

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201992042** (13) **A1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**(43) Дата публикации заявки
2020.04.02(51) Int. Cl. *C02F 1/461* (2006.01)
C02F 1/46 (2006.01)
C02F 1/467 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2018.04.13(54) **ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК**

(31) 62/485,542

(32) 2017.04.14

(33) US

(86) PCT/US2018/027574

(87) WO 2018/191669 2018.10.18

(71) Заявитель:

ЭВОКУА УОТЕР ТЕКНОЛОДЖИЗ
ЛЛК (US)

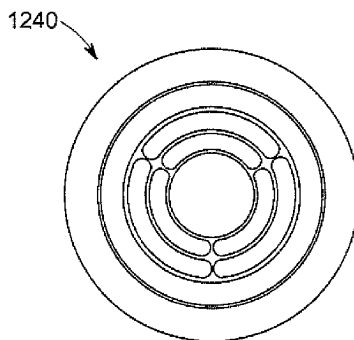
(72) Изобретатель:

Грин Эндрю (GB), Гриффис Джошуа,
Лян Ли-Шиан (US), Беддоус Пол (GB)

(74) Представитель:

Хмара М.В. (RU)

(57) Раскрыты самоочищающиеся электрохимические ячейки, системы, содержащие самоочищающиеся электрохимические ячейки, и способы эксплуатации самоочищающихся электрохимических ячеек. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка может содержать совокупность концентрических электродов, расположенных в корпусе, жидкостный канал, расположенный между концентрическими электродами, и электрический соединитель, расположенный на дистальном конце концентрического электрода и электрически соединенный с электродом. Электрические соединители могут быть выполнены с возможностью обеспечения, по существу, равномерного распределения тока по концентрическому электроду и минимизации зоны со сниженной скоростью, возникающей ниже по течению от электрического соединителя. Электрический соединитель может быть выполнен с возможностью обеспечения повышения температуры раствора электролита менее чем примерно на 0,5°C при передаче мощности, равной по меньшей мере 100 Вт.



A1

201992042

201992042

A1

ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ССЫЛКИ НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Данная заявка претендует на приоритет и эффект изобретения согласно 35 U.S.C. § 119(e) в соответствии с предварительной заявкой на патент США с регистрационным номером US 62/485,542, озаглавленной «ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК», поданной 14 апреля 2017 г., содержание которой полностью включено в данную публикацию посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения, раскрытые в данной публикации, в целом относятся к электрохимическим устройствам, и более конкретно – к ячейкам и устройствам для электрохлорирования, к способам их эксплуатации и к системам, в которых они использованы.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Согласно аспекту настоящего изобретения предложена самоочищающаяся электрохимическая ячейка. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка может содержать совокупность электродов, концентрически расположенных в корпусе вокруг центральной оси, жидкостный канал, расположенный между соседними электродами из совокупности электродов и проходящий по существу параллельно центральной оси, и электрический соединитель, расположенный на дистальном конце по меньшей мере одного электрода из совокупности электродов и электрически соединенный с по меньшей мере одним электродом из совокупности электродов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрический соединитель может иметь размеры, позволяющие протекание жидкости через жидкостный канал и обеспечивающие по существу равномерное распределение тока по меньшей мере по одному электроду из совокупности электродов с сохранением зоны сниженной линейной скорости, имеющей длину меньше предварительно определенной, внутри жидкостного канала ниже по течению от электрического соединителя. Зону сниженной скорости можно определить как область в жидкостном канале, в которой линейная скорость течения жидкости отличается от средней линейной скорости течения жидкости в канале не более чем на 20%.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрический соединитель имеет среднее удельное электрическое сопротивление менее примерно $7,8 \times 10^{-7}$ Ом·м. Электрический соединитель может иметь размеры, позволяющие генерировать менее примерно 25 Вт теплоты при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов. Электрический соединитель может иметь размеры, позволяющие генерировать менее примерно 25 Вт теплоты при передаче по меньшей мере 1 кВт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения электрический соединитель может содержать кольцо и совокупность перекладин, отходящих от кольца. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка может также содержать разделитель, размещенный между соседними электродами; разделитель содержит элемент, имеющий конфигурацию, обеспечивающую сопряжение с электрическим соединителем. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения элемент разделителя может включать прорезь, имеющую конфигурацию, обеспечивающую сопряжение с перекладиной электрического соединителя.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения каждая перекладина из совокупности перекладин может иметь размеры, позволяющие минимизировать электрическое сопротивление электрического соединителя и поддерживать генерацию теплоты электрическим соединителем, приводящую к изменению температуры менее чем примерно на $0,1^{\circ}\text{C}$ при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

Совокупность перекладин может быть по существу равномерно распределена по кольцу. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения перекладины могут иметь обтекаемую конфигурацию в направлении, параллельном центральной оси корпуса.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения самоочищающаяся электрохимическая ячейка может содержать совокупность жидкостных каналов, расположенных концентрически между соответствующими парами соседних электродов. Электрический соединитель может содержать совокупность колец и совокупность перекладин, расположенных между

соседними кольцами из совокупности колец. Перекладины, отходящие от соседних колец, могут быть ориентированы под углом друг к другу. Перекладины, отходящие от соседних колец, могут находиться по существу на одинаковом расстоянии друг от друга.

5 Согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения предложена самоочищающаяся электрохимическая ячейка, содержащая совокупность электродов, жидкостный канал и электрический соединитель. Электроды совокупности могут быть расположены концентрически в корпусе вокруг центральной оси корпуса. Жидкостный канал может быть расположен между
10 соседними электродами и проходить по существу параллельно центральной оси. Электрический соединитель может быть расположен на дистальном конце одного электрода из совокупности электродов и электрически соединен с электродом. Электрический соединитель может иметь размеры, позволяющие протекание жидкости через канал, и он может иметь конфигурацию, приводящую к повышению
15 температуры электролита, протекающего через жидкостный канал с линейной скоростью, равной примерно 2 м/с, и имеющего температуру, равную примерно 20°C, менее чем примерно на 0,5°C при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

Электрический соединитель может содержать электрический разъем для
20 подсоединения к внешнему источнику мощности. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрическое сопротивление электрического соединителя между электрическим разъемом и электродом может быть менее примерно 5×10^{-5} Ом.

Электрический соединитель может иметь размеры, обеспечивающие по
25 существу равномерное распределение электрического тока между совокупностью электродов. Электрический соединитель может иметь размеры, обеспечивающие то, что длина зоны сниженной линейной скорости внутри жидкостного канала ниже по течению от электрического соединителя остается меньше предварительно определенной длины. В некоторых вариантах осуществления настоящего
30 изобретения отклонение линейной скорости раствора электролита от среднего значения на предварительно определенной длине может быть меньше $\pm 5\%$ от средней линейной скорости течения раствора электролита через жидкостный канал. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения отклонение линейной скорости раствора электролита от среднего на предварительно

определенной длине может быть меньше $\pm 2\%$ от средней линейной скорости течения раствора электролита через жидкостный канал.

В соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения предложена система, содержащая самоочищающуюся электрохимическую ячейку, имеющую впускное отверстие и выпускное отверстие, находящиеся в жидкостной связи с жидкостным каналом, и источник раствора электролита, имеющий выпускное отверстие, которое можно жидкостно соединить с впускным отверстием самоочищающейся электрохимической ячейки. Источник раствора электролита может иметь конфигурацию, обеспечивающую подачу раствора электролита со средней линейной скоростью течения жидкости через жидкостный канал, равной 2 м/с или более. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка может иметь конфигурацию, обеспечивающую получение целевого соединения из раствора электролита и отведение продуктивного раствора, содержащего целевое соединение. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка может быть жидкостно соединена с точкой использования через выпускное отверстие.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник раствора электролита может содержать по меньшей мере один раствор, выбранный из морской воды, соленой (солонатовой) воды и солевого раствора (рассола). Система может содержать совокупность самоочищающихся электрохимических ячеек, соединенных последовательно.

Согласно другому аспекту предложен способ эксплуатации электрохимической системы. Способ может включать обеспечение самоочищающейся электрохимической ячейки, подачу раствора электролита в самоочищающуюся электрохимическую ячейку со средней линейной скоростью течения жидкости через жидкостный канал, равной примерно 2 м/с или более, подачу тока через совокупность электродов при напряжении, достаточном для образования целевого соединения из раствора электролита в самоочищающейся электрохимической ячейке, и непрерывную эксплуатацию электрохимической системы в течение предварительно определенного периода времени.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ может включать непрерывную эксплуатацию электрохимической системы в течение по меньшей мере 6 месяцев. Способ может включать обеспечение совокупности самоочищающихся электрохимических ячеек и последовательное жидкостное соединение совокупности самоочищающихся электрохимических ячеек.

Раскрытие предмета изобретения предполагает любые комбинации любых указанных выше аспектов и/или вариантов осуществления настоящего изобретения, а также их комбинации с любыми вариантами осуществления настоящего изобретения, указанными в подробном описании и примерах его осуществления.

5 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Прилагаемые графические материалы не являются изображениями в масштабе. На графических материалах все идентичные или близкие к идентичным компоненты, изображенные на различных чертежах, помечены одинаковыми ссылочными номерами. Из соображений наглядности не все компоненты могут быть
10 помечены на всех графических материалах. На графических материалах изображено следующее:

Фиг. 1А является изометрическим видом варианта осуществления концентрической трубчатой электрохимической ячейки.

Фиг. 1В является видом в поперечном разрезе концентрической трубчатой
15 электрохимической ячейки из Фиг. 1А.

Фиг. 1С содержит вид сбоку и вид в поперечном разрезе концентрической трубчатой электрохимической ячейки из Фиг. 1А.

Фиг. 1D является альтернативным изометрическим видом концентрической трубчатой электрохимической ячейки из Фиг. 1А.

Фиг. 2А иллюстрирует протекание электрического тока через вариант
20 осуществления концентрической трубчатой электрохимической ячейки.

Фиг. 2В иллюстрирует протекание электрического тока через другой вариант осуществления концентрической трубчатой электрохимической ячейки.

Фиг. 2С иллюстрирует протекание электрического тока через еще один
25 вариант осуществления концентрической трубчатой электрохимической ячейки.

Фиг. 3А является видом в поперечном разрезе электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 3В является увеличенным видом в поперечном разрезе части электрохимической ячейки из Фиг. 3А.

Фиг. 3С является видом в поперечном разрезе варианта электрохимической ячейки из Фиг. 3А.

Фиг. 4 является контурной картой профиля линейной скорости течения в жидкостном канале электрохимической ячейки согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 5 является контурной картой профиля линейной скорости течения в жидкостном канале электрохимической ячейки согласно альтернативному варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6А является изометрическим видом разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6В является видом сбоку выступа на разделителе согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6С является видом в плане выступа на разделителе согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 6D является изометрическим видом выступа на разделителе согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 7А является изометрическим видом разделителей, расположенных между электродными трубками, согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 7В является видом сбоку разделителей и электродов из Фиг. 7А.

Фиг. 7С является изометрическим видом разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 7D содержит виды сбоку разделителя из Фиг. 7С.

Фиг. 8А является видом сбоку электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 8В является видом в поперечном разрезе электрохимической ячейки из Фиг. 8А.

Фиг. 9А является видом в плане с верхней стороны концевой штуцера согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 9B является видом в плане с нижней стороны концевого штуцера из Фиг. 9A.

Фиг. 9C является видом сбоку концевого штуцера из Фиг. 9A.

Фиг. 9D является видом в поперечном разрезе концевого штуцера из Фиг. 9A.

5 Фиг. 10A является видом в поперечном разрезе части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 10B является изображением в разобранном виде части электрохимической ячейки из Фиг. 10A.

10 Фиг. 11A является видом в поперечном разрезе части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 11B является изометрическим видом части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 12 является контурной картой падения давления на электрохимической ячейке согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

15 Фиг. 13A является контурной картой давления на входе во впускном штуцере электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

20 Фиг. 13B является альтернативной контурной картой давления на входе во впускном штуцере электрохимической ячейки согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 13C является альтернативной контурной картой давления на входе во впускном штуцере электрохимической ячейки согласно еще одному варианту осуществления настоящего изобретения.

25 Фиг. 14A является набором контурных карт давления на входе во впускном штуцере электрохимической ячейки с различными вариантами осуществления входного конуса.

Фиг. 14B является графиком падения давления в зависимости от угла раскрытия конуса для вариантов осуществления входного конуса из Фиг. 14A.

Фиг. 15А является видом в поперечном разрезе электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 15В является контурной картой давления на выходе в выпускном штуцере электрохимической ячейки с выходной усеченной пирамидой согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 16 является изометрическим видом части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 17А является изометрическим видом части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

10 Фиг. 17В является изометрическим видом другой части электрохимической ячейки из Фиг. 17А.

Фиг. 17С является изометрическим видом еще одной части электрохимической ячейки из Фиг. 17А.

15 Фиг. 18А является изометрическим видом части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 18В является видом в плане части электрохимической ячейки из Фиг. 18А.

Фиг. 19А является изображением в разобранном виде разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

20 Фиг. 19В является видом в плане разделителя из Фиг. 19А.

Фиг. 19С является видом в поперечном разрезе разделителя из Фиг. 19А.

Фиг. 20А является изометрическим видом части разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 20В является видом сбоку разделителя из Фиг. 20А.

25 Фиг. 20С является видом в поперечном разрезе разделителя из Фиг. 20А.

Фиг. 21А является изометрическим видом разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 21В является видом сбоку разделителя из Фиг. 21А.

Фиг. 21С является видом в поперечном разрезе разделителя из Фиг. 21А.

Фиг. 21D является изображением в разобранном виде разделителя из Фиг. 21А.

5 Фиг. 22 является графиком отклонения линейной скорости от среднего значения ниже по течению от разделителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 23А является видом в поперечном разрезе электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

10 Фиг. 23В является видом в увеличенном масштабе части электрохимической ячейки из Фиг. 23А.

Фиг. 23С является видом сбоку электрического соединителя электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

15 Фиг. 23D является изометрическим видом электрического соединителя из Фиг. 23С.

Фиг. 24А является видом сбоку электрического соединителя согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 24В является видом в увеличенном масштабе части электрического соединителя из Фиг. 24А.

20 Фиг. 24С является видом сбоку части электрического соединителя из Фиг. 24А.

Фиг. 25А является изометрическим видом части электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

25 Фиг. 25В содержит контурные карты распределения электрического тока по части электрохимической ячейки из Фиг. 25А.

Фиг. 25С является контурной картой температуры вокруг электрического соединителя электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 25D является контурной картой линейной скорости течения ниже по течению от электрического соединителя электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

5 Фиг. 26A является видом сверху электрического соединения электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 26B является видом сверху альтернативного электрического соединения электрохимической ячейки согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения.

10 Фиг. 26C является видом сверху контурной карты распределения электрического тока вокруг электрических соединений из Фиг. 26A (слева) и Фиг. 26B (справа).

15 Фиг. 26D является видом сбоку контурной карты распределения электрического тока вокруг электрических соединений из Фиг. 26A (слева) и Фиг. 26B (справа).

Фиг. 27A является видом сбоку электрического соединения электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

20 Фиг. 27B является видом сбоку альтернативного электрического соединения электрохимической ячейки согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 27C является видом сверху контурной карты распределения электрического тока вокруг электрических соединений из Фиг. 27A (слева) и Фиг. 27B (справа).

25 Фиг. 27D является видом сбоку контурной карты распределения электрического тока вокруг электрических соединений из Фиг. 27A (слева) и Фиг. 27B (справа).

Фиг. 28A является контурной картой линейной скорости течения через электрохимическую ячейку, содержащую электрический соединитель из Фиг. 26A.

30 Фиг. 28B является контурной картой линейной скорости течения через электрохимическую ячейку, содержащую электрический соединитель из Фиг. 26B.

Фиг. 28С является контурной картой линейной скорости течения через электрохимическую ячейку, содержащую электрический соединитель из Фиг. 27А.

Фиг. 28D является контурной картой линейной скорости течения через электрохимическую ячейку, содержащую электрический соединитель из Фиг. 27В.

5 Фиг. 29А является изометрическим видом электрического соединителя и разделителя в сборе электрохимической ячейки согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 29В является видом в плане электрического соединителя и разделителя в сборе из Фиг. 29А.

10 Фиг. 30 содержит контурные карты линейной скорости течения через электрохимическую ячейку согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

15 Фиг. 31 содержит контурные карты линейной скорости течения через электрохимическую ячейку согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 32 содержит контурные карты линейной скорости течения через электрохимическую ячейку согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

СВЕДЕНИЯ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

20

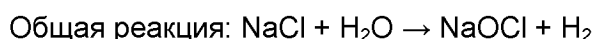
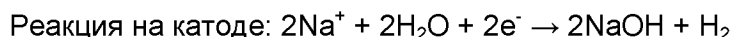
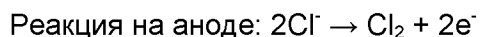
Аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения, раскрытые в данной публикации, не ограничены особенностями конструкции и расположения компонентов, указанных в приведенном ниже описании или проиллюстрированных на графических материалах. Аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения, раскрытые в данной публикации, могут быть осуществлены или реализованы различными способами. В данной публикации описаны различные варианты осуществления ячеек для электрохлорирования и электрохлорирующих устройств, однако настоящее изобретение не ограничено ячейками или устройствами для электрохлорирования, и аспекты и варианты осуществления, раскрытые в данной публикации, применимы к электролитическим и электрохимическим ячейкам, используемым для любой из множества задач.

25

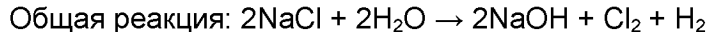
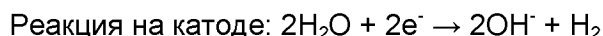
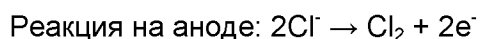
30

Электрохимические устройства, основанные на химических реакциях, широко используют в промышленных и муниципальных применениях. Примеры реакций включают следующее:

- 5 Электрохлорирование с образованием гипохлорита натрия из хлорида натрия и воды:



- 10 Образование гидроксида натрия и хлора из хлорида натрия и воды с использованием катионообменной мембраны, разделяющей анод и катод:



- 15 Ванадиевая редокс-батарея для накопления энергии с проницаемой для протонов мембраной, разделяющей электроды:

Во время зарядки:



- 20 Во время разрядки:



Электрохлорирующие ячейки могут быть использованы в морских, прибрежных, муниципальных, промышленных и коммерческих прикладных задачах.

- 25 Конструктивные параметры электрохимических устройств, например – межэлектродное расстояние, толщину электродов и плотность покрытия, площади

электродов, способы электрических соединений и т.п., можно оптимизировать для различных прикладных задач.

Удаление газообразного H_2 , образующегося на катодах, является главной проблемой при конструировании электрохимических устройств и всей системы. Газ должен безопасно отводиться в атмосферу либо из выбранных положений в трубопроводах, либо из резервуаров для хранения продуктов. В некоторых вариантах осуществления можно добавить окислитель для снижения образования газообразного H_2 , необязательно – за счет образования H_2O_2 .

Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в данной публикации, преимущественно направлены на электрохимические устройства для получения дезинфектантов, таких как гипохлорит натрия. Термины «электрохимическое устройство» и «электрохимическая ячейка» и их грамматические варианты следует понимать как включающие термины «электрохлорирующие устройства» и «электрохлорирующие ячейки» и их грамматические варианты.

Раскрытые в данной публикации аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения относятся к концентрическим трубчатым электрохимическим ячейкам (СТЕ; от англ.: concentric tubular electrochemical cells). Фиг. 1А демонстрирует вариант электрохимической ячейки 100 с концентрическими трубками, расположенными внутри корпуса 116. Внутренняя поверхность наружной трубки и наружная поверхность внутренней трубки содержат активные электродные зоны. Как видно из Фиг. 1В, подаваемый раствор электролита течет между концентрическими трубками 102, 104 через всю длину электрохимической ячейки 100. Проточный канал образован зазором между концентрическими трубками, как показано на Фиг. 1D.

Зазор между электродами в данном иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения равен примерно 3,5 мм. В некоторых прикладных задачах (например, в прикладных задачах в морских и прибрежных зонах), в которых в качестве питательной воды используют морскую воду, линейная скорость течения жидкости через жидкостный канал может превышать 2,0 м/с, например, она может составлять порядка 2,1 м/с, до 3 м/с, до 3,5 м/с, до 6 м/с или до 10 м/с, что приводит к высокотурбулентному потоку, который снижает потенциальную возможность загрязнения и образования твердых отложений на поверхностях электродов.

Электрохимическая ячейка 100 может содержать концевые штуцеры 106, 108 и центральный штуцер 110, как показано на Фиг. 1С. Электрохимическая ячейка может содержать конусы 112, 114, как показано на Фиг. 1В и Фиг. 1С. Конусы 112, 114 могут быть предусмотрены на внутреннем электроде для направления подаваемого раствора электролита в зазор между концентрическими трубками 102, 104. Разделители (выравнивающие элементы) могут быть размещены на одном или более штуцеров, выбранных из впускного штуцера, выпускного штуцера или центрального штуцера, для поддержания правильного внутреннего положения концентрических трубок и размеров зазора. Концевые штуцеры, конусы и разделители оказывают влияние на линейную скорость потока и падение давления на электрохимической ячейке. Снижение линейной скорости потока может повысить потенциальную возможность загрязнения и образования твердых отложений, что приведет к большей потребности в техническом обслуживании. В системах с несколькими электрохимическими ячейками, расположенными последовательно, падение давления на каждой электрохимической ячейке оказывает кумулятивное влияние на систему. Согласно некоторым вариантам осуществления, раскрытым в данной публикации, один или несколько элементов могут быть выполнены так, что они снижают неблагоприятное влияние на линейную скорость потока и падение давления внутри электрохимической ячейки. Кроме того, один или более элементов могут быть выполнены так, что они обеспечивают упрощение изготовления электрохимических ячеек и их компонентов. Как раскрыто в данной публикации, элементы могут быть сконструированы с использованием математического моделирования или свободного порождения. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения элементы могут быть созданы эмпирически или сконструированы с использованием программ для решения задач вычислительной гидрогазодинамики (CFD; от англ.: Computational Fluid Dynamics).

Аспекты и варианты осуществления, раскрытые в данной публикации, описаны как содержащие один или более электродов. Термин «металлические электроды» или его грамматические варианты при использовании в контексте настоящего изобретения следует понимать как электроды, изготовленные из одного или более металлов, содержащие один или более металлов или состоящие из одного или более металлов, например – из титана, алюминия или никеля, хотя термин «металлический электрод» не исключает электроды, содержащие другие металлы или сплавы или состоящие из других металлов или сплавов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения «металлический электрод»

может содержать множество слоев различных металлов. Металлические электроды, используемые в одном или более вариантов осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, могут содержать центральную часть из металла с высокой электропроводностью, например – из меди или алюминия, покрытую металлом или оксидом металла, обладающим высокой устойчивостью к химической агрессии растворов электролитов, например – слой титана, платины, смешанных оксидов металлов (ММО; от англ.: mixed metal oxide), магнетита, феррита, кобальтовой шпинели, тантала, палладия, иридия, серебра, золота или других материалов покрытий.

«Металлические электроды» могут быть покрыты покрытием, устойчивым против окисления, например, но не ограничиваясь этим, платиной, смешанным оксидом металла (ММО), магнетитом, ферритом, кобальтовой шпинелью, танталом, палладием, иридием, серебром, золотом или другими материалами покрытий. Смешанные оксиды металлов, используемые в вариантах осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, могут включать оксид или оксиды одного или более металлов, выбранных из рутения, родия, тантала (необязательно – в форме сплава с сурьмой и/или марганцем), титана, иридия, цинка, олова, сурьмы, титано-никелевого сплава, титано-медного сплава, титано-железного сплава, титано-кобальтового сплава или других подходящих металлов или сплавов. Аноды, используемые в вариантах осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, могут быть покрыты платиной и/или оксидом или оксидами одного или более металлов, выбранных из иридия, рутения, олова, родия или тантала (необязательно – в форме сплава с сурьмой и/или марганцем). Катоды, используемые в вариантах осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, могут быть покрыты платиной и/или оксидом или оксидами одного или более металлов, выбранных из иридия, рутения и титана. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения анод и катод имеют одинаковое покрытие, что позволяет периодически изменять полярность электродов. Электроды, используемые в вариантах осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, могут содержать основу из одного или более металлов, выбранных из титана, тантала, циркония, ниобия, вольфрама и/или кремния. Электроды для любой из электрохимических ячеек, раскрытых в данной публикации, могут быть изготовлены в форме плит, листов, фольги, экструзий и/или агломератов или из плит, листов, фольги, экструзий и/или агломератов.

