячейки и перенос водорода с выхода катодной полуячейки.
26. Способ обработки содержащего водород газового потока, включающий обеспечение узла электрохимической ячейки по п. 22 или п. 23, подачу содержащего водород газового потока на вход анодной полуячейки первой электрохимической ячейки в стеке, перенос водорода с выхода катодной полуячейки каждой электрохимической ячейки в стеке на вход анодной полуячейки другой электрохимической ячейки, и доставку водорода с выхода катодной полуячейки последней электрохимической ячейки в стеке во внешнее место назначения.

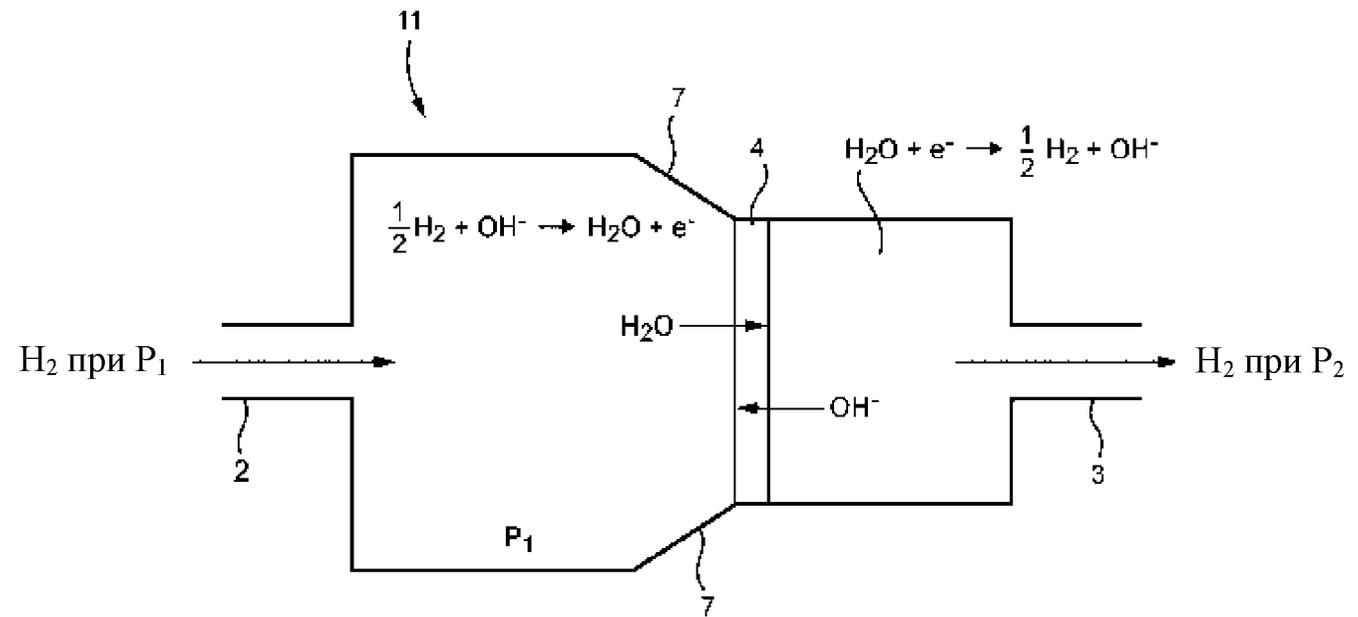
Фиг. 1



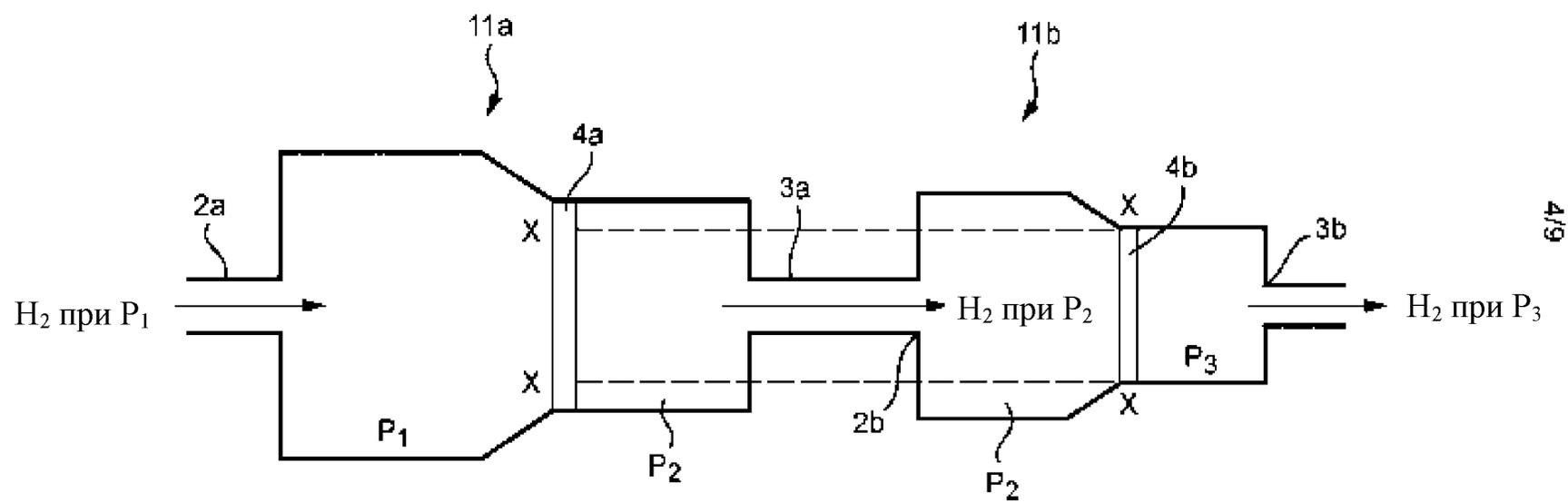
Фиг. 2



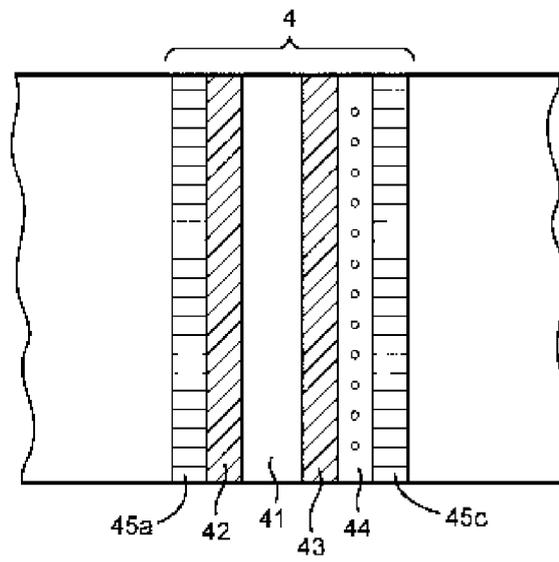
Фиг. 3А



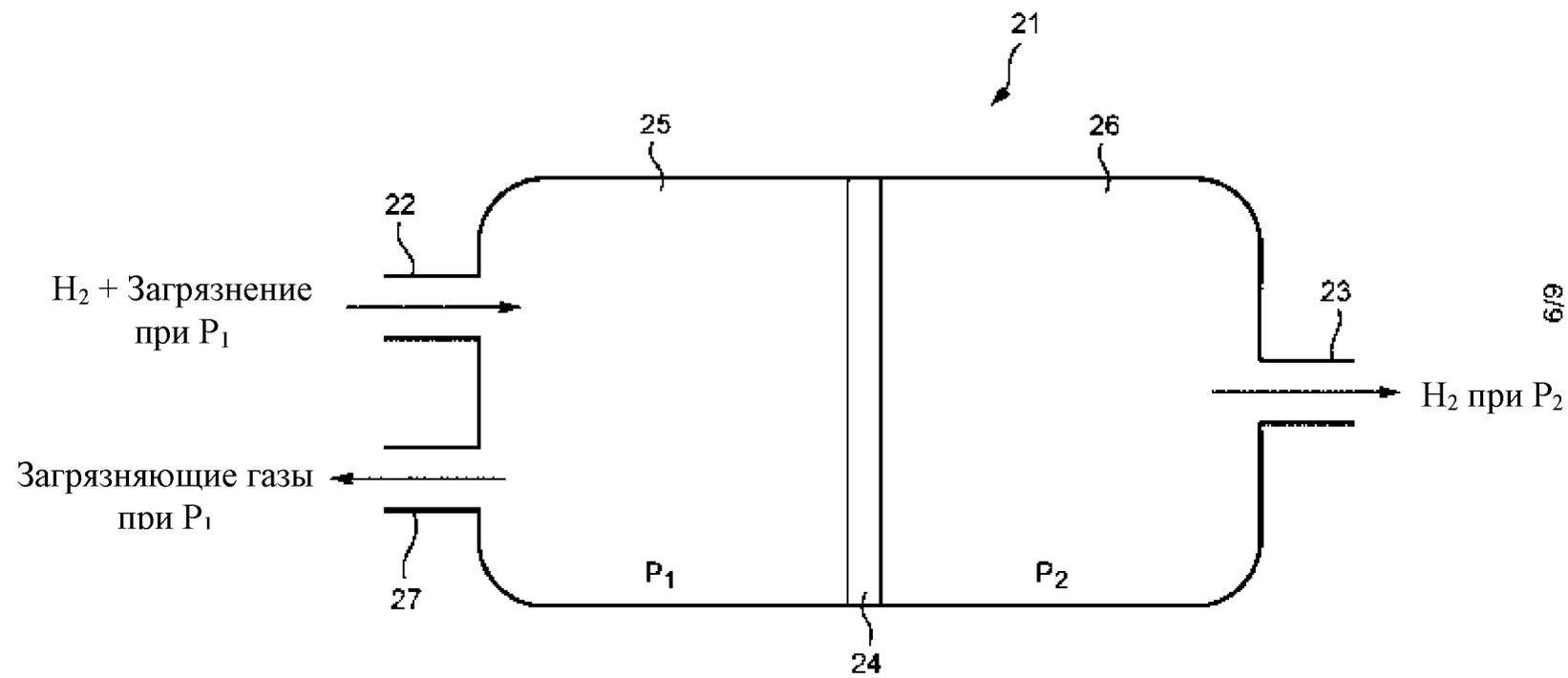
Фиг. 3В



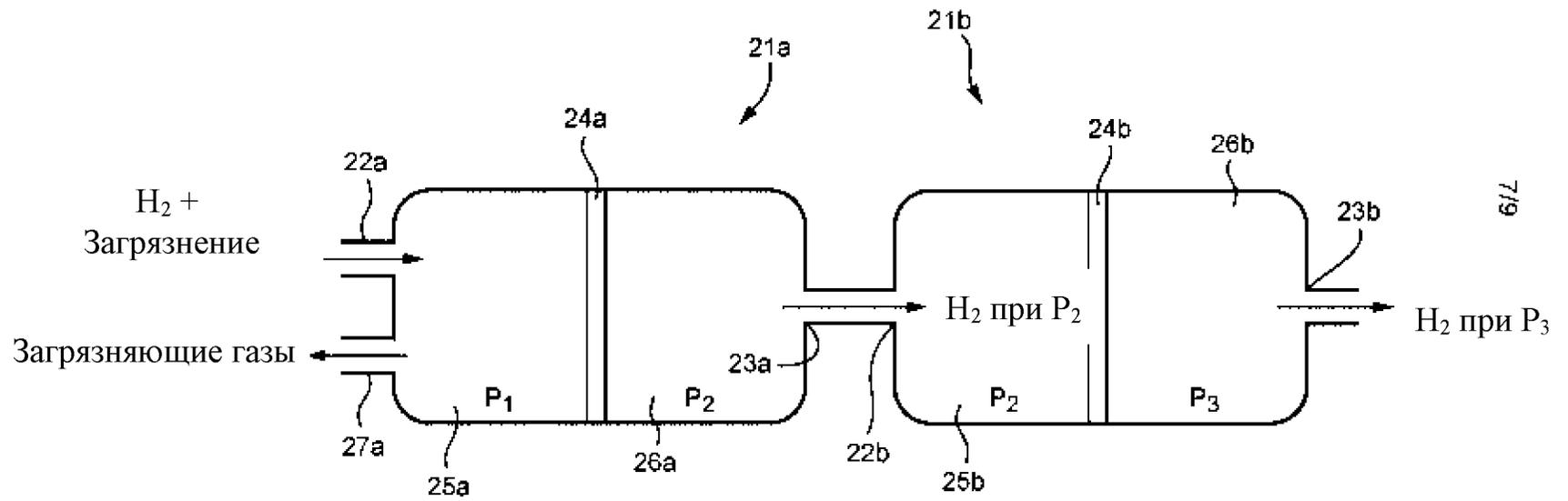
Фиг. 4



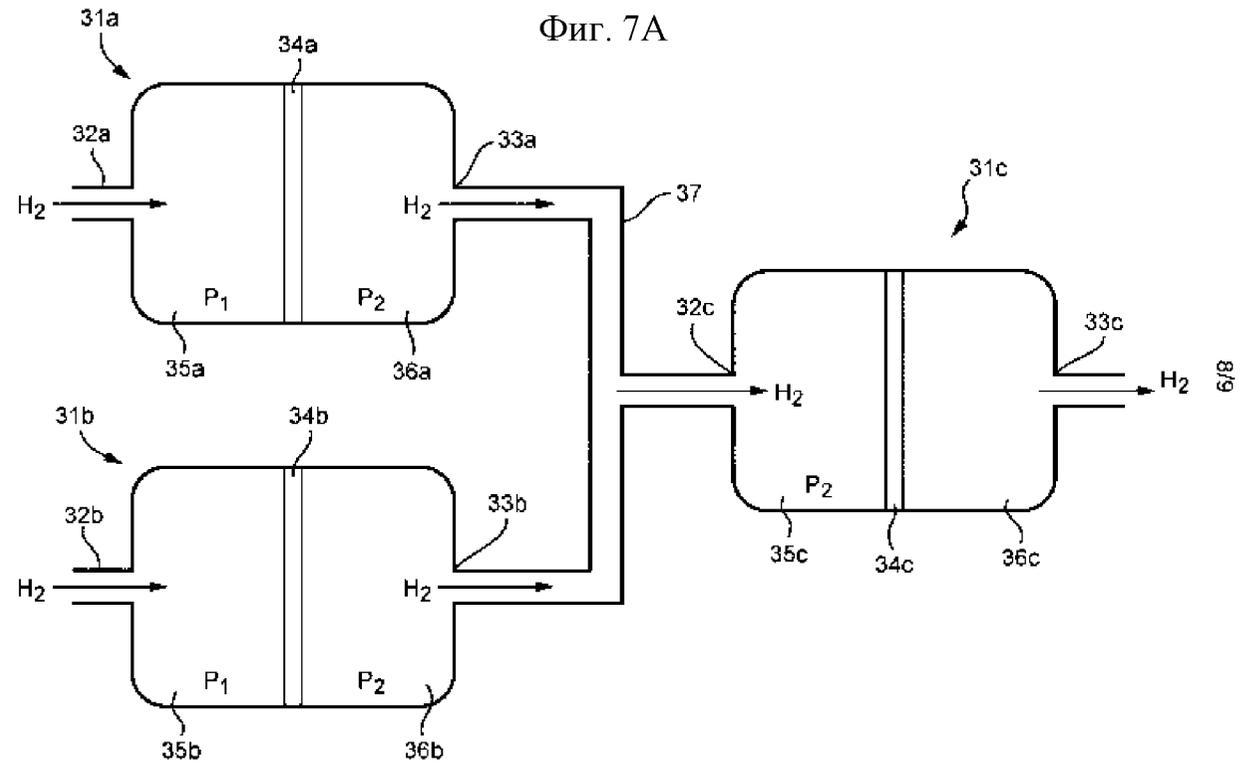
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7А



Фиг. 7В