Термин «трубка» при использовании в контексте настоящего изобретения включает цилиндрические трубки, однако не исключает трубок с другой геометрией поперечного сечения, например – трубки, имеющие квадратную, прямоугольную, овальную или плоскоовальную геометрию поперечного сечения или геометрию поперечного сечения в форме любого правильного или неправильного многоугольника.

Термины «концентрические трубки» или «концентрические спирали» при использовании в контексте настоящего изобретения включает трубки или вложенные друг в друга спирали, имеющие по существу общую центральную ось, но не исключает трубки или вложенные друг в друга спирали, окружающие по существу общую ось, которая не обязательно является центральной для каждой из концентрических трубок или вложенных друг в друга спиралей в наборе концентрических трубок или вложенных друг в друга спиралей.

Согласно аспекту настоящего изобретения электрохимическая ячейка содержит концентрические трубчатые электроды. По меньшей мере некоторые из концентрических трубчатых электродов могут быть монополярными или биполярными. Внутренний трубчатый электрод может быть анодом, имеющим устойчивое к окислению покрытие, например – из платины или ММО. Внешний трубчатый электрод может не иметь покрытия и служить катодом. Альтернативно, внутренний трубчатый электрод может функционировать в качестве катода, а внешний трубчатый электрод может функционировать в качестве анода. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения оба электрода имеют покрытие, позволяющее перемену полярности.

Электроды в иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения могут быть монополярными, так что электрический ток проходит через электролит один раз от каждого электрода. Каждый электрод может содержать титановую трубку. Электрический соединитель анода может находиться в электрической связи с внешним трубчатым электродом. Электрический соединитель катода может находиться в электрической связи с внутренним трубчатым электродом. Если имеется промежуточный трубчатый электрод, он может находиться в электрической связи с внутренним трубчатым электродом, с внешним трубчатым электродом, или с обоими электродами. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения промежуточный трубчатый электрод может быть анодом, имеющим устойчивое к окислению покрытие, например – из платины

или ММО, на внутренней и наружной поверхностях для обеспечения полного использования поверхности. Промежуточный трубчатый анод может быть окружен двумя электродами, функционирующими в качестве катодов.

Фиг. 2A-2D демонстрируют возможные иллюстративные варианты
5 расположения электродов в концентрической трубчатой электрохимической ячейке (СТЕ, от англ. concentric tubular electrochemical cell). Фиг. 2A иллюстрирует вариант расположения, при котором ток однократно проходит от анода к катоду. Оба электрода могут быть изготовлены из титана, причем анод покрыт платиной или смешанным оксидом металла (ММО). Такие электроды называют
10 «монополярными».

В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения электроды могут быть биполярными, так что ток проходит через электролит более одного раза от каждого электрода. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения один конец биполярного трубчатого электрода (в
15 некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения – примерно половина электрода) может не иметь покрытия и функционировать в качестве катода, а второй концевой участок (в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения – примерно половина электрода) может быть покрыт покрытием, устойчивым против окисления, например – платиной или ММО, и функционировать
20 в качестве анода. Биполярный трубчатый электрод может быть расположен внутри анодного и катодного трубчатых электродов, при этом каждый трубчатый электрод окружает свой конечный участок биполярного электрода. Анодный трубчатый электрод и катодный трубчатый электрод, имеющие одинаковый диаметр, могут быть разнесены в стороны по длине электрохимической ячейки. Биполярный
25 трубчатый электрод может быть ориентирован так, что он позволяет два прохода электрического тока через раствор электролита между биполярным трубчатым электродом, анодным трубчатым электродом и катодным трубчатым электродом.

При вставлении дополнительных биполярных трубчатых электродов и перекрытии соответствующих анодных трубчатых электродов и катодных трубчатых
30 электродов, так что анодный и катодный трубчатые электроды расположены на противоположных сторонах совокупности биполярных трубчатых электродов, ячейка может иметь конструкцию, позволяющую три или более проходов тока, что схематически сходно с многопроходными параллельными пластинчатыми электродами (PPE; от англ.: parallel plate electrode).

Фиг. 2В иллюстрирует вариант расположения, при котором ток течет в два прохода через устройство с двумя внешними электродами и одним внутренним электродом. Один из внешних электродов на внутренней поверхности имеет покрытие, например – для выполнения функции анода; другой не имеет покрытия.

5 Часть наружной поверхности внутреннего электрода имеет покрытие, например, чтобы тоже выполнять функцию анода, а оставшаяся часть не имеет покрытия. Ток течет через электролит от внешнего электрода с покрытием к участку внутреннего электрода без покрытия, вдоль внутреннего электрода к участку с покрытием и затем обратно через электролит к внешнему электроду без покрытия. Внутренний
10 электрод также называют «биполярным» электродом.

Фиг. 2С иллюстрирует устройство, в котором ток течет, совершая несколько проходов через устройство с несколькими внешними электродами и одним внутренним электродом. За счет чередования катодных и анодных участков и нанесения покрытия на электроды там, где это необходимо, ток может течь через
15 электролит туда и обратно, совершая несколько проходов. Количество проходов можно увеличить соответствующим образом.

В соответствии с аспектом настоящего изобретения электрохимическая ячейка содержит совокупность концентрических трубчатых электродов. В вариантах осуществления, раскрытых в данной публикации, содержащих совокупность
20 анодных и катодных трубчатых электродов, совокупность анодных трубчатых электродов можно совместно обозначить как анод или анодную трубку, а совокупность катодных трубчатых электродов можно совместно обозначить как катод или катодную трубку. В вариантах осуществления, содержащих совокупность анодных и/или совокупность катодных трубчатых электродов совокупность анодных
25 трубчатых электродов и/или совокупность катодных трубчатых электродов в контексте настоящего изобретения можно совместно обозначить как анодно-катодную пару.

Электрохимическая ячейка может содержать, например, три, четыре или пять концентрических трубок. В некоторых вариантах осуществления настоящего
30 изобретения электрохимическая ячейка может содержать три или четыре концентрических трубчатых электрода с двумя внешними трубчатыми электродами и одним или двумя внутренними трубчатыми электродами. Электрохимическая ячейка с четырьмя трубчатыми электродами может работать сходным образом с электрохимической ячейкой с тремя трубчатыми электродами, за исключением того,

что раствор электролита может течь через три жидкостных канала вместо двух. Дополнительная электродная трубка может обеспечивать дополнительную катодную электродную поверхность, дополнительную анодную электродную поверхность и дополнительный жидкостный канал. Сходным образом, электрохимическая ячейка, содержащая пять трубчатых электродов, может содержать две внешние трубки, три внутренние трубки и четыре жидкостных канала. Пятая электродная трубка может обеспечить дополнительную катодную электродную поверхность, дополнительную анодную электродную поверхность и дополнительный жидкостный канал. Количество трубок, количество проходов электрического тока и конфигурацию электродов (монополярные или биполярные) можно варьировать. Количество трубок, количество проходов электрического тока и конфигурацию электродов можно выбрать в зависимости от желаемого применения электрохимической ячейки.

Многотрубчатые электродные конструкции, раскрытые в данной публикации, прогрессивно увеличивают активную площадь поверхности на единицу объема. При увеличении числа трубок, используемых в электрохимических или электрохлорирующих ячейках и устройствах, содержащих совокупность концентрических трубчатых электродов, диаметр наиболее близкой к центру трубки прогрессивно уменьшается с уменьшением активной площади поверхности трубки. Однако общим результатом является многотрубчатый электрод, который будет иметь значительно большую активную поверхность по сравнению с другими концентрическими трубчатыми (СТЕ) электродными устройствами.

При использовании в контексте настоящего изобретения термин «активная плотность» электрохимической ячейки определен как отношение площади поперечного сечения между активными или функциональными поверхностями электродов (поверхностями электродов, от которых или к которым течет электрический ток, участвующий в электрохимической обработке жидкости в электрохимической ячейке), через которую может течь жидкость, подвергающаяся обработке в электрохимической ячейке («активной площади» электрохимической ячейки) к общей площади поперечного сечения внутри корпуса электрохимической ячейки. «Активная плотность» по определению является площадью в плоскости, нормальной к центральной оси, через которую может течь жидкость, деленной на общую площадь поперечного сечения, нормального к центральной оси. Единица измерения является безразмерной, выражается в долях единицы или процентах. Аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения, раскрытые в данной

публикации, включают электрохимические ячейки, имеющие значения активной плотности, лежащие в диапазоне от примерно 46% до примерно 52%, превышающие примерно 50%, в некоторых вариантах осуществления превышающие примерно 75%, в некоторых вариантах осуществления 5 превышающие примерно 85%, в некоторых вариантах осуществления превышающие примерно 90%, и в некоторых вариантах осуществления достигающие примерно 95%.

При использовании в контексте настоящего изобретения термин «общая плотность упаковки» электрохимической ячейки определен как общая длина пути от 10 функционального электрода в плоскости, нормальной к потоку жидкости через электрохимическую ячейку, отнесенная к общей площади поперечного сечения внутри корпуса электрохимической ячейки. «Плотность упаковки» - это «активная площадь поверхности» электродов в электрохимическом устройстве, деленная на общий внутренний объем устройства. Единица измерения обратна единице длины 15 (например, м^{-1}). «Активная площадь поверхности» электрода – это площадь поверхности электрода, от которой или к которой течет ток, способствующий электрохимическим реакциям внутри электрохимического устройства. Электроды, имеющие сопряженные поверхности, могут иметь активную площадь поверхности на одной поверхности или на обеих поверхностях. «Анодная плотность упаковки» - 20 это «активная площадь поверхности» анода (или анодов) в электрохимическом устройстве, деленная на общий внутренний объем устройства. «Катодная плотность упаковки» - это «активная площадь поверхности» катода (или катодов) в электрохимическом устройстве, деленная на общий внутренний объем устройства. «Общая электродная плотность упаковки» или «суммарная электродная плотность 25 упаковки» - это сумма анодной плотности упаковки и катодной плотности упаковки электрохимического устройства. Аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения, раскрытые в данной публикации, могут иметь значения анодной плотности упаковки, катодной плотности упаковки и/или общей электродной плотности упаковки, равные 2 м^{-1} или более.

30 Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения анодные и/или катодные трубки электрохимической ячейки могут иметь отверстия, облегчающие протекание водорода, генерируемого в электрохимических реакциях, через электроды и снижающие маскирующие влияния водорода на поверхности (или поверхностях) электродов. Водородная маскировка сокращает доступную 35 площадь анода и, соответственно, выход гипохлорита натрия. Дополнительно или

альтернативно анод (или аноды) и/или катод (или катоды) могут содержать проницаемый для жидкости и/или перфорированный или сетчатый материал, например – перфорированный титан или титановую сетку. Электрохимическая ячейка может содержать газопровод для подачи окислителя для соединения с водородом, образующимся, например, в реакциях электрохлорирования в ячейке, и получения воды или пероксида водорода. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предусмотрен катализатор, например – на катодах и/или в катодах, для ускорения реакции окислителя и водорода в ячейке.

Площадь поверхности электродов можно увеличить за счет использования рифления. Электрохимическая ячейка может содержать один рифленый анод или катод, тогда как остальные аноды или катоды являются нерифлеными. Электрохимическая ячейка может иметь геометрию многоканальных рифленых электродов. В других вариантах осуществления настоящего изобретения аноды и катоды могут иметь формы кривизны, отличающиеся от проиллюстрированных, чтобы обеспечить увеличенную площадь поверхности электродов. Однако следует отметить, что рифление может повысить турбулентность и соответственно снизить среднюю линейную скорость течения через электрохимическую ячейку. Поэтому для компенсации в ячейках с рифлеными электродами может потребоваться повышенная линейная скорость входящего потока.

Площадь поверхности для удаления водорода на катодах или в катодах можно увеличить за счет использования нескольких газодиффузионных катодов на каждый анод. На несколько газодиффузионных катодов можно подавать газ (окислитель), например – кислород, через осевые или параллельные газопроводы.

Аспекты и варианты осуществления электрохимических ячеек, раскрытые в данной публикации, могут включать аноды и катоды (или анодно-катодные пары), которые конфигурированы и расположены так, чтобы направлять по существу всю или всю жидкость, проходящую через активные зоны или зазоры между анодами и катодами, в направлении, по существу или полностью параллельном центральной оси корпуса. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения зазоры можно назвать жидкостными каналами. Жидкостные каналы могут иметь длину, лежащую в диапазоне от 0,5 м до 2,0 м, например – равную примерно 1,0 м. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения жидкостные каналы могут иметь длину, равную по меньшей мере 3,0 м. Направление, по существу или полностью параллельное активным зонам, может быть параллельным или по

существу параллельным анодам и катодам (или анодно-катодным парам). Жидкость, текущую через активные зоны, можно считать текущей в направлении, по существу или полностью параллельном активным зонам, даже если поток жидкости обнаруживает турбулентность и/или завихрения во время протекания через активные зоны.

В некоторых аспектах и вариантах осуществления электрохимических ячеек, содержащих концентрические трубчатые электроды, например – один или более анодов и/или один или более катодов, как описано в данной публикации, электроды конфигурированы и расположены так, что они направляют жидкость через один или более зазоров между электродами в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки (показанном пунктирной линией на Фиг. 3В). В некоторых аспектах и вариантах осуществления настоящего изобретения электроды конфигурированы и расположены так, что они направляют всю жидкость, подаваемую в электрохимическую ячейку, через один или более зазоров между электродами в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки.

Ширина зазоров между электродами может быть постоянной или переменной. Ширина зазоров между электродами может, например, лежать в диапазоне от примерно 1 мм до примерно 7 мм, от примерно 1 мм до примерно 5 мм или от примерно 3 мм до примерно 5 мм. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения ширина зазора между электродами может быть равна примерно 2,0 мм, примерно 2,5 мм, примерно 3,0 мм, примерно 3,5 мм или примерно 4,0 мм. Ширину зазора и конструкцию электрохимической ячейки можно выбрать, исходя из типа электролита, подлежащего обработке в электрохимической ячейке.

В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения подаваемый раствор электролита течет через два кольцевых зазора (то есть жидкостных канала), сформированных между тремя трубчатыми электродами. Напряжение постоянного тока, постоянное или изменяющееся, или, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, переменный ток могут быть поданы через анодные и катодные электрические соединители. Электрический ток может течь от внутренней и наружной поверхностей анода (промежуточного трубчатого электрода) одновременно к внутреннему и внешнему катодам (внутреннему трубчатому электроду и внешнему трубчатому электроду).

Электрическое соединение между трубчатыми электродами может быть установлено с помощью одного или более проводящих мостиков, которые могут быть изготовлены из того же материала, что и электрод, например – из титана. Электрохимические и химические реакции могут протекать на поверхностях электродов и в объеме раствора с образованием продуктивного раствора. Например, электрохимические и химические реакции могут протекать на поверхностях электродов и в объеме раствора с образованием продуктивного раствора в жидкостных каналах, сформированных между трубчатыми электродами.

В электрохимические системы обычно можно подавать солевой раствор, соленую воду или морскую воду, хотя подаваемый раствор не ограничивает настоящее изобретение. Конструктивные параметры электрохимической ячейки обычно можно выбрать в зависимости от состава подаваемого раствора и/или желаемого состава продуктивного раствора. Морская вода обычно имеет соленость, лежащую в диапазоне от примерно 3,0% до примерно 4,0%, например, морская вода может иметь соленость, равную примерно 3,5%, 3,6% или 3,7%. Морская вода содержит растворенные ионы, в том числе натрия, хлорид, магний, сульфат и кальций. Морская вода может дополнительно содержать один или более элемент, выбранный из серы, калия, бромида, углерода и ванадия. Морская вода может иметь общее содержание растворенных твердых веществ (OPT, англ. аббревиатура – TDS от total dissolved solids), равное примерно 35000 мг/л. Солевой раствор обычно имеет соленость, превышающую примерно 3,5%. Например, солевой раствор может иметь соленость, равную примерно 4,0%, 4,5%, 5,0%, 7,5% или примерно 10%. Солевой раствор может иметь содержание TDS, превышающее примерно 35000 мг/л. Насыщенный солевой раствор может иметь соленость до примерно 25,0%. Соленая вода обычно имеет соленость менее 3,5%. Соленая вода может иметь соленость, равную примерно 3,0%, 2,5%, 2,0% или 1,0%. Соленая вода может иметь содержание TDS менее примерно 35000 мг/л. Например, соленая вода может иметь содержание TDS, лежащее в диапазоне от примерно 1000 мг/л до примерно 10000 мг/л.

В целом, удельная электропроводность раствора электролита может лежать в диапазоне от примерно 0 См/см до примерно 25 См/см, в зависимости от солености. Соленая вода, имеющая соленость, лежащую в диапазоне от примерно 0,5% до примерно 2,0%, может иметь удельную электропроводность, лежащую в диапазоне от примерно 0,5 См/см до примерно 4,0 См/см, например – примерно 0,8 См/см или примерно 3,0 См/см. Морская вода, имеющая соленость, равную

примерно 3,5%, может иметь удельную электропроводность, лежащую в диапазоне от примерно 4,5 См/см до примерно 5,5 См/см, например – примерно 5,0 См/см или примерно 4,8 См/см. Солевой раствор, имеющий соленость, лежащую в диапазоне от примерно 5,0% до примерно 10%, может иметь удельную электропроводность, лежащую в диапазоне от примерно 7 См/см до примерно 13,0 См/см, например – примерно 12,6 См/см. Насыщенный солевой раствор, имеющий соленость, равную примерно 25%, может иметь удельную электропроводность, лежащую в диапазоне от примерно 20,0 См/см до примерно 23,0 См/см, например – примерно 22,2 См/см. Соленость и удельная электропроводность могут быть связаны линейной зависимостью: $y = 0,9132x + 1,6332$, где y – удельная электропроводность (См/см), а x – процент солености (% NaCl).

Образование твердых отложений и загрязнение обычно могут происходить в зонах с низкой линейной скоростью потока внутри электрохимической ячейки. В характерном случае для удаления твердых отложений может потребоваться промывка кислотой. Для кислотной промывки требуется работа электрохимической ячейки в автономном режиме, что ограничивает производство и эксплуатацию. Как описано в данной публикации, компоненты электрохимической ячейки могут быть сконструированы так, что они обеспечивают сокращение зон с низкой линейной скоростью потока, что снижает образование твердых отложений и загрязнение. Средняя линейная скорость течения жидкости, необходимая для сохранения способности к самоочистке, может зависеть от свойств раствора электролита. При использовании в контексте настоящего изобретения линейная скорость течения жидкости, обеспечивающая самоочистку, - это средняя линейная скорость течения жидкости в объеме ячейки, при которой можно по существу минимизировать образование твердых отложений. Линейную скорость течения жидкости, обеспечивающую самоочистку, можно выбрать так, чтобы минимизировать, ограничить или значительно снизить образование твердых отложений в электрохимической ячейке. Поддержание линейной скорости течения жидкости, обеспечивающей самоочистку, и/или минимизация зон со сниженной линейной скоростью может значительно снизить или полностью исключить потребность в кислотной промывке устройства. Соответственно, устройство можно будет непрерывно эксплуатировать в течение значительно более длительных периодов времени, обычно – до разрушения электрода или его покрытия.

В характерном случае для сохранения самоочищающегося характера электрохимических ячеек, например – электрохимических ячеек, используемых для

обработки морской воды, общую линейную скорость жидкости можно поддерживать выше средней скорости, равной 2 м/с. Например, в случае морской воды или воды, имеющей концентрацию магния, лежащую в диапазоне от примерно 1000 частей/млн до примерно 1400 частей/млн, и концентрацию кальция, лежащую в диапазоне от примерно 300 частей/млн до примерно 450 частей/млн, при комнатной температуре (от 20°C до 25°C) для сохранения способности к самоочистке может потребоваться средняя линейная скорость потока, равная примерно 2 м/с или более. В случае морской воды или воды, имеющей большую жесткость, например – до примерно 500 частей/млн Са и 1800 частей/млн Mg (вода из Красного моря) для сохранения способности к самоочистке может потребоваться более высокая средняя линейная скорость потока. В случае такой морской воды для сохранения способности к самоочистке может потребоваться средняя линейная скорость потока, равная примерно 2,5 м/с или 3,0 м/с. Морская вода или вода, имеющая более низкую жесткость, например – содержащая примерно 200 частей/млн Са и примерно 700 частей/млн Mg (вода из Персидского залива), может поддерживать способность к самоочистке при более низкой средней линейной скорости потока. Например, такая вода может поддерживать способность к самоочистке при средней линейной скорости потока, равной примерно 1,5 м/с или 1,8 м/с.

Морская вода, имеющая температуру, превышающую примерно 20°C или 25°C (например, вода из Персидского залива, которая может иметь температуру, равную примерно 40°C), или имеющая температуру, которая ниже примерно 20°C или 25°C (например, вода из Северного моря, которая может иметь температуру около 0°C), также может поддерживать способность к самоочистке при более низкой или более высокой средней линейной скорости потока, соответственно. Кроме того, соленая вода и солевой раствор могут поддерживать способность к самоочистке при более низких средних линейных скоростях потока.

Среднюю линейную скорость потока можно поддерживать на уровне, необходимом для сохранения способности электрохимической ячейки к самоочистке. Например, линейную скорость потока можно поддерживать на уровне, превышающем примерно 1,5 м/с, в диапазоне от примерно 1,5 м/с до примерно 2 м/с, на уровне, превышающем примерно 2 м/с, в диапазоне от примерно 2 м/с до примерно 2,5 м/с, на уровне, превышающем примерно 2,5 м/с, в диапазоне от примерно 2,5 м/с до примерно 3,0 м/с, или на уровне, превышающем примерно 3,5 м/с, в зависимости от того, что требуется для сохранения способности к самоочистке при использовании конкретного раствора электролита. В случае

некоторых питающих потоков линейную скорость потока можно поддерживать на уровне или около 4 м/с, 5 м/с, 6 м/с, 7 м/с, 8 м/с, 9 м/с или 10 м/с. Любую среднюю линейную скорость, которая ниже линейной скорости, обеспечивающей самоочистку, можно увеличить в пределах предварительно определенной длины, как более подробно описано ниже.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, раскрытых в данной публикации, электроды, например – катод и анод, могут быть размещены концентрически в корпусе вокруг центральной оси корпуса. Электроды могут быть вставлены в неметаллический корпус и подсоединены к источнику постоянного или переменного тока с использованием водонепроницаемых соединителей, так что никакие компоненты, находящиеся под напряжением, не подвергаются воздействию окружающей среды. Такая конструкция обычно является более безопасной для операторов, и при этом отсутствует риск короткого замыкания между устройствами и внешним заземленным компонентом или жидкостью.

Электроды могут быть размещены внутри неметаллического корпуса, сконструированного так, что он обеспечивает электрическую изоляцию электродов от окружающей среды и выдерживает давление жидкого электролита, проходящего через электрохимическую ячейку. Корпус может быть не проводящим электрический ток, не вступающим в химические реакции с растворами электролитов, и он может иметь достаточную прочность для того, чтобы выдерживать давление в системе, высокочастотные вибрации системы и низкочастотные вибрации окружающей среды (например, на борту корабля). Корпус может иметь прочность, достаточную для того, чтобы выдерживать давление до 16 бар. Корпус может иметь прочность, достаточную для того, чтобы выдерживать линейную скорость течения раствора электролита до 10 м/с. Корпус может содержать один или более материалов, выбранных из поливинилхлорида (PVC; от англ.: polyvinyl chloride), политетрафторэтилена (PTFE; от англ.: polytetrafluoroethylene), поливинилиденфторида (PVDF; от англ.: polyvinylidene fluoride), акрилонитрил-бутадиен-стирола (ABS; от англ.: acrylonitrile butadiene styrene), полиэтилена высокой плотности (HDPE; от англ.: high-density polyethylene), волокнистонаполненного полимера (FRP; от англ.: fiber reinforced polymer) или других подходящих материалов, и в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения он может содержать армирующие элементы, например – стеклянные или углеродные волокна, заключенные в полимерной матрице. Электродные соединители могут выступать за стенки корпуса в конце корпуса. В

некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электродные соединители могут выступать за стенки корпуса на противоположных концах корпуса.

Как показано на Фиг. с 3А по 3С электрохимическая ячейка 1000 может
5 содержать один или более разделителей 1180, обеспечивающих поддержание зазора между электродами 1020 и 1040. Разделители 1180 могут быть расположены между электродами 1020 и 1040 (как показано на Фиг. 3С), например – между катодом и анодом. Для поддержания жидкостного канала (показанного на Фиг. 3С между электродами 1020 и 1040) разделители 1180 могут быть выполнены с
10 высотой, которая поддерживает ширину зазора между электродами 1020 и 1040, правильное положение электродов 1020 и 1040 и концентричность трубок (как показано на Фиг. 3В). Разделители 1180 могут иметь размеры, позволяющие течение жидкости через канал.

Фиг. 7А-7В демонстрируют другой вариант осуществления разделителей
15 1180. Как показано на Фиг. 7А, каждый разделитель 1180 может быть сконструирован и расположен так, что он крепится к концу электродной трубки 1020, 1040. Разделители могут быть расположены внутри электродных трубок 1020, 1040, как показано на Фиг. 7В. Разделитель 1180 может содержать один или более элементов 1186, сопряженных с электродом или электрическим соединителем. При
20 использовании в контексте настоящего изобретения термин «сопряженный» относится к соединению между двумя или более элементами. Соединение может быть механическим и/или электрическим. Сопряженный элемент можно использовать для сохранения положения и предотвращения вращения разделителя относительно электрода или электрического соединителя. Литые элементы 1186,
25 как показано на Фиг. 7С-7D, могут облегчать сборку электрохимической ячейки за счет снижения потребности в других крепежных элементах. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель может содержать прорезь, зажим или интегральный крепежный элемент, имеющий конфигурацию, обеспечивающую сопряжение с электродной трубкой и поддержание
30 концентричности концентрических электродных трубок.

Разделитель может быть изготовлен из химически инертного, не проводящего электрический ток материала, способного выдерживать высокое давление. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель может быть сконструирован так, чтобы он выдерживал давление до 16

бар, высокочастотные вибрации системы и низкочастотные вибрации окружающей среды (например, на борту корабля). Разделитель может быть сконструирован так, чтобы он выдерживал линейную скорость раствора электролита до 10 м/с. Разделитель может быть изготовлен из полимерного материала или керамики.

5 Разделитель может содержать один или более материалов, выбранных из PVC, PTFE, PVDF, ABS, HDPE, FRP или других подходящих материалов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель может быть изготовлен посредством инъекционного формования для облегчения производства и сборки.

10 Элементы, влияющие на течение жидкости, такие как разделители, обычно оказывают тормозящее влияние на поток раствора электролита, что приводит к образованию области сниженной линейной скорости (также описываемой в данной публикации как «зона сниженной линейной скорости») ниже по течению от разделителя. Как указано ранее, снижение средней линейной скорости потока
15 может нарушить способность электрохимической ячейки к самоочистке. Поэтому средняя линейная скорость, которая ниже линейной скорости, обеспечивающей самоочистку, должна быть увеличена в пределах предварительно определенного расстояния в жидкостном канале ниже по течению от разделителя. В самоочищающейся электрохимической ячейке без разделителя зона сниженной
20 линейной скорости может заканчиваться, например, в пределах 20 мм от впускного отверстия электрохимической ячейки. В некоторых иллюстративных вариантах осуществления настоящего изобретения способность к самоочистке сохраняется, если зона сниженной линейной скорости заканчивается в пределах 140 мм от разделителя, как показано на Фиг. 4. Согласно некоторым вариантам
25 осуществления настоящего изобретения разделитель может иметь размеры, ограничивающие зону сниженной линейной скорости до 20 мм (Фиг. 4) или до 60 мм (Фиг. 5).

Зона сниженной линейной скорости может быть определена как область, в которой линейная скорость потока электролита ниже средней линейной скорости
30 потока раствора через канал, или линейной скорости, обеспечивающей самоочистку. Зона сниженной линейной скорости, возникающая из-за разделителя, обычно расположена ниже по течению от разделителя, однако внутри электрохимической ячейки могут существовать и другие зоны сниженной линейной скорости. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения зона
35 сниженной линейной скорости определена как область, в которой средняя линейная

скорость потока раствора электролита по меньшей мере на 2%, на 5%, на 10%, на 15%, на 20% или на 25% ниже, чем линейная скорость, обеспечивающая самоочистку, или средняя линейная скорость течения жидкости через жидкостный канал. В случае иллюстративной электрохимической ячейки, имеющей линейную

 5 скорость, обеспечивающую самоочистку, или среднюю линейную скорость потока, равную по меньшей мере 2 м/с, зона сниженной линейной скорости может быть определена любой линейной скоростью потока, которая ниже 2 м/с, линейной

 скоростью потока, которая по меньшей мере на 25% ниже, чем 2 м/с (например, 1,5 м/с), линейной скоростью потока, которая по меньшей мере на 20% ниже, чем 2 м/с

 10 (например, 1,6 м/с), линейной скоростью потока, которая по меньшей мере на 15% ниже, чем 2 м/с (например, 1,7 м/с), линейной скоростью потока, которая по

 меньшей мере на 10% ниже, чем 2 м/с (например, 1,8 м/с), линейной скоростью потока, которая по меньшей мере на 5% ниже, чем 2 м/с (например, 1,9 м/с),

 линейной скоростью потока, которая по меньшей мере на 2% ниже, чем 2 м/с

 15 (например, 1,96 м/с), или линейной скоростью потока, которая по меньшей мере на любой другой процент ниже, чем 2 м/с.

В случае любой средней линейной скорости потока в зоне сниженной линейной скорости эта зона может заканчиваться там, где линейная скорость потока жидкости возвращается к средней линейной скорости в объеме ячейки, равной

 20 линейной скорости, обеспечивающей самоочистку, или равной средней линейной скорости жидкости внутри электрохимической ячейки. Например, зона сниженной

 линейной скорости может иметь определенный профиль линейной скорости, который изменяется, когда средняя линейная скорость жидкости достигает 2 м/с (или любой другой желаемой линейной скорости, обеспечивающей самоочистку). В

 25 некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения зона сниженной линейной скорости заканчивается, когда средняя линейная скорость жидкости

 достигает скорости, отличающейся на 1%, 2%, 5% или 10% от линейной скорости, обеспечивающей самоочистку, или от средней линейной скорости внутри

 электрохимической ячейки. Так, в случае иллюстративной электрохимической

 30 ячейки, имеющей линейную скорость, обеспечивающую самоочистку, равную 2 м/с, зона сниженной линейной скорости может заканчиваться, когда средняя линейная

 скорость жидкости достигает 2 м/с, 1,98 м/с (отклонение в пределах 1%), 1,96 м/с (отклонение в пределах 2%), 1,9 м/с (отклонение в пределах 5%) или 1,8 м/с

 (отклонение в пределах 10%). В некоторых вариантах осуществления настоящего

 35 изобретения зона сниженной линейной скорости заканчивается, когда средняя

линейная скорость течения жидкости достигает входной линейной скорости течения жидкости, например – линейной скорости течения жидкости выше по течению от разделителя. Зона сниженной линейной скорости течения может заканчиваться, когда средняя линейная скорость течения жидкости достигает скорости, отличающейся на 1%, 2%, 5% или 10% от входной линейной скорости течения жидкости.

Зону сниженной линейной скорости можно также охарактеризовать отклонением линейной скорости от средней линейной скорости течения объема раствора электролита через электрохимическую ячейку. Разброс значений линейной скорости в зоне сниженной линейной скорости обычно является наибольшим на границе зоны сниженной линейной скорости и разделителя (то есть сразу же после разделителя). Разброс скоростей обычно нормализуется ниже по течению до тех пор, пока он не будет составлять определенный процент от средней линейной скорости течения в электрохимической ячейке. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения распределение линейных скоростей соответствует кривой графика из Фиг. 22. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения отклонение линейной скорости в пределах зоны сниженной линейной скорости не превышает $\pm 20\%$, например – не превышает $\pm 18\%$ или не превышает $\pm 15\%$ от средней линейной скорости потока. Зона сниженной линейной скорости может заканчиваться, когда разброс скоростей лежит в пределах $\pm 5\%$, в пределах $\pm 2\%$, в пределах $\pm 1\%$ от средней линейной скорости потока. Поскольку средняя линейная скорость потока по определению является усредненной линейной скоростью, то очевидно, что разброс скоростей может оставаться в пределах малого процента отклонения от линейной скорости, обеспечивающей самоочистку, на всей длине электрохимической ячейки.

Разделитель может быть сконструирован так, чтобы минимизировать зону сниженной линейной скорости, которая естественным образом возникает в жидкостном канале ниже по течению от разделителя. Зону сниженной линейной скорости минимизируют для сохранения способности электрохимической ячейки к самоочистке. Разделитель может иметь размеры, позволяющие поддерживать предварительно определенную длину зоны сниженной линейной скорости. В целом, предварительно определенная длина зоны сниженной линейной скорости может быть выбрана так, чтобы минимизировать или исключить образование твердых отложений, в зависимости от средней линейной скорости течения жидкости через жидкостный канал и/или состава раствора электролита. Предварительно

определенная длина может, например, лежать в диапазоне от примерно 2% до примерно 5% от длины жидкостного канала, например – она может составлять менее примерно 5% от длины жидкостного канала. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предварительно определенная длина составляет примерно 5%, примерно 4%, примерно 3%, примерно 2% или менее 1% от длины жидкостного канала. Для некоторых растворов электролитов допустима большая предварительно определенная длина, чем для других. Состав, жесткость и температура раствора электролита могут играть роль в определении устойчивости электрохимической ячейки к образованию твердых отложений.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предварительно определенную длину определяют в зависимости от ширины проточного канала. Например, отношение длины зоны сниженной линейной скорости к ширине жидкостного канала может быть менее 120 к 3,5. Это отношение соответствует зоне сниженной линейной скорости, имеющей длину менее 120 мм при ширине канала, равной 3,5 мм, зоне сниженной линейной скорости, имеющей длину менее 102,8 мм при ширине канала, равной 3,0 мм, зоне сниженной линейной скорости, имеющей длину менее 85,7 мм при ширине канала, равной 2,5 мм, и т.д. Отношение длины зоны сниженной линейной скорости к ширине жидкостного канала может быть менее 100 к 3,5, менее 60 к 3,5 или менее 20 к 3,5. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предварительно определенная длина может лежать в пределах 140 мм, 120 мм, 100 мм, 60 мм или 20 мм для раствора электролита, текущего через жидкостный канал со средней линейной скоростью, лежащей в диапазоне от 2,0 м/с до 2,5 м/с, например – равной 2,0 м/с, 2,1 м/с, 2,2 м/с, 2,3 м/с, 2,4 м/с или 2,5 м/с.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель сконструирован так, чтобы минимизировать зону сниженной линейной скорости за счет обеспечения только предварительно определенной площади поперечного сечения потока через канал. Разделитель можно выполнить с такими размерами, чтобы он имел площадь поперечного сечения, которая перекрывает предварительно определенный процент площади поперечного сечения потока через жидкостный канал. Например, разделитель можно выполнить с такими размерами, чтобы он имел площадь поперечного сечения, лежащую в диапазоне от 10% до 35% от площади поперечного сечения потока жидкости через жидкостный канал. Разделитель можно выполнить с такими размерами, чтобы он имел площадь поперечного сечения, составляющую менее примерно 10%, менее примерно 15%,

менее примерно 20%, менее примерно 25%, менее примерно 30% или менее примерно 35% от площади поперечного сечения потока жидкости через жидкостный канал. В целом, разделитель может быть сконструирован так, чтобы он имел как можно меньшую площадь поперечного сечения (то есть обеспечивал наибольший поток раствора), но при этом являлся опорой для жидкостного канала. Площадь поперечного сечения разделителя можно спроектировать такой, чтобы обеспечить достаточную опору для электродных трубок с поддержанием концентричности и при этом уменьшить зону сниженной линейной скорости, которая образуется ниже по течению от разделителя, для сохранения способности электрохимической ячейки к самоочистке.

Разделитель может быть сконструирован так, чтобы поддерживать отклонение линейной скорости раствора электролита от среднего значения в пределах $\pm 20\%$, например – в пределах $\pm 18\%$ или в пределах $\pm 15\%$, от средней линейной скорости потока раствора электролита через жидкостный канал. Разделитель может иметь размеры, позволяющие минимизировать отклонение линейной скорости от среднего значения ниже по течению от разделителя. Например, разделитель может минимизировать отклонение линейной скорости от среднего значения в непосредственной близости от разделителя. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель может быть обтекаемым для минимизации отклонения линейной скорости от среднего значения. Как описано в данной публикации, термин «обтекаемый» может относиться к компоненту, имеющему обтекаемую конфигурацию по отношению к потоку раствора. Обтекаемость может включать конфигурации, которые формируют минимальные отклонения линейной скорости от среднего значения ниже по течению. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения обтекаемые конфигурации не образуют или по существу не образуют вихрей ниже по течению. Обтекаемые конфигурации не ограничены конфигурациями, обеспечивающими ламинарное течение, и они могут быть окружены турбулентным потоком. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения обтекаемые конфигурации по существу не способствуют возникновению турбулентности в потоке электролита через электрохимическую ячейку.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения, как показано на Фиг. 6А, разделитель может содержать кольцо 1182 и совокупность выступов 1184, отходящих от кольца 1182. Разделитель может позволять течение жидкости между выступами 1182 (например, как показано на Фиг.

3С). Элемент 1186, предусмотренный для придания правильного положения разделителю, может быть размещен на кольце 1182, например – между соседними выступами. Выступы 1184 могут быть предназначены для того, чтобы поддерживать зазор между электродными трубками и при этом позволять течение жидкости через канал. Соответственно, выступы могут быть выполнены с такими размерами, чтобы их высота поддерживала ширину жидкостного канала. Как показано на Фиг. 6В-6D, H – это высота выступа, по существу равная ширине жидкостного канала, W – ширина выступа, и L – длина выступа, измеренная вдоль жидкостного канала. Выступы 1184 могут быть соединены с кольцом 1182 на одном конце и отходить от кольца наружу в радиальном направлении или отходить от кольца внутрь в радиальном направлении. В вариантах осуществления настоящего изобретения, в которых выступы отходят от кольца наружу в радиальном направлении и внутрь в радиальном направлении, как показано на Фиг. 6А, высота может быть по существу равной половине ширины жидкостного канала.

В характерном случае выступы могут иметь длину L (определяемую в направлении вдоль жидкостного канала), как показано на Фиг. 6С и Фиг. 6D, которая превышает ширину W . Кроме того, выступы могут иметь обтекаемую конфигурацию для снижения тормозящего влияния на поток электролита. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения выступы могут быть сферическими, цилиндрическими, яйцевидными, каплевидными, миндалевидными, ромбовидными (удлиненными или симметричными) или треугольными с закругленными углами. Выступы могут иметь круглую, овальную, треугольную, ромбовидную или каплевидную форму поперечного сечения.

В целом, разделитель может иметь достаточное количество выступов для обеспечения опоры для электродных трубок. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения разделитель может иметь от 2 до 8 выступов, например – от 3 до 6 выступов. Разделители могут иметь, например, 3, 4, 5 или 6 выступов. Размеры кольца и выступов могут быть выбраны так, чтобы уменьшить зону сниженной линейной скорости. Например, количество и расположение выступов можно выбрать так, чтобы минимизировать зону сниженной линейной скорости или поддерживать зону сниженной линейной скорости в пределах предварительно определенной длины. Соответственно, разделитель может иметь число и ширину выступов, которые приводят к площади поперечного сечения разделителя, лежащей в диапазоне от 10% до 35% от площади поперечного сечения потока в жидкостном канале. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения выступы

могут быть размещены на кольце на по существу одинаковых расстояниях друг от друга для обеспечения равномерной опоры (например, как показано на Фиг. 6А). Сходным образом, длину и ширину выступов можно выбрать так, чтобы минимизировать зону сниженной линейной скорости или иным образом сохранить длину зоны сниженной скорости в пределах предварительно определенной длины. Выступы могут быть выполнены с такими размерами, чтобы их ширина обеспечивала достаточную структурную опору для электродов (например, на основе числа выступов), но не превышала значительно ширину, которая может обеспечить слишком сильное торможение. В случае некоторых материалов выступы могут иметь минимальную ширину, доступную для производства, которая также обеспечивает достаточную опору. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения выступы могут иметь такие размеры, что их ширина лежит в диапазоне от 0,5 высоты до 2 высот, например – от 0,5 высоты до 1 высоты или от 1 высоты до 2 высот.

Характерная электрохлорирующая ячейка может иметь ширину канала, лежащую в диапазоне от 1 мм до 5 мм. Такая электрохимическая ячейка может содержать разделитель, имеющий ширину кольца, лежащую в диапазоне от 0,5 мм до 3 мм, выступы, имеющие высоту, лежащую в диапазоне от 1 мм до 5 мм (соответствующую ширине канала), выступы, имеющие ширину, лежащую в диапазоне от 1 мм до 10 мм, и выступы, имеющие длину, лежащую в диапазоне от 1 мм до 10 мм. В иллюстративном варианте электрохимическая ячейка может иметь ширину канала, лежащую в диапазоне от 3,0 мм до 3,5 мм. Такая электрохимическая ячейка может содержать кольцо, имеющее ширину, равную 1 мм, и выступы, имеющие ширину, лежащую в диапазоне от 2,5 мм до 7 мм, и длину, лежащую в диапазоне от 5 мм до 10 мм, причем длина не короче ширины. Кольцо может быть по существу центрально расположено в жидкостном канале, причем выступы отходят в обоих направлениях от кольца. Высота выступов в этом иллюстративном варианте кольца может быть измерена от одного конца до другого конца. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кольцо может быть размещено рядом с одним из электродов, тогда как выступы отходят по существу в одном направлении по направлению к противоположному электроду.

Как указано выше, электрохимическая ячейка может содержать совокупность концентрических трубчатых электродов, например – три, четыре или пять концентрических трубчатых электродов. Каждый добавленный концентрический трубчатый электрод обеспечивает дополнительную катодную электродную

поверхность, дополнительную анодную электродную поверхность и дополнительный жидкостный канал. Каждый жидкостный канал может быть ограничен соседними катодом и анодом, и каждый жидкостный канал может проходить по существу параллельно другим жидкостным каналам и центральной
5 оси корпуса. Каждый жидкостный канал может быть дополнительно снабжен разделителем, расположенным между электродами для поддержания жидкостного канала. Соответственно, электрохимическая ячейка может содержать совокупность концентрических разделителей, расположенных между концентрическими электродами.

10 В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, например – в варианте, изображенном на Фиг. 16, электрохимическая ячейка 1000 может содержать совокупность последовательно расположенных электродов 1020, 1022. Последовательно расположенные электроды 1020, 1022 могут быть размещены
15 вдоль длины корпуса (не показано на Фиг. 16). Как показано на Фиг. 17А-17С, электрохимическая ячейка 1000 может содержать один или более разделителей 1200, расположенных между последовательно расположенными электродами 1020, 1022. Разделители 1200 могут быть размещены, расположены и конфигурированы так, чтобы они были сопряжены с последовательно расположенными электродами 1020, 1022 (например, через такие элементы, как прорезь, зажим или электрический
20 соединитель) и обеспечивали точную локализацию электродов внутри электрохимической ячейки 1000. Кроме того, если имеются концентрические электроды 1020, 1040 и последовательно расположенные электроды 1020, 1022, то между последовательно расположенными электродами 1020, 1022 может быть размещено совокупность концентрических разделителей 1200, и их конфигурация
25 обеспечивает поддержание концентричности последовательно расположенных электродов, например – как показано на Фиг. 18А и Фиг. 18В.

Разделители, расположенные между последовательно расположенными электродами, могут содержать совокупность примыкающих друг к другу колец 1220. Некоторые варианты осуществления примыкающих друг к другу колец 1220
30 показаны на Фиг. 19-21. Например, разделитель может содержать два, три или четыре примыкающих друг к другу кольца. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения по меньшей мере одно из примыкающих друг к другу колец содержит совокупность выступов, описанных ранее. Примыкающие друг к другу кольца могут быть выполнены как сопряженные друг с другом и/или с соседним
35 последовательно расположенным электродом. Зазоры, существующие между

примыкающими друг к другу кольцами, можно минимизировать для того, чтобы уменьшить зону сниженной линейной скорости, существующую ниже по течению от разделителя. Например, зазор между примыкающими друг к другу кольцами может иметь размер, необходимый для того, чтобы поддерживать предварительно

5 определенную длину зоны сниженной линейной скорости, как описано ранее. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения между примыкающими друг к другу кольцами могут быть установлены уплотнители для уменьшения эффективного зазора и, соответственно, зоны сниженной линейной скорости.

10 Зазор между примыкающими друг к другу кольцами может составлять менее 1,60 ширины разделителя, например – кольца разделителя. Например, разделитель может содержать кольцо, имеющее ширину, лежащую в диапазоне от 1 мм до 3 мм. Зазоры между примыкающими друг к другу кольцами могут быть менее 4,80 мм, менее 3,20 мм или менее 1,60 мм. Ширина зазора может лежать в диапазоне от 0,5

15 мм до 4,80 мм, от 0,5 мм до 3,20 мм или от 0,5 мм до 1,60 мм. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения разделитель может содержать совокупность примыкающих друг к другу колец, имеющих ширину, равную 1 мм, при этом зазоры между каждой парой из совокупности колец имеют ширину, лежащую в диапазоне от 0,5 мм до 1,60 мм. В целом, ширину зазора между примыкающими

20 друг к другу кольцами можно сделать настолько малой, насколько это физически возможно. Если это возможно при производстве, то примыкающие друг к другу кольца вообще могут не иметь зазоров между ними.

Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения, например – как показано на Фиг. 8А и Фиг. 8В, электрохимическая ячейка 1000

25 может содержать впускной и выпускной концевые штуцеры 1060 и 1080, каждый из которых соединен с соответствующим дистальным концом корпуса 1160. Концевые штуцеры 1060, 1080 могут иметь отверстие 1062, расположенное по существу центрально (как показано на Фиг. 9А и Фиг. 9В, которые, соответственно, являются видом сверху и видом снизу концевой штуцера). Как показано в виде в поперечном

30 разрезе на Фиг. 8В, отверстия могут находиться в жидкостной связи с жидкостными каналами, расположенными между анодами и катодами во внутренней части электрохимической ячейки. Концевые штуцеры могут дополнительно содержать жидкостные линии 1064 (как показано на виде в поперечном разрезе из Фиг. 9D), обеспечивающие жидкостную связь между отверстиями и жидкостным каналом

35 электрохимической ячейки. Поэтому жидкость, например – раствор электролита,

можно ввести в электрохимическую ячейку через одну или более жидкостных линий впускного концевой штуцера и пропустить через зазор между электродами, то есть через жидкостный канал. Жидкость может выйти из электрохимической ячейки через жидкостную линию впускного концевой штуцера и по существу центрально расположенное отверстие.

Жидкостная линия внутри концевой штуцера может быть выполнена с возможностью минимизации падения давления на электрохимической ячейке. В цилиндрической трубе падение давления из-за вязкостных эффектов пропорционально длине и описывается уравнением Дарси-Вейсбаха:

$$\frac{\Delta p}{L} = f_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\langle v \rangle^2}{D}$$

где:

Δp – падение давления (Па),

L – длина линии (м),

D – гидравлический диаметр (м),

f_D – фактор трения (зависит от числа Рейнольдса, абсолютной шероховатости и относительной шероховатости материала и коэффициента трения),

ρ – плотность жидкости (кг/м³), и

$\langle v \rangle$ – средняя линейная скорость потока (м/с).

Таким образом, падение давления может изменяться при изменении длины, гидравлического диаметра и материала линии. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения радиус и/или длина жидкостной линии могут быть выбраны так, чтобы минимизировать падение давления на электрохимической ячейке. Кроме того, плотность жидкости и линейная скорость потока также могут оказывать влияние на падение давления.

Падение давления можно определить как разность между давлением на входе в электрохимическую ячейку и давлением на выходе из электрохимической ячейки. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения минимизация падения давления включает минимизацию давления на входе. Поэтому в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения радиус и/или длину жидкостной линии впускного концевой штуцера можно выбрать такими, чтобы поддерживалось желаемое давление на входе. Давление на входе можно

поддерживать, например, равным 125 кПа, 122 кПа, 120 кПа, 118 кПа, 117 кПа, 116 кПа или 115 кПа. Однако давление на входе следует поддерживать в том диапазоне, который способствует применению электрохимической ячейки по назначению. Давление на входе можно поддерживать в диапазоне от примерно 115 кПа до примерно 125 кПа, например – от примерно 117 кПа до примерно 121 кПа. Давление на выходе можно поддерживать в диапазоне от примерно 100 кПа до примерно 105 кПа, например – от примерно 101 кПа до примерно 103 кПа. Минимизированное падение давления может быть настолько близким к по существу отсутствию падения давления, насколько это позволяют ограничения, связанные с производством и материалами, например – менее 25 кПа, менее 24 кПа, менее 23 кПа, менее 22 кПа, менее 21 кПа, менее 20 кПа, менее 19 кПа, менее 18 кПа, менее 17 кПа, менее 16 кПа, менее 15 кПа или менее. Минимизированное падение давления может зависеть от плотности жидкого раствора электролита и средней линейной скорости течения (например, линейной скорости течения жидкости, обеспечивающей самоочистку).

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения жидкостная линия включает зону с первым радиусом и зону со вторым радиусом, большим, чем первый радиус. Зона с первым радиусом может примыкать к по существу центрально расположенному отверстию, тогда как зона со вторым радиусом может примыкать к жидкостному каналу. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения жидкостная линия впускного концевой штуцера имеет первую линейную область, область с увеличивающимся радиусом и вторую линейную область, причем первая линейная область может соответствовать первому радиусу, а вторая линейная область может соответствовать второму радиусу. Концевой штуцер может содержать элемент для сопряжения с концом корпуса.

Концевые штуцеры могут быть изготовлены из химически инертного, не проводящего электрический ток материала, способного выдерживать высокое давление. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения концевые штуцеры могут быть сконструированы так, чтобы они выдерживали давление до 16 бар, высокочастотные вибрации системы и низкочастотные вибрации окружающей среды (например, на борту корабля). Концевые штуцеры могут быть сконструированы так, чтобы они выдерживали линейную скорость потока раствора электролита до 10 м/с. Концевые штуцеры могут быть изготовлены из полимерного материала или керамики. Концевые штуцеры могут содержать один

или более материалов, выбранных из PVC, PTFE, PVDF, ABS, HDPE, FRP или других подходящих материалов.

Как показано на Фиг. 10А и 10В, электрохимическая ячейка может дополнительно содержать конус 1120, расположенный внутри жидкостной линии
5 концевой штуцера 1060 и имеющий конфигурацию, ограничивающую путь потока раствора в жидкостный канал. Конус 1120 может быть соединен с корпусом 1160 для ограничения пути потока в жидкостный канал. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения конус может быть соединен с электродом 1020 (как показано на Фиг. 11А), электрическим соединителем 1240 (как показано на
10 Фиг. 11В) или другим элементом электрохимической ячейки для ограничения пути потока жидкости в жидкостный канал. Соответственно, конус может иметь диаметр основания, равный или по существу равный внутреннему диаметру жидкостного канала.

Как указано ранее, падение давления на электрохимической ячейке может
15 изменяться в зависимости от гидравлического диаметра. Входной конус 1120, выходной конус 1140 или оба (как показано на Фиг. 8В) могут быть выполнены так, чтобы минимизировать падение давления на электрохимической ячейке, например – за счет изменения гидравлического диаметра пути потока. Фиг. 12 является контурной картой падения давления в иллюстративном варианте
20 электрохимической ячейки. Как показано на Фиг. 12, в жидкостном канале имеется перепад давления на длине жидкостного канала. Изменение размеров жидкостной линии впускного штуцера может оказывать влияние на давление на входе, как показано Фиг. 13А-С. Кроме того, изменение размеров входного конуса может влиять на падение давления, как показано на Фиг. 14А и видно из данных,
25 представленных на графике из Фиг. 14В.

Минимизация падения давления может включать, например, поддержание зоны по существу постоянного потока между жидкостной линией и конусом. В целом, конус может иметь основание, размеры которого соответствуют жидкостному каналу. В случае кольцевого жидкостного канала основание может иметь диаметр,
30 который по существу соответствует внутреннему диаметру кольцевого жидкостного канала. Кроме задания размеров жидкостной линии, обеспечивающих снижение падения давления, можно выбрать один или более из таких параметров, как высота конуса, угол раствора конуса, угол при основании конуса и длина образующей конуса, так, чтобы минимизировать падение давления на электрохимической

ячейке. Входной конус, выходной конус или оба конуса независимо друг от друга могут иметь угол раствора, лежащий в диапазоне от 20° до 90°, например – в диапазоне от 30° до 80° или в диапазоне от 40° до 60°. Входной конус, выходной конус или оба конуса независимо друг от друга могут иметь угол раствора, равный 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°, или угол раствора, необходимый для минимизации падения давления на электрохимической ячейке.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, например – в варианте, показанном на Фиг. 15А и Фиг. 15В, электрохимическая ячейка содержит выходную усеченную пирамиду 1122 вместо выходного конуса. Выходная усеченная пирамида 1122 может быть размещена внутри жидкостной линии 1064 выпускного концевого штуцера 1080, и она может иметь конфигурацию, ограничивающую путь потока раствора из электрохимической ячейки. Выходная усеченная пирамида 1122 может иметь размеры, обеспечивающие дополнительную минимизацию падения давления на электрохимической ячейке, как показано на контурных картах. За счет модификации выходного конуса с получением выходной усеченной пирамиды увеличивается общая площадь поперечного сечения потока в выпускном концевом штуцере, что приводит к дальнейшему снижению падения давления.

Жидкостная линия концевого штуцера может иметь размеры, обеспечивающие полностью развитый поток раствора. Кроме того, путь потока, ограниченный между жидкостной линией и конусом, может иметь размеры, поддерживающие полностью развитый поток раствора. При использовании в контексте настоящего изобретения, полностью развитый поток возникает, если граничный слой потока через жидкостную линию расширяется и заполняет всю линию, так что характеристики потока остаются по существу одинаковыми на всей оставшейся длине линии. Длина входного участка – это длина жидкостной линии, необходимая для того, чтобы поток жидкости стал полностью развитым. Длина пути потока может быть больше длины входного участка в случае конкретного раствора, так что движение потока между линией и конусом становится и/или остается полностью развитым.

Путь потока может иметь гидравлический диаметр, определенный пространством между конусом и жидкостной линией. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения путь потока может иметь гидравлический диаметр, который от 2 до 10 раз превышает длину наибольшего линейного участка жидкостной линии (то есть зоны, имеющей второй радиус) для поддержания

полностью развитого потока. Путь потока может иметь гидравлический диаметр, который по меньшей мере в 2 раза, 3 раза, 4 раза, 5 раз, 6 раз, 7 раз, 8 раз, 9 раз или 10 раз превышает длину зоны, имеющей второй радиус, или является таким диаметром, который необходим для поддержания полностью развитого потока конкретного раствора электролита. В целом, длина зоны, имеющей второй радиус, может быть настолько большой, насколько это возможно с сохранением достаточного давления на входе и падения давления на электрохимической ячейке.

Концевые штуцеры потенциально могут выполнять две задачи, поскольку они также могут содержать электрические соединители для подачи электрического тока к электродам и обеспечивать пневматическое уплотнение электрохимической ячейки. Например, концевые штуцеры, укрепленные на противоположных концах электрохимической ячейки, могут образовывать пневматически уплотненные камеры. Штуцеры могут иметь конфигурацию, необходимую для пневматического и электрического обеспечения газопроводов.

Как показано на Фиг. 23A-23D, электрохимическая ячейка 1000 может содержать электрические соединители 1240, расположенные на дистальных концах электродах и электрически соединенные с электродами. Электрический ток может быть подан к электрохимической ячейке через электрический соединитель, он может пройти через электроды и рабочие жидкости внутри электрохимической ячейки и выйти из электрохимической ячейки через соответствующее соединение заземления. Максимальный ток, подаваемый к электрохимической ячейке, можно определить по рабочей плотности тока, которая обычно меньше примерно 3000 A/m^2 . Рабочая плотность тока может варьироваться в зависимости от покрытия электродов и внутренней площади поверхности электродов. Во время проектирования электрохимической ячейки можно варьировать сопротивление за счет площади поверхности электрического соединителя, подаваемого тока, удельного сопротивления материала ячейки и потоковой теплоемкости ячейки.

Электрические соединители могут быть изготовлены из любого проводящего электрический ток и устойчивого к коррозии материала. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрические соединители могут быть изготовлены из того же материала, что и один или более электродов, например – из титана. Электрический соединитель может быть прикреплен к электродам, например – с помощью сопрягающего элемента или посредством сварки. Электрический соединитель может быть изготовлен из сплошного токопроводящего

листа, или он может содержать элементы, сваренные или другим способом соединенные друг с другом с возможностью проведения электрического тока. Обычно электрические соединители легко изготавливать, но обычно их не проектируют обтекаемыми. Поэтому стандартные электрические соединители
5 обычно создают большую область сниженной линейной скорости потока ниже по течению.

Первый электрический соединитель может быть предусмотрен на первом конце многотрубчатой электрохимической ячейки, раскрытой в данной публикации, для обеспечения электрического контакта с анодной электродной трубкой (или
10 трубками), а второй электрический соединитель может быть предусмотрен на втором конце многотрубчатой электрохимической ячейки, раскрытой в данной публикации, для обеспечения электрического контакта с катодной электродной трубкой (или трубками). В электрических соединителях могут быть предусмотрены отверстия, позволяющие протекание жидкости через зазоры между
15 концентрическими электродными трубками. Перекладины электрического соединителя могут иметь позиционирующие элементы, например – прорези, плоские контакты, пальцы и/или выступы, расположенные с интервалами, например, для сцепления с электродными трубками и/или разделителями. Наружный край электрического соединителя может быть соединен с источником питания с
20 использованием одиночного соединителя или множественных соединителей.

Соединение между электрическим соединителем и электрическим проводом от источника питания можно герметически закрыть и изолировать от окружающей среды, например – с использованием прокладок, винтов и/или болтов, для обеспечения безопасности и предотвращения коррозии. Водонепроницаемые
25 соединители (например, соединители со степенью защиты IP54) можно использовать для подсоединения электрического соединителя к источнику питания. Некоторые варианты осуществления могут также обеспечить высокую степень защиты от проникновения (IP; от англ.: ingress protection), которая защищает операторов от поражения электрическим током и исключает потребность в дорогом
30 защитном корпусе. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения для герметического закрытия и изоляции электрического соединителя используют трубчатые компоненты из полимеров высокой плотности, например – из ABS, U-PVC, C-PVC и/или PVDF материала, из-за их химической стойкости, например – к гипохлориту натрия, и высокого достижимого номинального давления,
35 лежащего в диапазоне от примерно 5 бар до примерно 15 бар. Коммерчески

доступные кабельные соединители с высокой степенью защиты от проникновения (IP) можно использовать для передачи тока к электродам и от электродов.

Электрические соединители могут быть сконструированы так, чтобы минимизировать электрическое сопротивление и теплообразование. В целом, электрическое сопротивление является функцией геометрии устройства и удельного сопротивления материала. Образование тепла увеличивается с увеличением сопротивления в соответствии с законом Джоуля-Ленца, который гласит, что тепловая мощность, генерируемая в электрическом проводнике, пропорциональна произведению его сопротивления и квадрата силы тока. При последовательном соединении тепло, образующееся во всех электрохимических ячейках, суммируется, и его необходимо минимизировать. Однако подаваемый ток следует поддерживать в соответствующем диапазоне для получения желаемого продукта. Поэтому в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрические соединители могут иметь размеры, минимизирующие электрическое сопротивление (и поэтому образование тепла) определенного материала при обеспечении достаточного тока.

В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения электрический соединитель может быть выполнен на основе титана. Электрические соединители могут осуществлять передачу к электродам мощности, лежащей в диапазоне от 25 Вт до 1,5 кВт, например – от 25 Вт до 100 Вт, от 100 Вт до 1 кВт или от 1 кВт до 1,5 кВт. Электрические соединители могут иметь размеры, обеспечивающие образование менее примерно 100 Вт тепла, например – менее примерно 75 Вт тепла, менее примерно 50 Вт тепла или менее примерно 25 Вт тепла. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрические соединители могут иметь размеры, обеспечивающие образование менее примерно 25 Вт тепла при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному из совокупности электродов. В таком варианте осуществления электрический соединитель может иметь размеры, обеспечивающие изменение температуры менее чем на 1°C , например – менее чем на примерно $0,5^{\circ}\text{C}$ или менее чем примерно на $0,1^{\circ}\text{C}$, при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности. Фиг. 25С является контурной картой тепла, выделяющегося в электрическом соединителе. Как показано в иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения на Фиг. 25С, температура жидкости увеличивается от примерно $20,05^{\circ}\text{C}$ на входе до $20,10^{\circ}\text{C}$ после электрического соединителя и до примерно $20,07^{\circ}\text{C}$ на выходе электрохимической ячейки. В других

вариантах осуществления настоящего изобретения электрические соединители могут иметь размеры, обеспечивающие генерацию менее чем примерно 25 Вт тепла при передаче по меньшей мере 1 кВт мощности; размеры, обеспечивающие генерацию менее чем примерно 100 Вт тепла при передаче по меньшей мере 1 кВт мощности; или размеры, обеспечивающие генерацию менее чем примерно 100 Вт тепла при передаче по меньшей мере 1,5 кВт мощности. Передаваемая мощность может зависеть от эксплуатационных требований.

Электрический соединитель может быть сконструирован так, чтобы минимизировать зону сниженной линейной скорости течения, которая возникает ниже по течению от электрического соединителя. Фиг. 25D является контурной картой линейной скорости ниже по течению от иллюстративного варианта электрического соединителя. Как указано ранее в отношении разделителей, зону сниженной линейной скорости течения минимизируют с целью сохранения способности электрохимической ячейки к самоочистке. Электрохимическое соединение может иметь размеры, обеспечивающие поддержание предварительно определенной длины зоны сниженной линейной скорости, как описано ранее.

Электрические соединители дополнительно могут быть сконструированы с возможностью обеспечения по существу равномерного распределения электрического тока вокруг концентрических электродов. Распределение электрического тока вокруг внутреннего электрода 1020 и внешнего электрода 1040 показано на Фиг. 25B. Электрические соединители могут иметь симметричную или по существу симметричную геометрию для обеспечения по существу равномерного распределения электрического тока.

Как показано на Фиг. 24A-24C, электрический соединитель 1240 может содержать кольцо 1242 и перекладины 1244. Каждое кольцо 1242 может иметь конфигурацию, обеспечивающую электрическое соединение с соответствующей электродной трубкой. Поэтому в вариантах осуществления с совокупностью концентрических электродных трубок электрический соединитель может содержать соответствующие концентрические кольца. Перекладины могут иметь конфигурацию, обеспечивающую электрическое соединение между концентрическими кольцами. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения перекладины могут быть прямолинейными для облегчения производства и снижения сопротивления, но они могут иметь любую желаемую

геометрию. Электрическое сопротивление перекладины можно вычислить по приведенному ниже уравнению:

$$R = \rho H / (W \times L)$$

где:

R – электрическое сопротивление,

5 ρ – удельное сопротивление материала,

H – высота перекладины, определяемая зазором между концентрическими кольцами,

W – ширина перекладины по периметру кольца, и

L – длина перекладины вдоль жидкостного канала.

10 Число и размеры перекладин могут быть выбраны так, чтобы минимизировать сопротивление, образование тепла и зону сниженной линейной скорости, создаваемую электрическим соединителем. Сопротивление отдельной перекладины может привести к омическим потерям, составляющим менее примерно 50 Вт, например – менее примерно 25 Вт или менее примерно 10 Вт. Максимальные
15 допустимые омические потери из-за перекладины и электрического соединителя можно выбрать, исходя из желаемой электрохимической реакции и потоковой теплоемкости конкретного раствора электролита, текущего через электрохимическую ячейку.

В целом, высота перекладины, обозначенная как H на Фиг. 24B, может быть
20 определена зазором между концентрическими кольцами. Соответственно, высота может по существу соответствовать ширине жидкостного канала. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, в которых чередующиеся электроды электрически соединены, высота может по существу соответствовать ширине двух или более концентрических жидкостных каналов. Высота может лежать
25 в диапазоне от примерно 1 мм до примерно 20 мм, например, она может быть равной примерно 20 мм, примерно 16 мм, примерно 14 мм, примерно 10 мм, примерно 8 мм, примерно 7 мм, примерно 6 мм, примерно 5 мм, примерно 3,5 мм, примерно 3 мм, или она может быть по существу равной ширине одного или более жидкостных каналов. В вариантах осуществления настоящего изобретения, в
30 которых кольцо электрического соединителя имеет меньшую ширину, чем электрод, высота перекладины может быть больше ширины одного или более жидкостных

каналов, что необходимо для обеспечения соединения между концентрическими соседними или не соседними кольцами.

5 Ширина перекладины, обозначенная как W на Фиг. 24В, может иметь размеры, позволяющие минимизировать длину зоны сниженной линейной скорости (как описано выше для разделителя), но обеспечить достаточное электрическое
соединение между концентрическими кольцами. В некоторых вариантах
осуществления настоящего изобретения ширина перекладины может составлять от
0,2 до 2,5 высоты перекладины. Например, ширина перекладины может лежать в
диапазоне от примерно 0,5 мм до примерно 10 мм, от примерно 0,5 мм до примерно
10 7 мм, от примерно 0,5 мм до примерно 5 мм, от примерно 0,5 мм до примерно 3 мм,
от примерно 0,5 мм до примерно 2 мм или от примерно 0,5 мм до примерно 1 мм.
Ширина перекладины может лежать в диапазоне от примерно 1 мм до примерно 20
мм, от примерно 1 мм до примерно 15 мм, от примерно 1 мм до примерно 12 мм или
от примерно 1 мм до примерно 10 мм. Ширина перекладины может быть настолько
15 малой, насколько это необходимо для снижения торможения жидкости, но
достаточной для обеспечения электрического соединения между концентрическими
кольцами. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения
материал может быть выбран так, чтобы он обеспечивал достаточное
сопротивление в малом объеме. Выбор размера электрического соединителя
20 обычно ограничивают производственные проблемы. Тем не менее, титан может
обеспечить большее удельное сопротивление в малом объеме, сократив зону
сниженной линейной скорости течения. Кроме того, перекладины и/или кольца
можно выполнить обтекаемыми для дополнительного сокращения зоны сниженной
линейной скорости течения.

25 Длина перекладины, обозначенная как L на Фиг. 24С, может быть выбрана
так, чтобы минимизировать электрическое сопротивление и образование тепла, но
сохранить желаемую диссипацию мощности. При заданной высоте (зазор между
концентрическими кольцами) и ширине (ширина, выбранная для минимизации зоны
сниженной линейной скорости течения) длину можно выбрать на основании
30 порогового сопротивления с использованием приведенного выше уравнения. Кроме
того, можно выбрать сопротивление для минимизации образования тепла, как
описано выше. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения
длина может лежать в диапазоне от примерно 1 мм до примерно 15 мм, например –
от примерно 5 мм до примерно 15 мм или от примерно 7,5 мм до 15 мм.

Электрическое сопротивление, образование тепла, диссипация мощности и зона сниженной линейной скорости электрического соединителя могут также зависеть от числа предусмотренных перекладин. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения число перекладин выбирают так, чтобы

5 минимизировать электрическое сопротивление, минимизировать образование тепла, минимизировать зону сниженной линейной скорости течения или обеспечить адекватную диссипацию мощности. Электрические соединители могут содержать от 1 до 8 перекладин между соседними кольцами, например – от 2 до 6 перекладин или от 3 до 6 перекладин, или столько перекладин, сколько необходимо для

10 соблюдения желаемых требований.

В целом, количество тока, проходящего через перекладину, можно определить, зная поданный ток, площадь поверхности трубчатого электрода и число и распределение перекладин. Расположение перекладин на электрическом соединителе может оказывать влияние на распределение тока по кольцу (или

15 кольцам). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения перекладины могут быть распределены по существу равномерно для обеспечения равномерного распределения тока. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения распределение тока улучшается с увеличением числа перекладин, причем перекладины по существу равномерно распределены по

20 кольцу. Соответственно, можно выбрать число и расположение перекладин так, чтобы обеспечить адекватное распределение тока с сохранением предварительно определенной длины зоны сниженной линейной скорости для сохранения способности электрохимической ячейки к самоочистке, как описано выше.

Кроме того, расположение перекладин на первом кольце по отношению к

25 перекладинам на соседнем концентрическом кольце может оказывать влияние на распределение тока. Перекладины на соседних кольцах могут быть расположены коллинеарно (то есть совпадать друг с другом), или они могут быть ориентированы под углом друг к другу. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения перекладины, расположенные на соседних концентрических кольцах,

30 могут находиться по существу на одинаковых расстояниях друг от друга для обеспечения равномерного распределения тока. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения распределение тока улучшается с увеличением числа перекладин, если перекладины, расположенные на соседних концентрических кольцах, находятся по существу на одинаковых расстояниях друг

35 от друга.

Иллюстративные варианты осуществления электрических соединителей изображены на Фиг. 26А, 26В, 27А и 27В. Распределение тока в иллюстративных вариантах осуществления из Фиг. 26А и 26В показано на Фиг. 26С и 26D (левое и правое изображения, соответственно). Распределение тока в иллюстративных вариантах осуществления из Фиг. 27А и 27В показано на Фиг. 27С и 27D (левое и правое изображения, соответственно). Зона сниженной линейной скорости, создаваемая каждым из иллюстративных вариантов осуществления электрических соединителей из Фиг. 26А, 26В, 27А и 27В, показана на контурных картах на Фиг. 28А-28D, где Фиг. 28А соответствует иллюстративному варианту осуществления из Фиг. 26А, Фиг. 28В соответствует иллюстративному варианту осуществления из Фиг. 26В, Фиг. 28С соответствует иллюстративному варианту осуществления из Фиг. 27А, и Фиг. 28D соответствует иллюстративному варианту осуществления из Фиг. 27В. Каждая из иллюстративных контурных карт из Фиг. 26 и Фиг. 28 была рассчитана для образца раствора электролита, являющегося морской водой, текущего со средней линейной скоростью, равной 2,0 м/с.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, как показано на Фиг. 29А-29В, электрический соединитель 1240 может содержать элемент для сопряжения с разделителем 1180. Размеры разделителя и электрического соединителя могут быть выбраны с учетом влияния на зону сниженной линейной скорости течения, который может обеспечить комбинация элементов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения выступы разделителя могут быть коллинеарными с одной или более перекладинами электрического соединителя для сокращения зоны сниженной линейной скорости течения. В других вариантах осуществления настоящего изобретения выступы разделителя могут быть ориентированы под углом к перекладинам электрического соединителя.

Кроме того, во время работы электрохимической ячейки часто желательно поддерживать низкую рабочую температуру даже в том случае, когда на электрохимическую ячейку подают большой электрический ток. Стандартные электрохимические ячейки в характерном случае содержат только титановые электрические соединители, приваренные к титановой наружной оболочке. Титановые электрические соединители обычно обладают высоким уровнем химической стойкости, но могут быть неоптимальными в отношении подачи тока к электрохимической ячейке без генерации нежелательных количеств тепла (и потерь энергии). Из-за высокого удельного сопротивления титановых соединителей может

потребуется ограничение тока, подаваемого на традиционный титановый соединитель, чтобы не происходило чрезмерного повышения температуры соединителей в воздухе. Однако это ограничивает выход продукта, производимого электрохимической ячейкой, поскольку образование продукта прямо пропорционально подаваемому току. Из-за генерации тепла в традиционных титановых соединителях эти соединители невозможно полностью заключить в электроизолирующий материал с высоким уровнем защиты от проникновения воды - IP54 или выше. Такое устройство обычно приводит к необходимости использовать дорогие электрические оболочки, которые не удерживают тепло, как герметично изолированный соединитель. Для преодоления этих проблем стандартные титановые соединители часто изготавливают из материала с большим поперечным сечением, что значительно повышает стоимость электрического соединителя и электрохимической ячейки.

Удельное сопротивление меди равно $1,707 \times 10^{-8}$ Ом·м, тогда как удельное сопротивление титана равно $7,837 \times 10^{-7}$ Ом·м. Медь имеет примерно в 46 раз меньшее удельное электрическое сопротивление, чем титан. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрический соединитель может быть по меньшей мере частично изготовлен из меди с низким удельным сопротивлением. Однако медь более чувствительна к химической коррозии, чем титан, и поэтому следует не допускать ее контакта с электролитом, текущим через электрохимическую ячейку.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения часть электрического соединителя, вступающая в контакт с технологической жидкостью или электролитом (например, с морской водой, содержащей следовые количества вызывающего коррозию эквивалентного хлора), может быть изготовлена из титана. Тепло, генерируемое электрическими токами, текущими через этот материал, эффективно удаляется проточной технологической жидкостью. Поскольку линейная скорость течения технологической жидкости, обеспечивающая самоочистку, может превышать 2 м/с, то увеличение температуры титановой части электрического соединителя обычно имеет пренебрежимо малое значение. Часть электрического соединителя, контактирующая с воздухом, может быть изготовлена из меди (или другого металла или сплава, имеющего меньшее удельное сопротивление, чем титан).

Электрические соединители с воздушно-жидкостным охлаждением, содержащие части, изготовленные из разных металлов, например – из титана и меди (или другого металла или сплава, имеющего меньшее удельное сопротивление, чем титан), могут решить проблемы, связанные со стандартными титановыми соединителями. Металл с более низким электрическим сопротивлением (например, медь) может формировать часть электрического соединителя, открытую для воздуха, или быть включенным в нее. Следует понимать, что медь является всего лишь примером хорошо проводящего электрический ток материала, и в электрических соединителях, раскрытых в данной публикации, медь можно заменить другим материалом или сплавом с высокой электропроводностью. Поэтому термины «медная часть» и «медь» используются в контексте настоящего изобретения для удобства, но следует понимать, что эти термины не ограничивают такие элементы элементами, состоящими из меди.

Благодаря очень низкому электрическому сопротивлению меди, повышение температуры может быть ограничено малым и приемлемым значением. Этот наружный проводник можно соединить с внутренней, более химически стойкой (например, изготовленной из титана) частью соединителя, которая вступает в контакт с технологической жидкостью (например, с водой). Из-за охлаждающего влияния технологической жидкости повышение температуры внутренней, более химически стойкой (например, изготовленной из титана) части соединителя можно эффективно ограничить малым и приемлемым значением.

В целом, биметаллический электрический соединитель может быть более экономически эффективным, чем традиционный титановый соединитель, при сопоставимой токовой нагрузке. Наружный проводник биметаллического электрического соединителя может проявлять малое повышение температуры, и его можно заключить в электроизолирующие материалы, тем самым исключив потребность в дорогостоящих электрических оболочках. Также варианты осуществления биметаллического электрического соединителя с воздушно-жидкостным охлаждением могут обеспечить подачу значительно большего электрического тока к электрохимическим ячейкам, чем это возможно в случае изготовленных только из титана электрических соединителей для электрохимических ячеек.

Титановая часть и медная часть могут быть физически и электрически соединены во фланце электрохимической ячейки, который обеспечивает

герметичное уплотнение вокруг участков соединителя и изолирует внутреннюю часть электрохимической ячейки от окружающей среды за счет использования, например, уплотнительных прокладок. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения титановая часть может быть соединена с медной частью механическими крепежными средствами, например – болтами. Болты 1420 могут быть изготовлены из того же материала, что и титановая часть или медная часть. Титановая часть может содержать поперечины или перекладины, которые обеспечивают электрический контакт с одним из анодов или катодов в электрохимическом устройстве, и отверстия, позволяющие поступление технологической жидкости, например – электролита, в электрохимическое устройство или вытекание из него. Поперечины или перекладины могут содержать элементы, например – прорези, для облегчения сцепления с электродами в электрохимическом устройстве. Титановая часть может дополнительно или альтернативно соединена с медной частью усиливающей прокладкой. Медная часть может отходить от титановой части или полностью окружать титановую часть.

Титановая часть может дополнительно содержать наружный ободок с резьбой, который может быть ввинчен в медную часть посредством соединения с комплементарной резьбой на внутреннем ободке отверстия в медной части. Медная часть может содержать нижний цилиндрический участок с резьбой, который ввинчивается в отверстие в титановой части.

В другом варианте осуществления настоящего изобретения медная часть может быть заменена полиметаллическим электрическим соединителем, например – состоящим из сплава титана и меди или из одного или более других металлов с высокой удельной электропроводностью. Полиметаллический электрический соединитель может иметь более низкое удельное сопротивление, чем титан. Полиметаллический электрический соединитель можно припаять или другим способом физически соединить с титановой частью.

Может быть предусмотрен твердый центральный сердцевинный элемент или направляющее устройство для потока жидкости, чтобы предотвратить затекание жидкости в центральную трубку электрохимической ячейки в обход межэлектродного зазора. Центральный элемент может быть изготовлен из материала, не проводящего электрический ток, например – из одного или нескольких материалов, выбранных из PVC, PTFE, PVDF, ABS, HDPE или других подходящих материалов. Центральный элемент может быть механически не

соединенным с анодом и катодом. В других вариантах осуществления настоящего изобретения могут быть предусмотрено одно или более механических крепежных средств для фиксации центрального элемента в правильном положении и/или для крепления центрального элемента к корпусу или другому элементу электрохимической ячейки, например – к электроду или концевому штуцеру. В других вариантах осуществления настоящего изобретения центральный элемент удерживается внутри самого внутреннего электрода посредством фрикционной посадки. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения центральный элемент может контактировать только с одним из анодных и катодных электродов. Один из анодных и катодных электродов может не быть соединенным с центральным элементом и не вступать с ним в контакт.

В других вариантах осуществления настоящего изобретения центральный элемент может быть токопроводящим элементом, который электрически соединен с одним из анодных и катодных электродов и может быть использован для подачи электрического тока к одному из анодных и катодных электродов. В других вариантах осуществления настоящего изобретения центральный элемент может содержать осевые электрические шины и/или другие токопроводящие центральные элементы, изолированные друг от друга, причем первая осевая электрическая шина и/или другой токопроводящий элемент электрически соединены с анодом, а вторая осевая электрическая шина и/или другой токопроводящий центральный элемент электрически изолированы от первого и электрически соединены с катодом.

Электрохимическая ячейка может содержать внутренние перегородки. Перегородки можно использовать для регулирования или изменения направления потока и/или для перемешивания жидкости, проходящей через электрохимическую ячейку, и они могут обеспечивать дополнительную длину пути к жидкостным каналам по сравнению с электрохимической ячейкой без перегородок. Поток жидкости через электрохимическую ячейку может быть потоком от впускных отверстий к жидкостной линии или от жидкостной линии к выпускным отверстиям.

Электрохимические ячейки, раскрытые в данной публикации, могут быть включены в качестве части в более крупную систему. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения система может быть системой морского базирования, например – кораблем или нефтедобывающей платформой, или в других вариантах осуществления она может быть наземным сооружением, например – электростанцией, буровой установкой или системой или другим

промышленным предприятием. В других вариантах осуществления настоящего изобретения система может быть плавательным бассейном или системой для обработки питьевой воды, сточных вод или технических вод или включать в себя эти системы, в которых используются один или более продуктов электрохимических устройств, например – дезинфектант для обработки или дезинфекции воды.

Система может включать одну или более электрохлорирующих систем, которые могут включать одну или более электрохимических или электрохлорирующих ячеек и устройств, раскрытых в данной публикации. Система может включать источник раствора электролита, который можно жидкостно соединить с электрохимической ячейкой, например – через по существу центрально расположенное отверстие впускного концевой штуцера. Источник раствора электролита может быть выполнен с возможностью подачи раствора электролита со средней линейной скоростью течения через жидкостный канал, равной или превышающей линейную скорость, обеспечивающую самоочистку, как описано в данной публикации. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник раствора электролита выполнен с возможностью подачи раствора со средней линейной скоростью течения, равной примерно 2 м/с или более.

Источник раствора электролита может содержать технологическую жидкость, которая в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения является морской водой, солевым раствором или соленой водой из источников, внешних и/или внутренних по отношению к системе. Например, если система является системой морского базирования, то внешним источником может быть океан, а внутренним источником может быть, например, балластная цистерна корабля. В системе наземного базирования внешним источником может быть океан, а внутренним источником может быть соленая сточная вода из промышленного процесса, осуществляемого в системе.

Система может быть выполнена с возможностью получения целевого соединения из раствора электролита и продуктивного раствора, содержащего целевое соединение. Одна или более электрохимических систем могут производить обработанную или хлорированную воду и/или раствор, содержащий, например, гипохлорит натрия, из воды и распределять его по точкам использования. Можно обеспечить жидкостное соединение системы с точкой использования, например – через по существу центрально расположенное отверстие выпускного концевой

штуцера электрохимической ячейки. Точка использования может содержать накопительный резервуар или распределительный узел. Точка использования может быть источником охлаждающей воды для системы, источником дезинфицирующего агента для балластной цистерны корабля, внутрискважинным резервуаром нефтебуровой системы или любой другой системой, в которой может использоваться обработанная или хлорированная вода. Точка использования может включать концентрирующий резервуар, например – для периодической рециркуляции продукта. Различные насосы могут регулировать поток жидкости через систему. Один или более датчиков могут обеспечивать мониторинг одного или более параметров жидкости, текущей через систему, например – концентрации ионов, концентрации хлора, температуры или любого другого представляющего интерес параметра.

Насосы и датчик могут быть связаны с системой управления или контроллером, который обменивается информацией с датчиками и насосами и регулирует работу насосов и других элементов системы для обеспечения желаемых рабочих параметров. Контроллер, используемый для мониторинга и регулирования работы различных элементов системы, может включать компьютеризированную систему управления. Выходные устройства могут также включать клапаны, насосы или переключатели, которые можно использовать для подачи обрабатываемой воды (например, соленой воды или морской воды) из источника в электрохимическую систему или в точку использования и/или для регулирования скорости работы насосов.

Один или более датчиков могут также передавать информацию в компьютерную систему. Эти датчики могут включать, например, датчики потока, датчики давления, датчики концентрации химических веществ, датчики температуры или датчики любых других параметров системы, представляющих интерес. Эти датчики могут быть расположены в любой части системы, где они могут быть полезными, например – выше по течению относительно точки использования и/или электрохимической системы или в жидкостной связи с источником.

Система может содержать совокупность электрохимических ячеек, расположенных последовательно. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения система может содержать от 2 до 10 электрохимических ячеек, расположенных последовательно. Может быть выбрано такое количество

последовательно расположенных электрохимических ячеек, которое необходимо для получения целевого соединения, имеющего желаемые свойства. Электрохимические ячейки, расположенные последовательно, могут содержать компоненты, предназначенные для минимизации падения давления, как описано выше. Влияния падения давления на последующие электрохимические ячейки, расположенные последовательно, обычно являются кумулятивными.

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения предложен способ эксплуатации электрохимической ячейки. Способ можно использовать для эксплуатации одной или более электрохимических ячеек по настоящему изобретению. Способ может включать подачу раствора электролита в электрохимическую ячейку, например – через по существу центрально расположенное отверстие впускного концевой штуцера, со скоростью, обеспечивающей самоочистку, как описано в данной публикации. Способ может дополнительно включать жидкостное соединение совокупности электрохимических ячеек и эксплуатацию последовательно соединенных электрохимических ячеек. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения способ может включать подачу раствора электролита со средней линейной скоростью течения через жидкостный канал, равной примерно 2 м/с или более.

Способ может включать получение целевого соединения из раствора электролита в самоочищающейся электрохимической ячейке. Для получения целевого соединения электрохимическую ячейку можно ввести в эксплуатацию посредством подачи напряжения на электроды, например – напряжения, достаточного для получения целевого соединения. Напряжение, достаточное для получения целевого соединения, обычно может зависеть от состава раствора электролита, желаемого содержания целевого соединения в продуктивном растворе, средней линейной скорости течения жидкости через электрохимическую ячейку и числа электрохимических ячеек, соединенных последовательно. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения электроды работают при постоянной плотности тока, а средняя линейная скорость потока регулируется для получения желаемого содержания целевого соединения. Например, электрохимическая ячейка может работать при средней линейной скорости потока менее 10 м/с, менее 6 м/с, менее 3,5 м/с, менее 3 м/с или менее 2,5 м/с, если это необходимо для получения продукта желаемого состава. В том же иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения число электрохимических ячеек, соединенных последовательно, может быть выбрано так,

чтобы получить желаемый продукт, например – менее 10, менее 8, менее 6, менее 4 электрохимических ячеек или по меньшей мере 2 электрохимические ячейки при необходимости могут быть соединены последовательно.

Способ может дополнительно включать непрерывную эксплуатацию электрохимических ячеек или системы в течение предварительно определенного периода времени. Как описано выше, в электрохимической ячейке, непрерывно работающей при линейной скорости потока, обеспечивающей самоочистку, могут снижаться образование твердых отложений и, соответственно, потребность в кислотной промывке электрохимической ячейки. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения электрохимическая система может непрерывно работать в течение по меньшей мере 6 месяцев без образования твердых отложений. такая электрохимическая система может непрерывно работать в течение 6 месяцев, 12 месяцев, 18 месяцев, 24 месяцев или 36 месяцев без образования твердых отложений.

ОПИСАНИЕ ПРИМЕРОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Пример 1

Падение давления на электрохимической ячейке

Жидкостная линия и конус электрохимической ячейки могут быть выполнены так, чтобы минимизировать падение давления на электрохимической ячейке. В иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения были получены данные вычислительной гидрогазодинамики (CFD, от англ. Computational Fluid Dynamics) по давлению на входе при нескольких размерах впускной жидкостной линии. Данные получены для морской воды в качестве раствора электролита и средней линейной скорости течения, равной 2 м/с, но для получения желаемых условий можно использовать и другие растворы электролитов и соответствующие линейные скорости течения, обеспечивающие самоочистку. Контурные карты для нескольких размеров жидкостной линии показаны на Фиг. 13А-13С. В иллюстративном варианте осуществления из Фиг. 13А имеется линейная область размером 20 мм. В иллюстративном варианте осуществления из Фиг. 13В имеется линейная область размером 50 мм, что приводит к среднему давлению на входе, равному 119 Па. В иллюстративном варианте осуществления из Фиг. 13С имеется линейная область размером 75 мм, что приводит к среднему давлению на входе, равному 117 Па. Как можно видеть из графических материалов, увеличение

линейной переходной области приводит к сопутствующему снижению падения давления.

Кроме того, были получены CFD данные для нескольких углов раскрытия входного конуса при постоянной длине линейной области жидкостной линии (40 мм).

- 5 Данные представлены на контурной карте линейной скорости на Фиг. 14А и графике на Фиг. 14В. Угол вращения конуса относительно центральной линии (то есть половина угла при вершине конуса) увеличивали от 10 градусов до 45 градусов и оценивали падение давления. Наименьшее падение давления (примерно 18,8 кПа или 2,725 фунтов/кв. дюйм) наблюдали в случае конуса, имевшего угол при
- 10 вершине, равный 50°.

- В случае иллюстративной жидкостной линии, имеющей линейную область размером 40 мм, угол при вершине входного конуса минимизирует падение давления на электрохимической ячейке. Сходные условия можно определить для других размеров жидкостной линии и/или конуса. Сходные условия можно также
- 15 определить для других растворов электролитов и/или средних линейных скоростей течения.

Пример 2

Эффект рециркуляции ниже по течению от разделителя и/или электрического соединителя

- 20 Образование твердых отложений может происходить, если средняя линейная скорость течения раствора электролита ниже порогового уровня. Разделитель может быть выполнен так, чтобы минимизировать области низкой линейной скорости, расположенные ниже по течению от него, например – за счет придания ему обтекаемой конфигурации. Как показано на контурных картах величины
- 25 линейной скорости на Фиг. 30 и Фиг. 31, линейная скорость течения сразу же после прямоугольного разделителя составляет 0 м/с, что увеличивает вероятность образования твердых отложений в этом положении. Стрелки указывают направление течения и имеют длину, указывающую величину линейной скорости течения. Фиг. 30 демонстрирует контурную карту в виде сбоку жидкостного канала,
- 30 тогда как Фиг. 31 демонстрирует контурную карту в виде сверху того же жидкостного канала.

Фиг. 32 – это контурная карта значений линейной скорости в случае обтекаемого разделителя. Как показано на Фиг. 32, поток ниже по течению является

более однородным и имеет меньшее отклонение линейной скорости от среднего. Отклонение линейной скорости течения от среднего значения для варианта осуществления настоящего изобретения, изображенного на Фиг. 32, показано на графике на Фиг. 22. Если принять за раствор электролита морскую воду, а среднюю линейную скорость течения принять равной 2 м/с, то разброс значений линейной скорости в процентах может составлять $\pm 5\%$ от среднего порогового значения на пути потока, равном 100 мм (от разделителя).

Соответственно, разделители могут быть выполнены так, чтобы обеспечить более равномерный поток ниже по течению, имеющий меньшее отклонение линейной скорости от среднего значения, для снижения образования твердых отложений. Такая конструкция может также уменьшить длину зоны сниженной линейной скорости, обеспечив способность к работе при более низкой средней линейной скорости (что требует меньше энергии) и снизив или исключив потребность в кислотной промывке электрохимической ячейки. Сходные условия можно определить для других растворов электролитов и/или средних линейных скоростей течения.

Пример 3

Параметры потока внутри электрохимической ячейки

При течении по трубе число Рейнольдса обычно определяют как:

$$Re \approx \frac{\rho u D_H}{\mu} \approx \frac{u D_H}{\nu} \approx \frac{Q D_H}{\nu A}$$

где:

D_H – гидравлический диаметр трубы,

Q – объемная скорость течения ($\text{м}^3/\text{с}$),

A – площадь поперечного сечения трубы (м^2),

u – средняя линейная скорость жидкости ($\text{м}/\text{с}$),

μ – динамическая вязкость жидкости ($\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$),

ν – кинематическая вязкость ($\text{м}^2/\text{с}$), и

ρ – плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$).

В случае иллюстративной электрохимической ячейки, содержащей совокупность жидкостных каналов, было определено, что число Рейнольдса для течения жидкости через площадь поперечного сечения потока между входным

конусом и жидкостной линией равно 57847. Примерная длина входного участка такой линии равна примерно 380 мм. В случае полностью развитого потока турбулентность обычно возникает при числе Рейнольдса больше примерно 2600. Таким образом, поток через жидкостную линию является высокотурбулентным.

5 В той же электрохимической ячейке было определено, что число Рейнольдса для потока жидкости через каждый из концентрических жидкостных каналов равно 14581. Примерная длина входного участка жидкостных каналов равна примерно 70 мм. Поток через жидкостные каналы и ниже по течению от разделителей напоминает ламинарный поток.

10 При определении этих значений было принято, что раствором электролита является морская вода при 20°C, а средняя линейная скорость течения равна 2 м/с. Сходные условия можно определить для других растворов электролитов и/или средних линейных скоростей течения.

Фразеология и терминология, использованные в данной публикации, 15 предназначены для описательных целей, и их не следует рассматривать как ограничивающие настоящее изобретение. При использовании в контексте настоящего изобретения термин «совокупность» относится к двум или более предметам или компонентам. Термины «содержащий», «включающий», «несущий», «имеющий» и «охватывающий», как в описании изобретения, так и в формуле 20 изобретения, являются неограничивающими терминами, то есть они означают «включающий, но не ограниченный». Поэтому при использовании этих терминов подразумевается, что они охватывают предметы, перечисленные после них, и их эквиваленты, а также дополнительные предметы. Только переходные фразы «состоящий из» и «состоящий по существу из» являются, соответственно, 25 замкнутыми или полужамкнутыми переходными фразами в формуле изобретения. Использование порядковых терминов, таких как «первый», «второй», «третий» и т.д., в формуле изобретения для обозначения элемента формулы изобретения само по себе не означает приоритета, первоочередности или порядка одного элемента формулы изобретения перед другим или временного порядка, в котором выполняют 30 действия способа, и их используют прежде всего в качестве меток, позволяющих отличить один элемент формулы изобретения, имеющий определенное наименование, от другого элемента, имеющего такое же наименование (при использовании порядкового термина), чтобы различать элементы формулы изобретения.

Если описано несколько аспектов по меньшей мере одного варианта осуществления настоящего изобретения, то следует понимать, что специалисту в данной области техники будут очевидны различные изменения, модификации и усовершенствования. Любой признак, описанный в любом варианте осуществления настоящего изобретения, можно включить в любой признак другого варианта осуществления или заменить этим признаком. Такие изменения, модификации и усовершенствования следует считать частью данного раскрытия, и они входят в объем настоящего изобретения. Соответственно, приведенное выше описание и графические материалы следует рассматривать исключительно как примеры.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка, которая содержит:

- совокупность электродов, концентрически расположенных в корпусе вокруг центральной оси корпуса;

5 - жидкостный канал, расположенный между соседними электродами из совокупности электродов и проходящий по существу параллельно центральной оси;
и

10 - электрический соединитель, расположенный на дистальном конце по меньшей мере одного электрода из совокупности электродов и электрически соединенный с по меньшей мере одним из совокупности электродов,

15 причем электрический соединитель имеет размеры, позволяющие течение жидкости через жидкостный канал и обеспечивающие по существу равномерное распределение электрического тока по меньшей мере по одному электроду из совокупности электродов с сохранением зоны сниженной линейной скорости, имеющей длину меньше предварительно определенной, в жидкостном канале ниже по течению от электрического соединителя, при этом зона сниженной линейной скорости определена областью в жидкостном канале, в которой линейная скорость течения жидкости отличается от средней линейной скорости течения жидкости в канале не более чем на 20%.

20 2. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что электрический соединитель имеет среднее удельное сопротивление менее чем примерно $7,8 \times 10^{-7}$ Ом·м.

25 3. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 2, отличающаяся тем, что электрический соединитель имеет размеры, обеспечивающие генерацию менее примерно 25 Вт тепла при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

30 4. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 3, отличающаяся тем, что электрический соединитель имеет размеры, обеспечивающие генерацию менее примерно 25 Вт тепла при передаче по меньшей мере 1 кВт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

5. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что электрический соединитель содержит кольцо и совокупность перекладин, отходящих от кольца.

5 6. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 5, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит разделитель, расположенный между соседними электродами, и разделитель содержит элемент, конфигурация которого обеспечивает сопряжение с электрическим соединителем.

10 7. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 6, отличающаяся тем, что элемент разделителя содержит прорезь, конфигурация которой обеспечивает сопряжение с перекладиной электрического соединителя.

15 8. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 6, отличающаяся тем, что каждая перекладина из совокупности перекладин имеет размеры, позволяющие минимизировать электрическое сопротивление электрического соединителя и поддерживать генерацию тепла электрическим соединителем, вызывающую повышение температуры менее чем примерно на $0,1^{\circ}\text{C}$ при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности к по меньшей мере одному электроду из совокупности электродов.

20 9. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 6, отличающаяся тем, что совокупность перекладин по существу равномерно распределена по кольцу.

10. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 6, отличающаяся тем, что перекладины имеют обтекаемую конфигурацию в направлении, параллельном центральной оси корпуса.

25 11. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что она содержит совокупность жидкостных каналов, расположенных концентрически между соответствующими парами соседних электродов, причем электрический соединитель содержит совокупность колец и совокупность перекладин, проходящих между соседними кольцами из совокупности колец.

30 12. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 11, отличающаяся тем, что перекладины, отходящие от соседних колец, расположены под углом друг к другу.

13. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 12, отличающаяся тем, что перекладины, отходящие от соседних колец, расположены по существу под одинаковым углом друг к другу.

14. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка, которая содержит:

5 - совокупность электродов, концентрически расположенных в корпусе вокруг центральной оси корпуса;

- жидкостный канал, расположенный между соседними электродами и проходящий по существу параллельно центральной оси; и

10 - электрический соединитель, расположенный на дистальном конце одного электрода из совокупности электродов и электрически соединенный с электродом,

причем электрический соединитель имеет размеры, позволяющие течение жидкости через жидкостный канал, и конфигурацию, обеспечивающую повышение температуры электролита, текущего через жидкостный канал с линейной скоростью, равной примерно 2 м/с. и имеющего температуру, равную примерно 20°C, менее
15 чем примерно на 0,5°C при передаче по меньшей мере 100 Вт мощности на по меньшей мере один электрод из совокупности электродов.

15. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 14, отличающаяся тем, что электрический соединитель содержит электрический разъем для соединения с внешним источником мощности, и электрическое сопротивление
20 электрического соединителя между электрическим разъемом и электродом составляет менее чем примерно 5×10^{-5} Ом.

16. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 14, отличающаяся тем, что электрический соединитель имеет размеры, обеспечивающие по меньшей мере равномерное распределение тока к множеству электродов.

25 17. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 14, отличающаяся тем, что электрический соединитель имеет размеры, обеспечивающие поддержание длины зоны сниженной линейной скорости в жидкостном канале ниже по течению от электрического соединителя, меньшей предварительно определенной длины.

30 18. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 17, отличающаяся тем, что отклонение линейной скорости раствора электролита от среднего значения

на предварительно определенной длине составляет менее $\pm 5\%$ от средней линейной скорости течения раствора электролита через жидкостный канал.

19. Самоочищающаяся электрохимическая ячейка по п. 18, отличающаяся тем, что отклонение линейной скорости раствора электролита от среднего значения на предварительно определенной длине составляет менее $\pm 2\%$ от средней линейной скорости течения раствора электролита через жидкостный канал.

20. Система, содержащая:

- самоочищающуюся электролитическую ячейку по любому из пунктов с 1 по 14, имеющую впускное отверстие и выпускное отверстие, находящиеся в жидкостном сообщении с жидкостным каналом; и

- источник раствора электролита, имеющий выпускное отверстие, выполненное с возможностью жидкостного соединения с впускным отверстием самоочищающейся электрохимической ячейки, и имеющий конфигурацию, позволяющую подавать раствор электролита со средней линейной скоростью течения жидкости через жидкостный канал, равной 2 м/с или более,

причем самоочищающаяся электрохимическая ячейка имеет конфигурацию, позволяющую получить целевое соединение из раствора электролита и произвести продуктивный раствор, содержащий целевое соединение,

и самоочищающаяся электрохимическая ячейка выполнена с возможностью жидкостного соединения с точкой использования через выпускное отверстие.

21. Система по п. 20, отличающаяся тем, что источник раствора электролита содержит по меньшей мере один раствор, выбранный из морской воды, соленой воды и солевого раствора.

22. Система по п. 20, отличающаяся тем, что она содержит совокупность самоочищающихся электрохимических ячеек, расположенных последовательно.

23. Способ эксплуатации электрохимической системы, включающий:

- обеспечение самоочищающейся электрохимической ячейки по любому из пунктов с 1 по 14;

- подачу раствора электролита в самоочищающуюся электрохимическую ячейку со средней линейной скоростью течения через жидкостный канал, равной примерно 2 м/с или более;

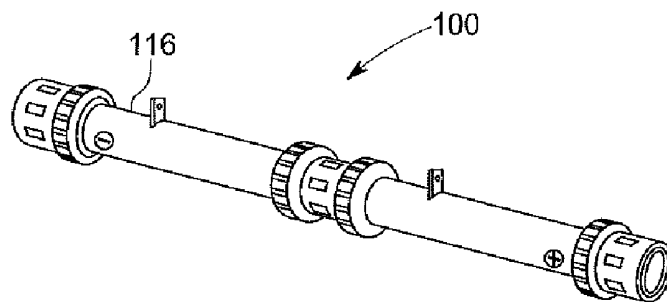
- подачу тока через совокупность электродов при напряжении, достаточном для образования целевого соединения из раствора электролита в самоочищающейся электрохимической ячейке; и

- непрерывную эксплуатацию электрохимической системы в течение предварительно определенного периода времени.

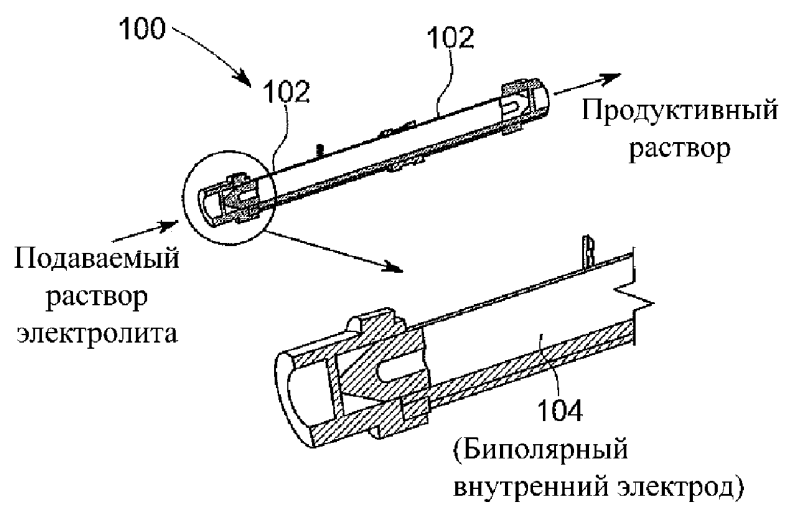
24. Способ по п. 23, отличающийся тем, что он включает непрерывную эксплуатацию электрохимической системы в течение по меньшей мере 6 месяцев.

25. Способ по п. 23, отличающийся тем, что он включает обеспечение совокупности самоочищающихся электрохимических ячеек и жидкостное последовательное соединение совокупности самоочищающихся электрохимических ячеек.

I
Replacement Drawing

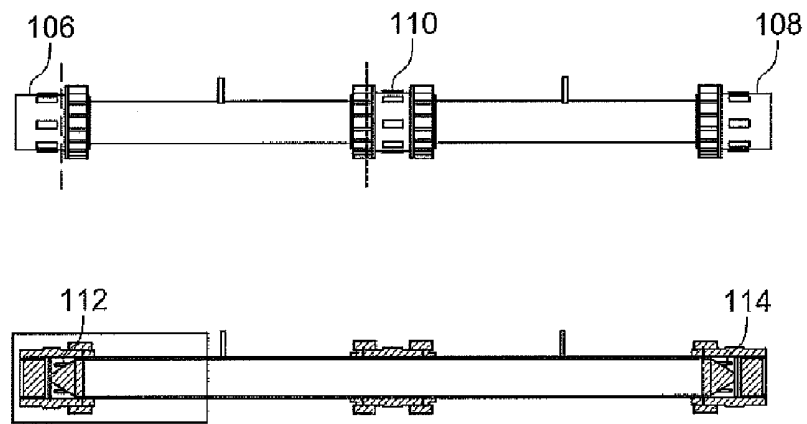


ФИГ. 1А

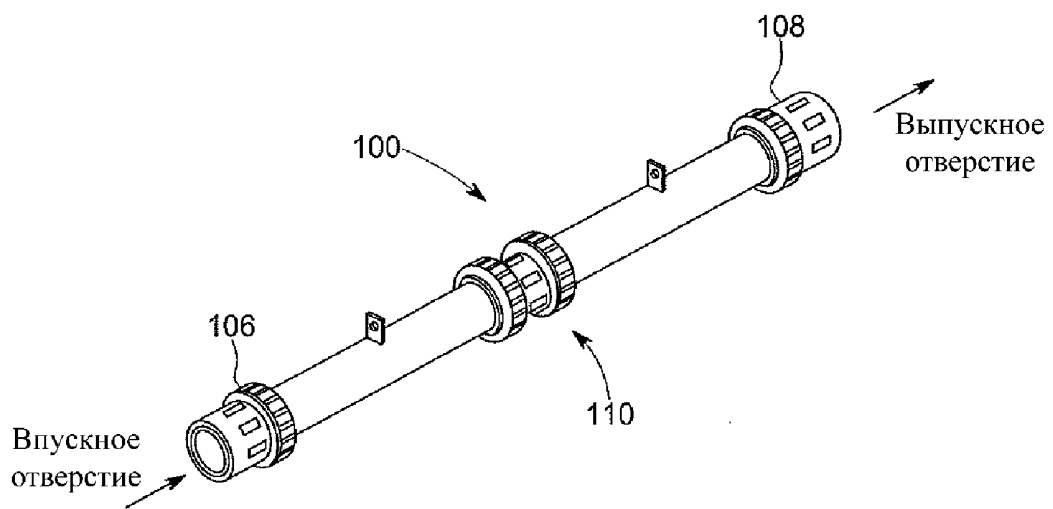


ФИГ. 1В

2
Replacement Drawing

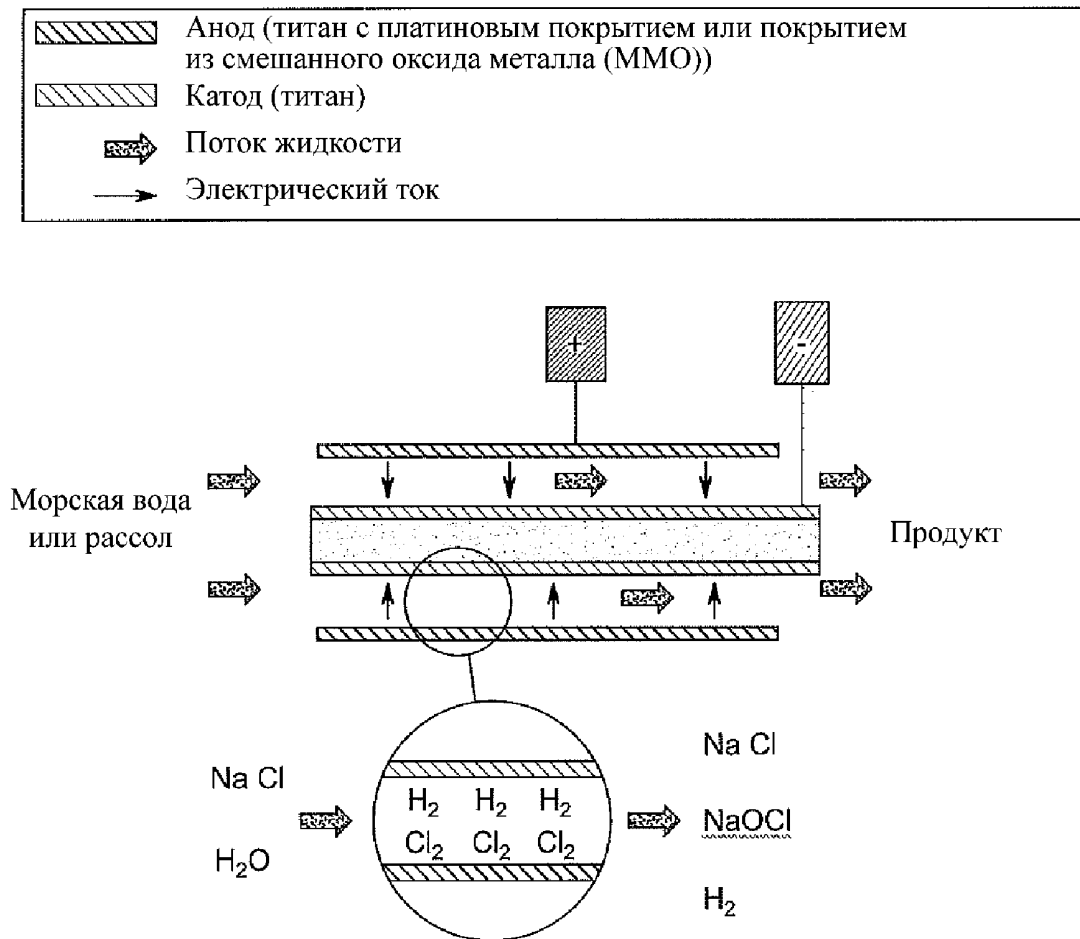


ФИГ. 1С

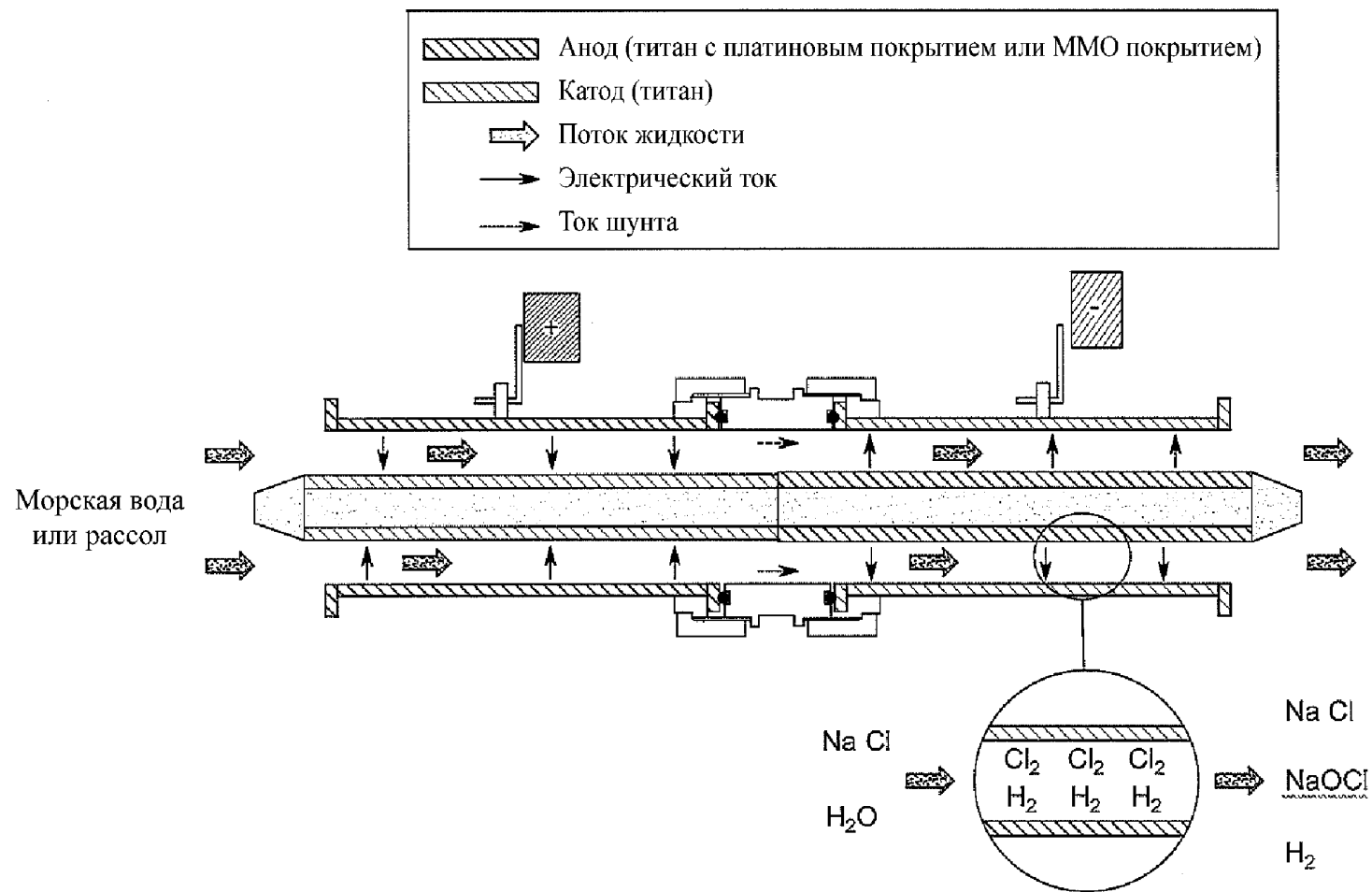


ФИГ. 1D

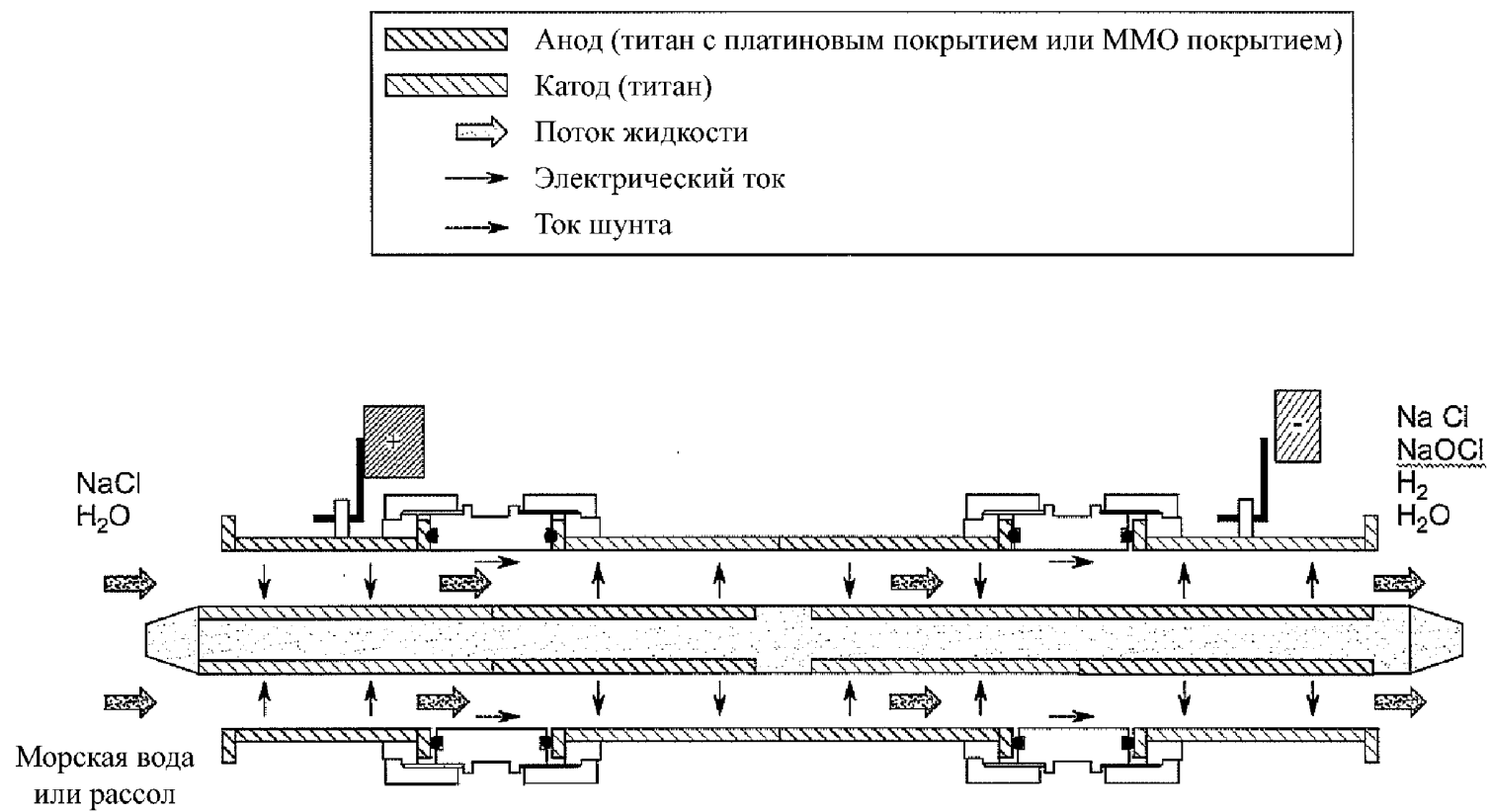
3
Replacement Drawing



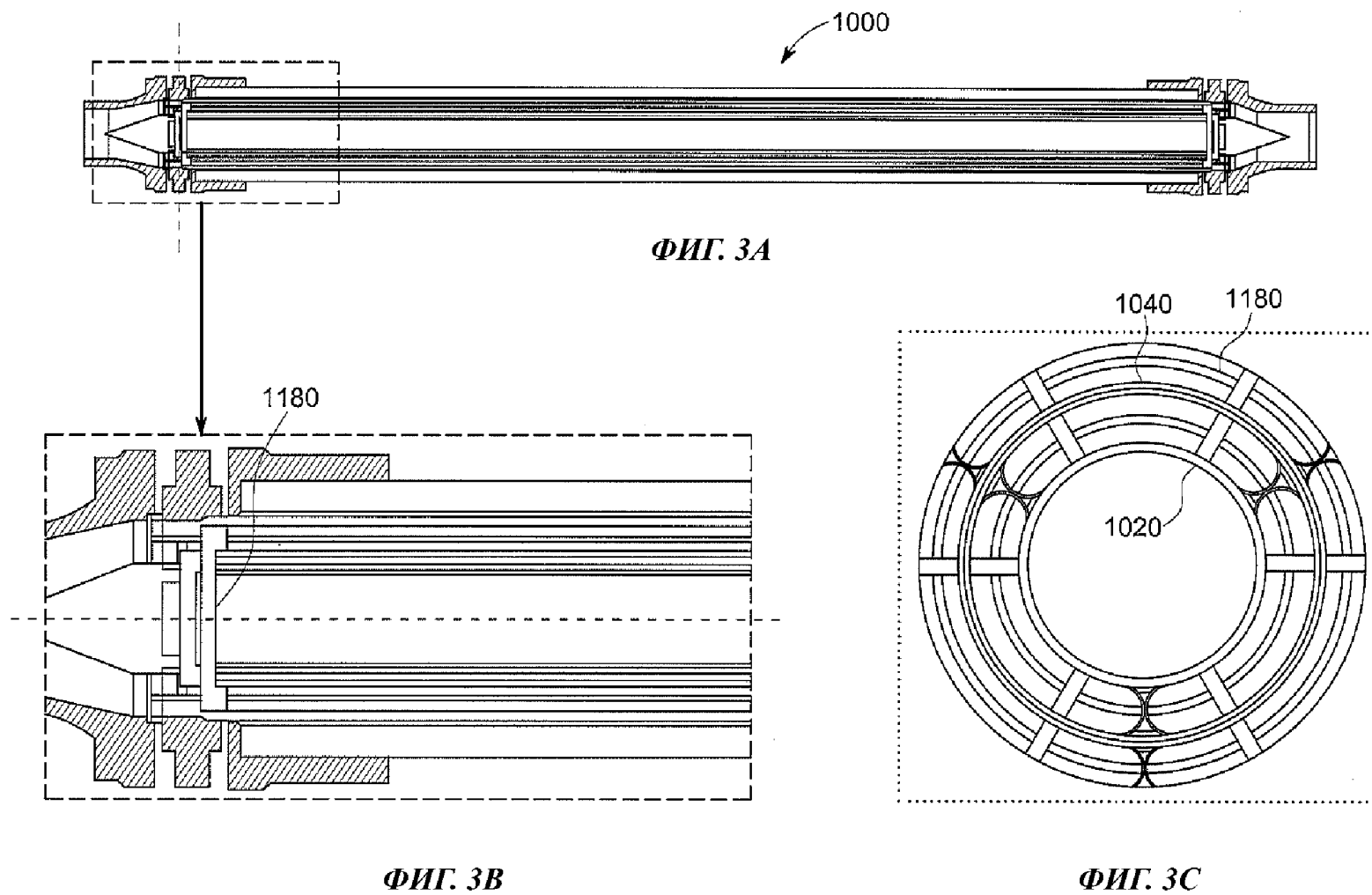
ФИГ. 2А

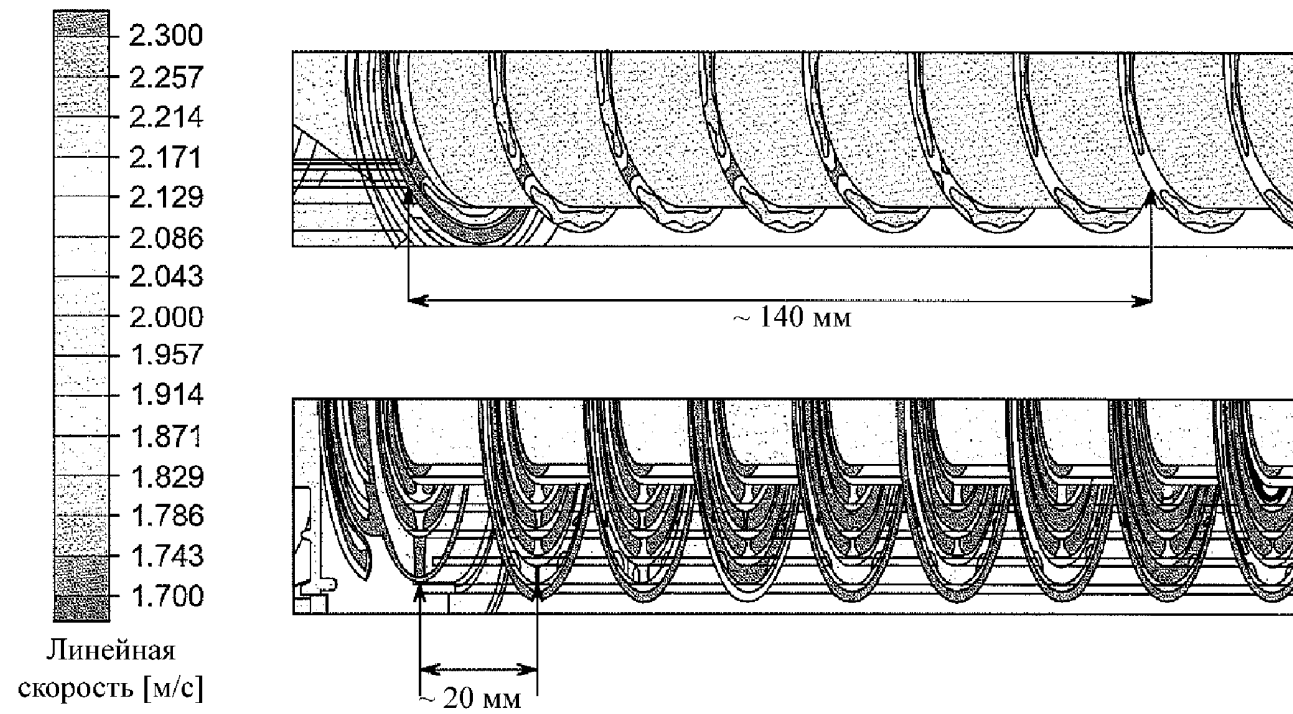


ФИГ. 2В



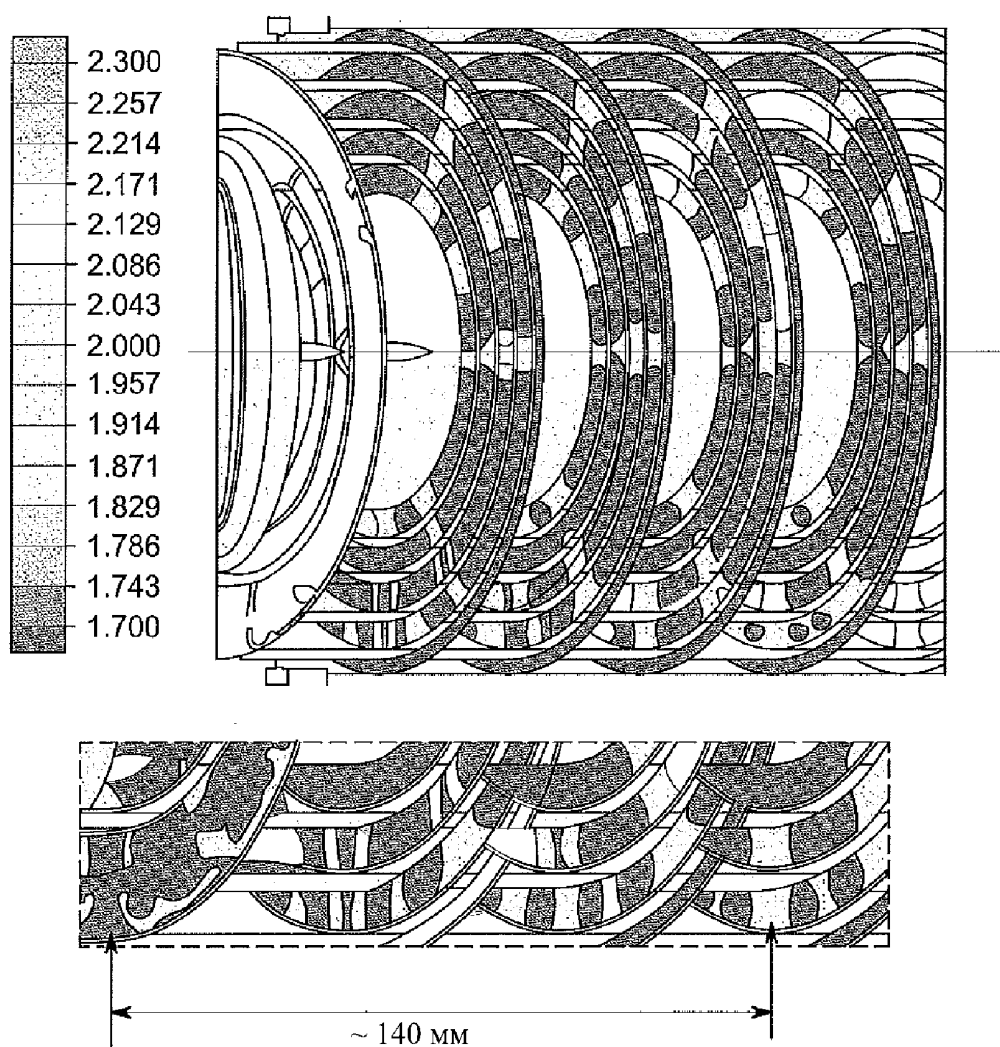
ФИГ. 2С



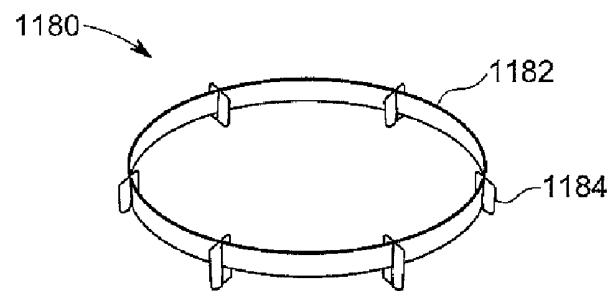


ФИГ. 4

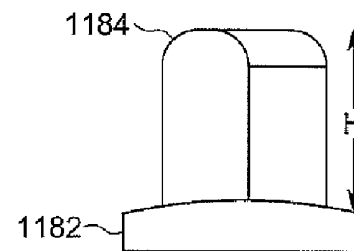
8
Replacement Drawing



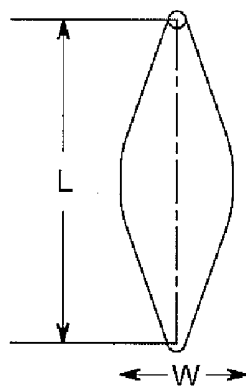
ФИГ. 5



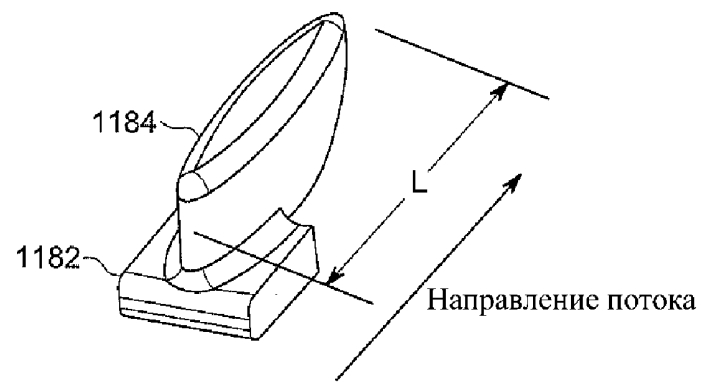
ФИГ. 6A



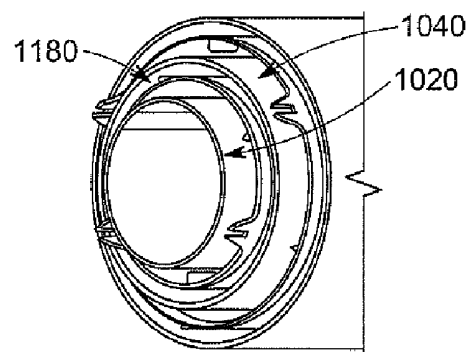
ФИГ. 6B



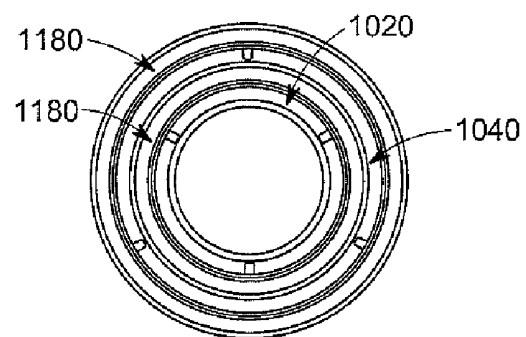
ФИГ. 6C



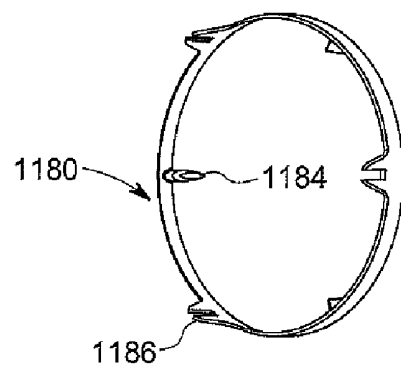
ФИГ. 6D



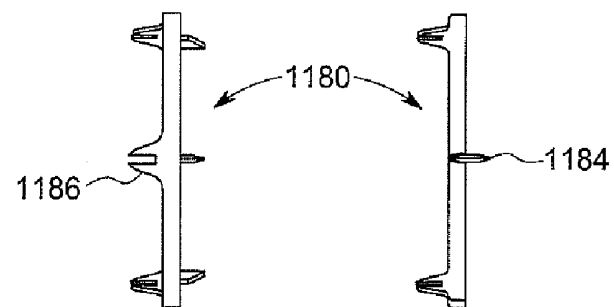
ФИГ. 7А



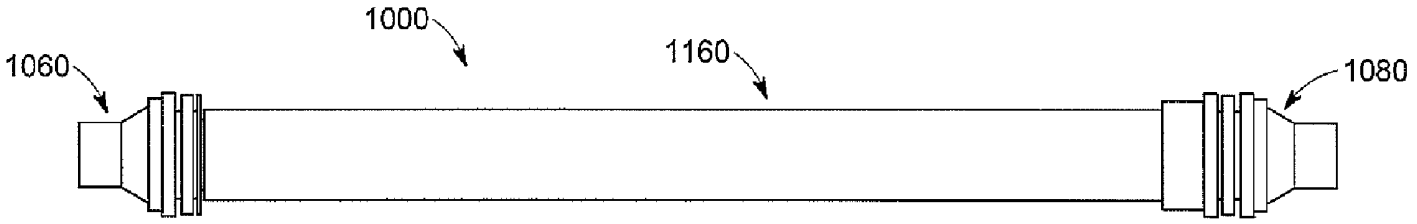
ФИГ. 7В



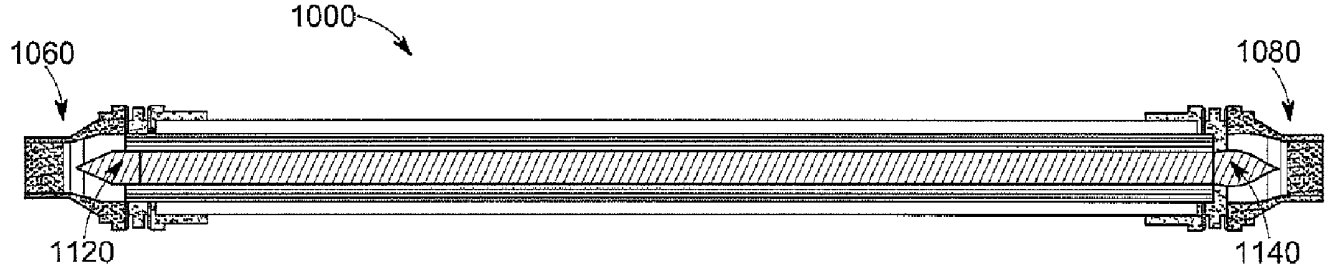
ФИГ. 7С



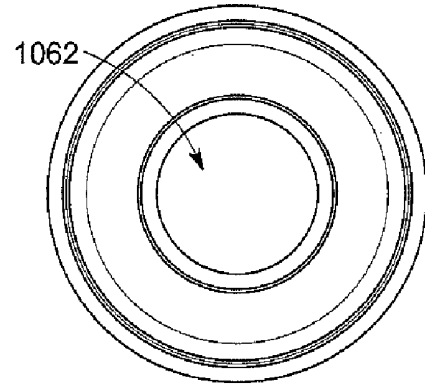
ФИГ. 7D



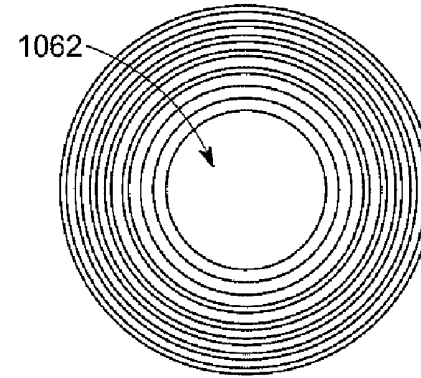
ФИГ. 8А



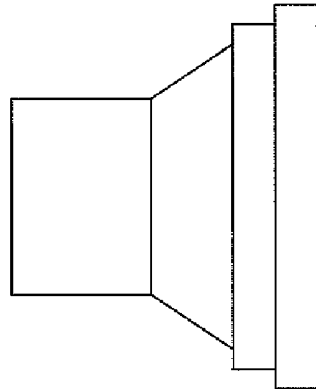
ФИГ. 8В



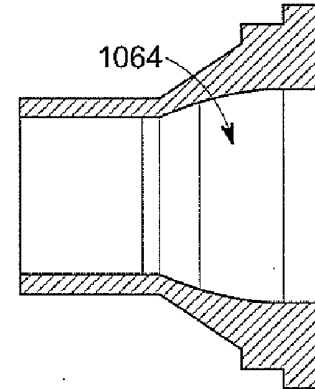
ФИГ. 9А



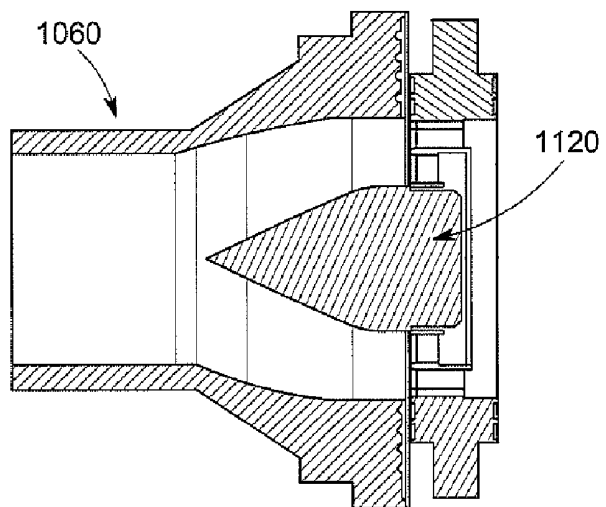
ФИГ. 9В



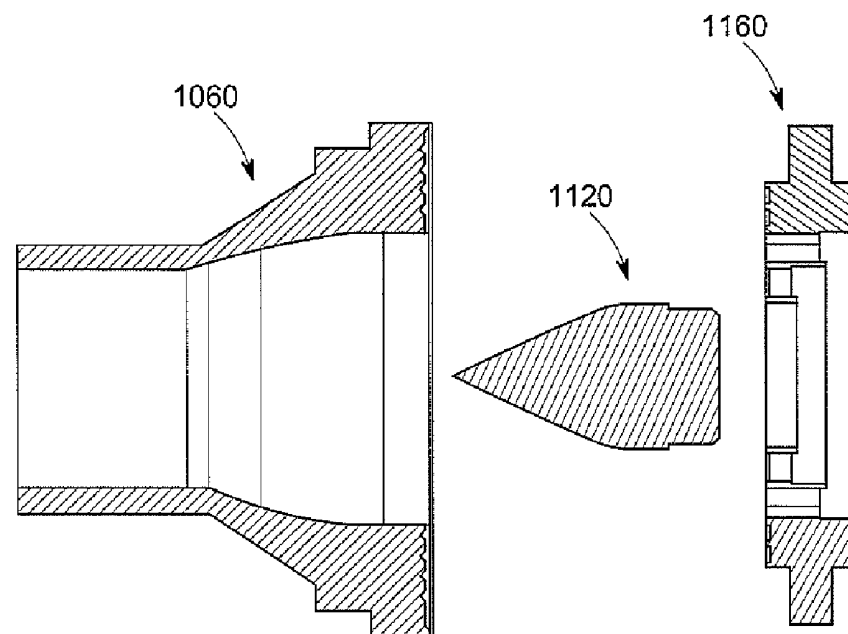
ФИГ. 9С



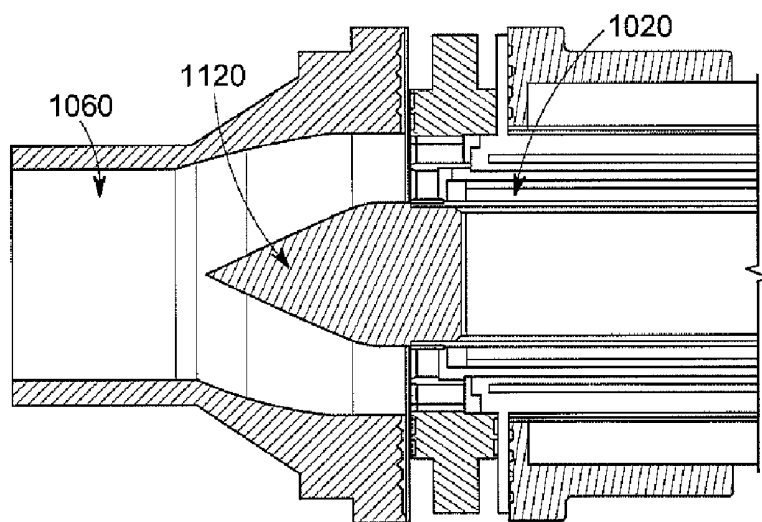
ФИГ. 9D



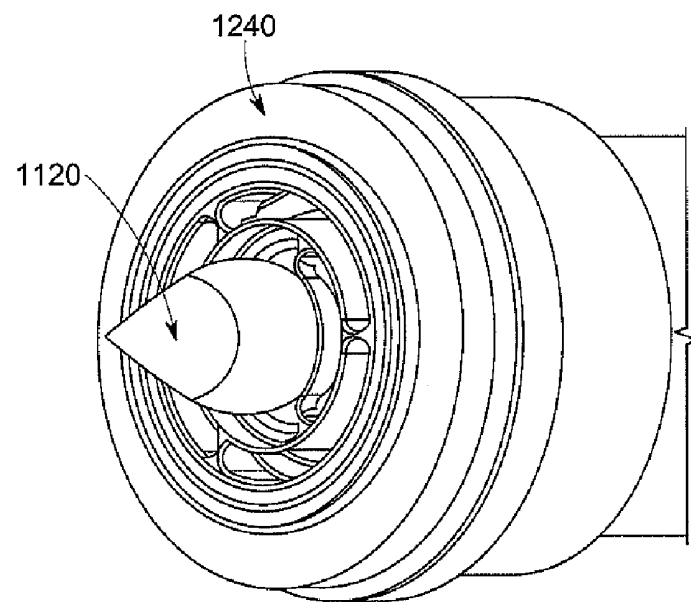
ФИГ. 10А



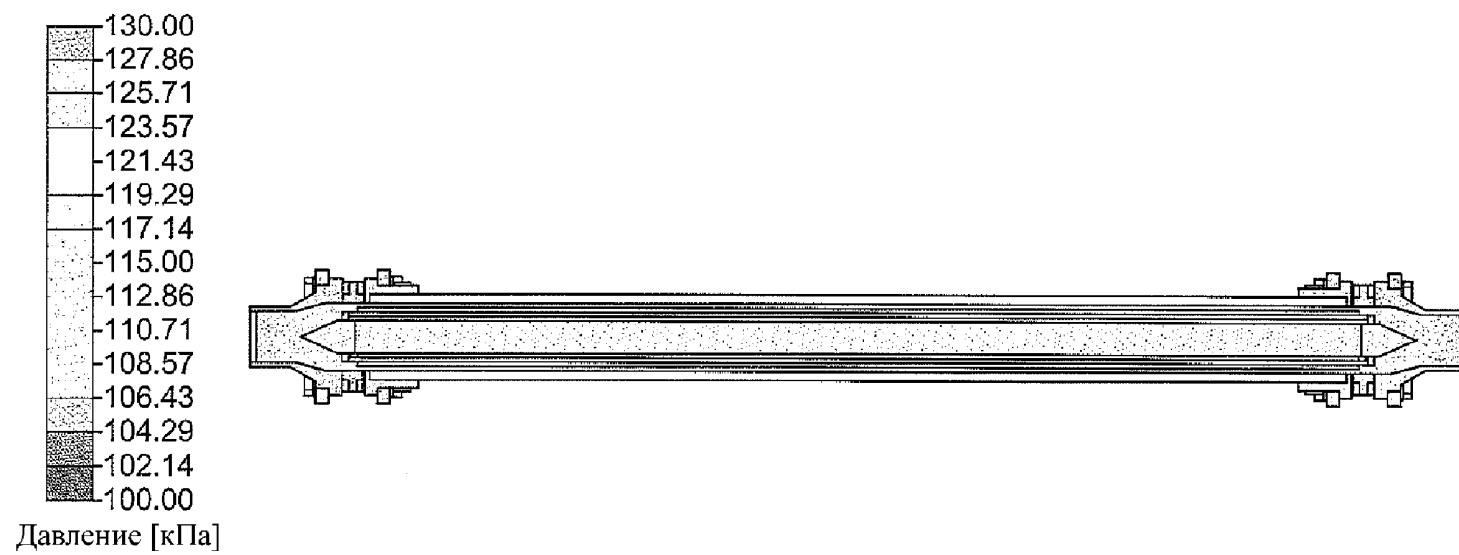
ФИГ. 10В



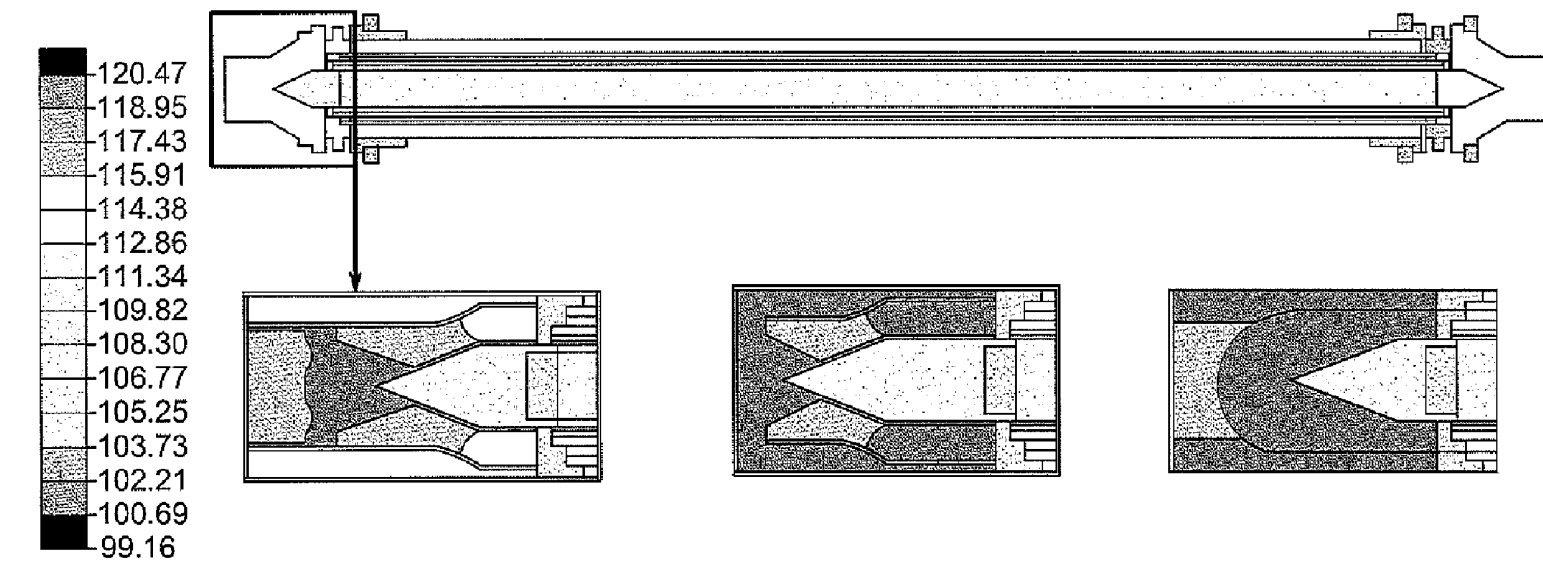
ФИГ. 11А



ФИГ. 11В



ФИГ. 12

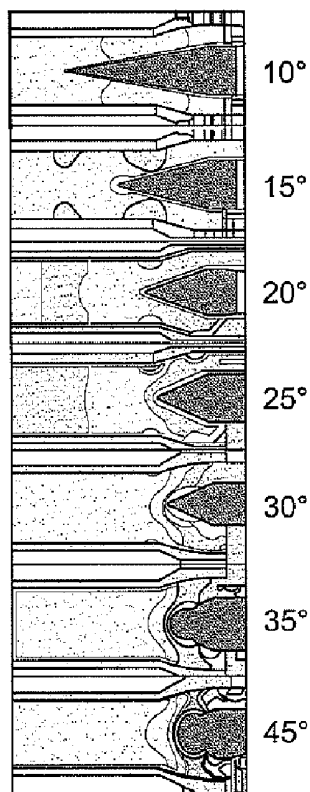


Давление [кПа]

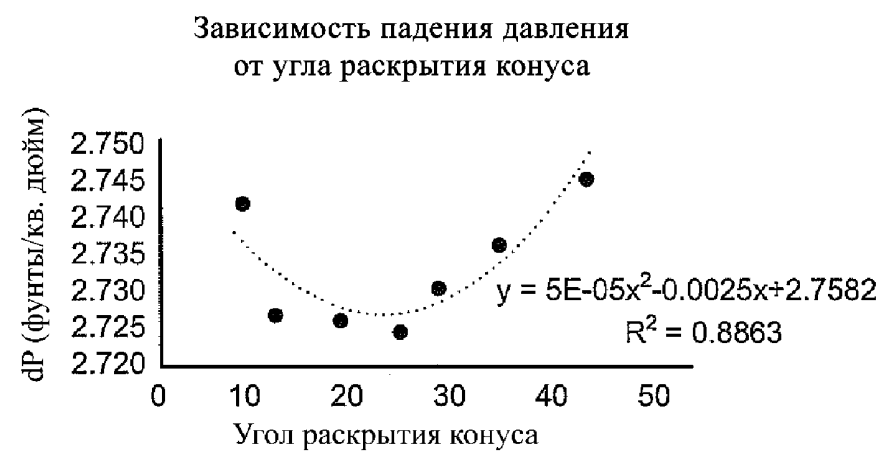
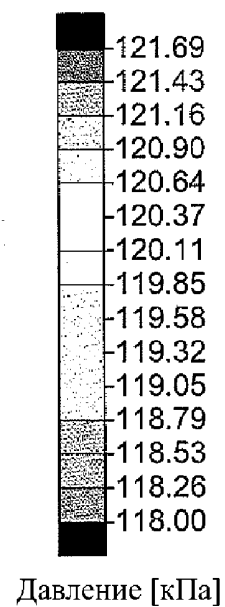
ФИГ. 13А

ФИГ. 13В

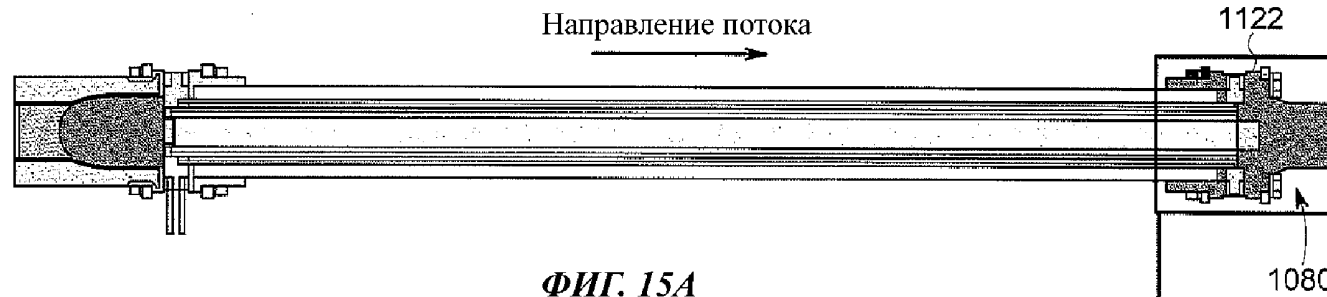
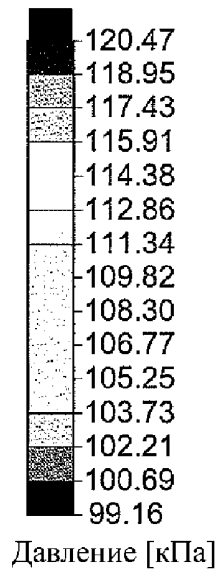
ФИГ. 13С



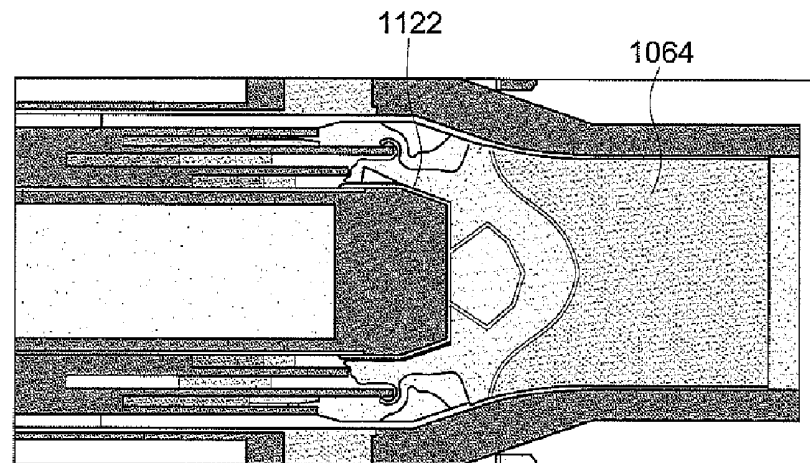
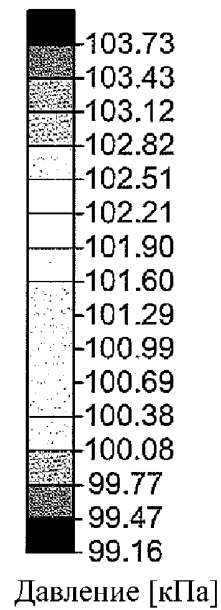
ФИГ. 14А



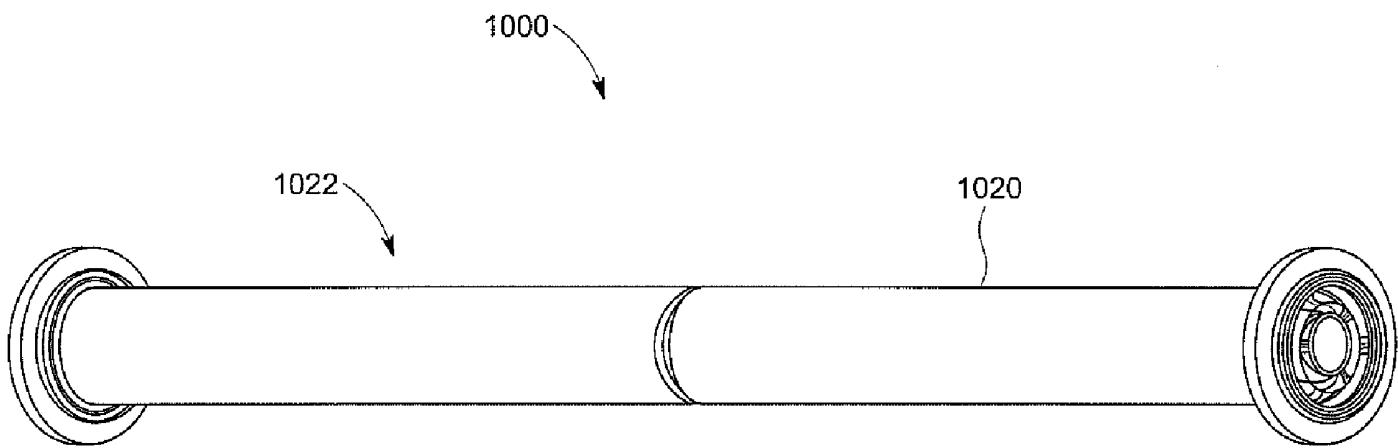
ФИГ. 14В



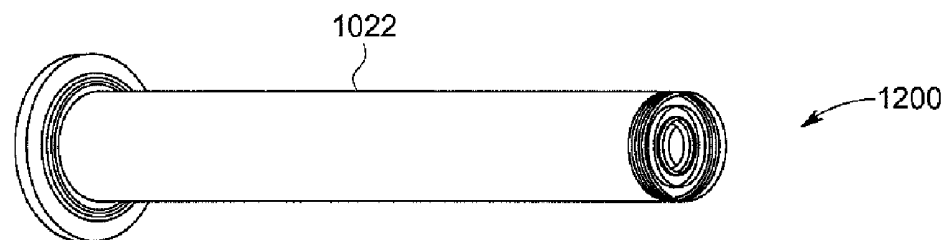
ФИГ. 15А



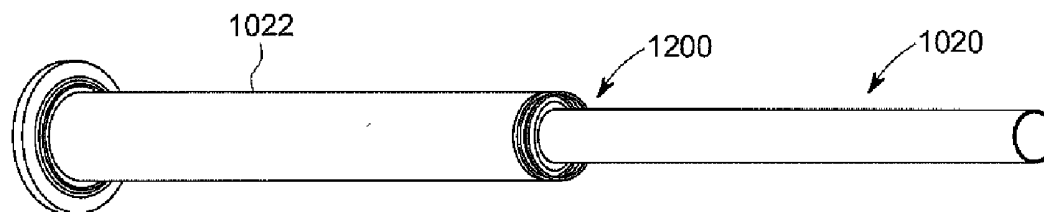
ФИГ. 15В



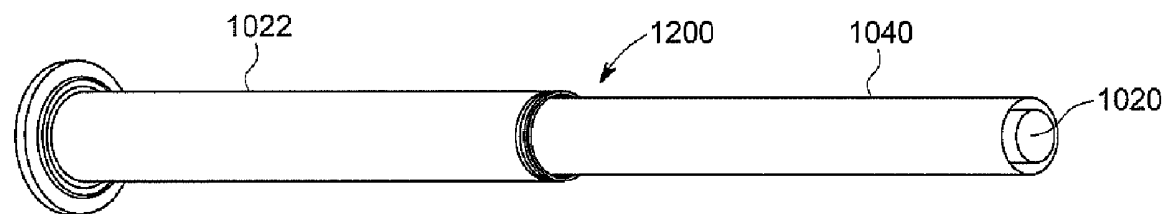
ФИГ. 16



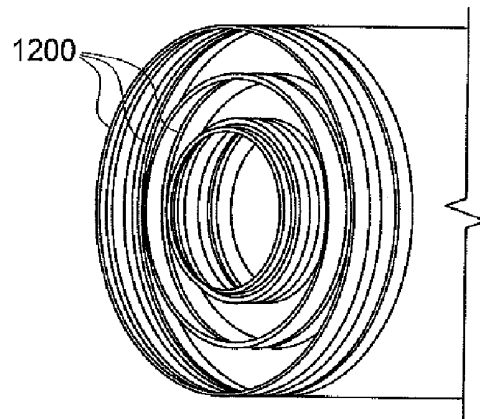
ФИГ. 17А



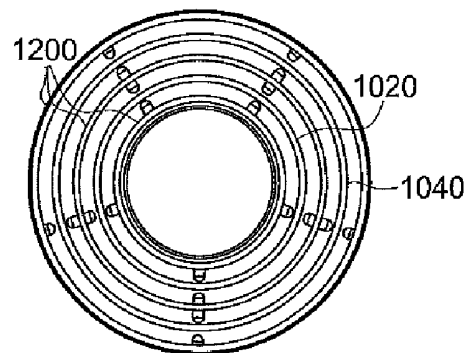
ФИГ. 17В



ФИГ. 17С

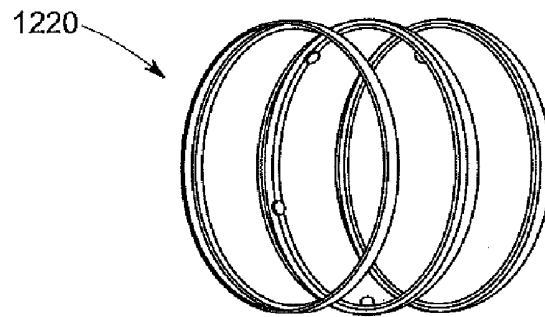
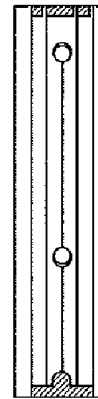


ФИГ. 18А

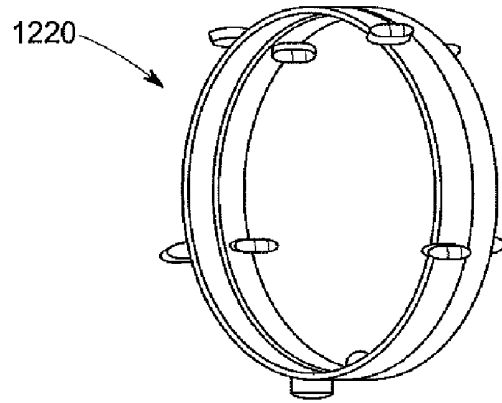


ФИГ. 18В

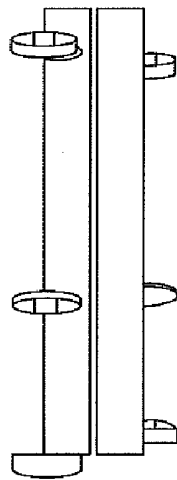
Replacement Drawing

**ФИГ. 19А****ФИГ. 19В****ФИГ. 19С**

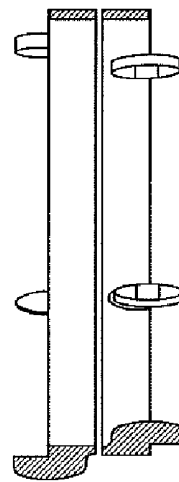
23
Replacement Drawing



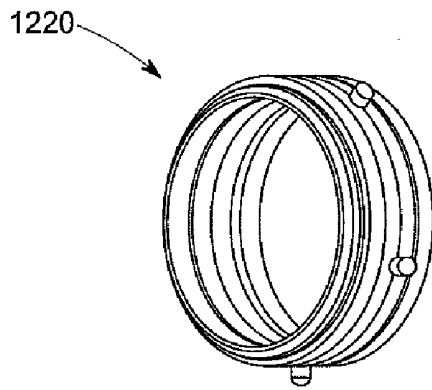
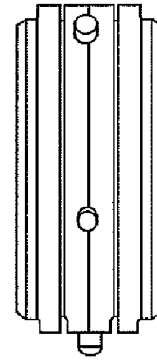
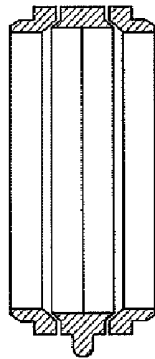
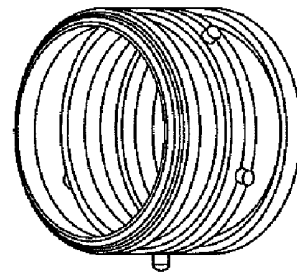
ФИГ. 20А

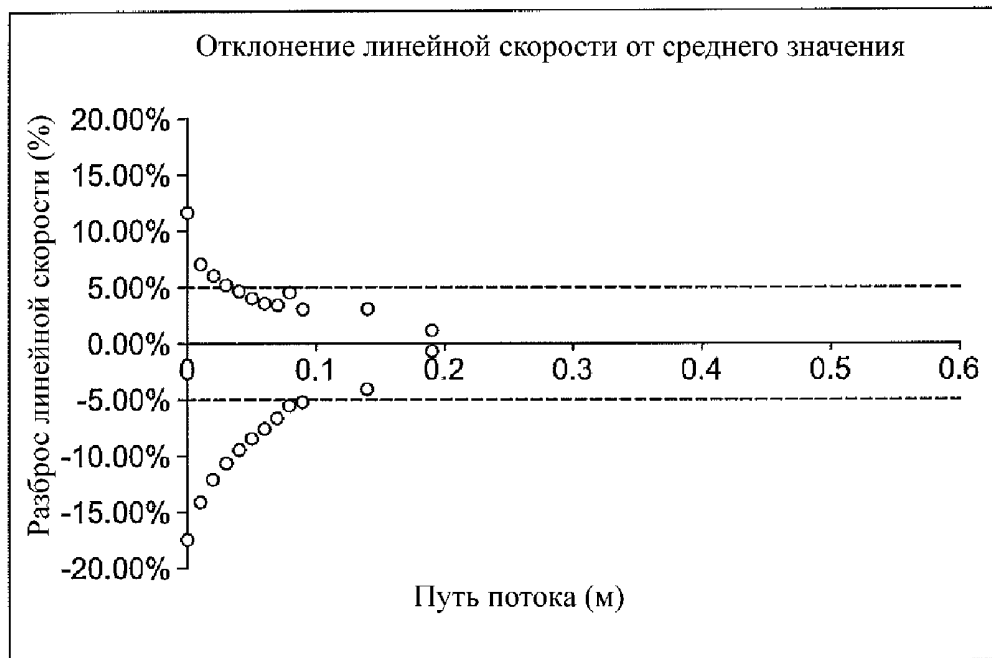


ФИГ. 20В

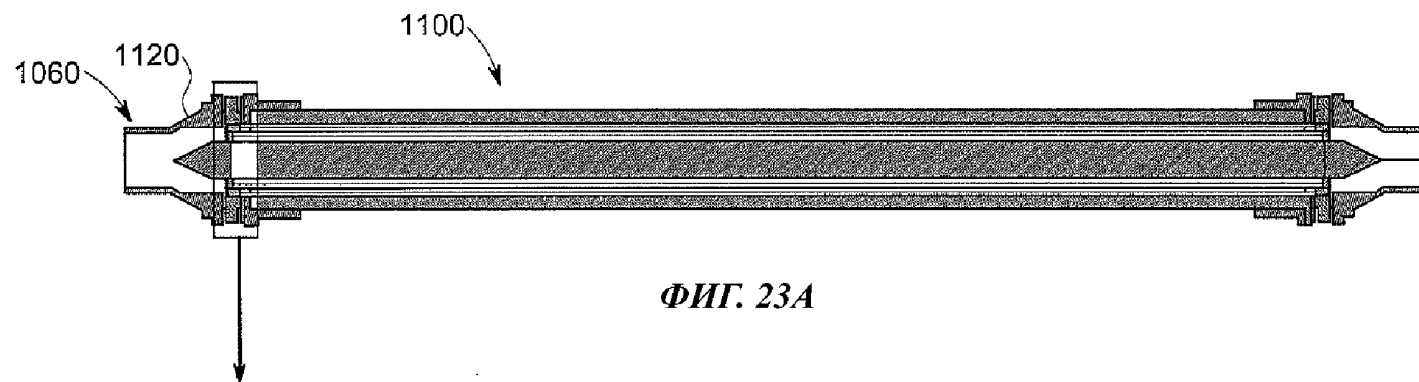


ФИГ. 20С

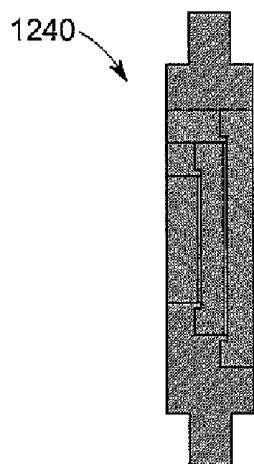
**ФИГ. 21А****ФИГ. 21В****ФИГ. 21С****ФИГ. 21D**



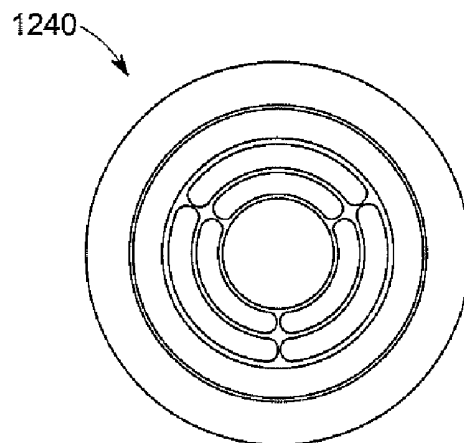
ФИГ. 22



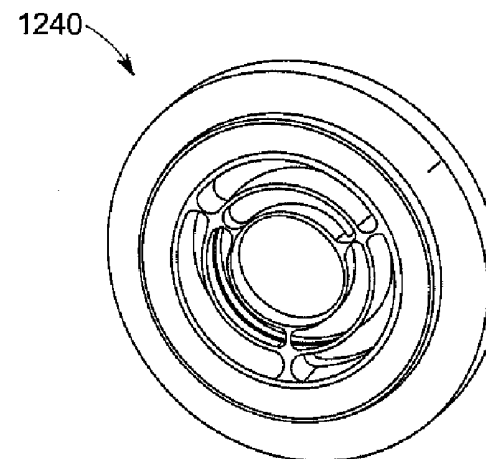
ФИГ. 23А



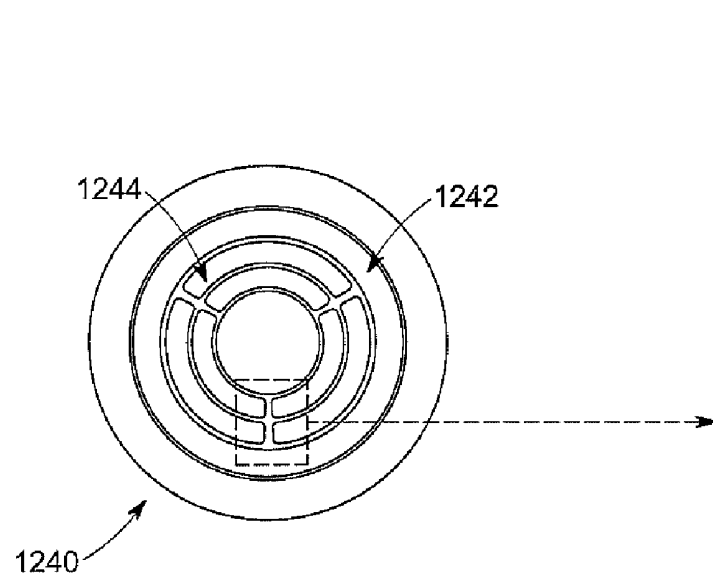
ФИГ. 23В



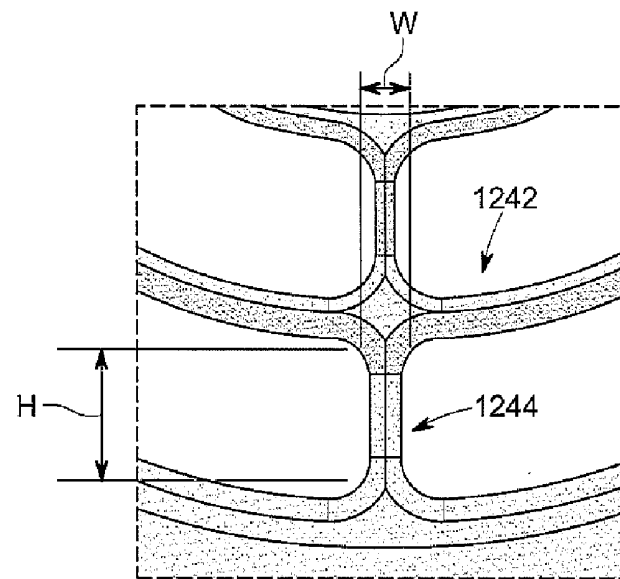
ФИГ. 23С



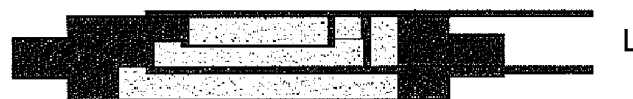
ФИГ. 23D



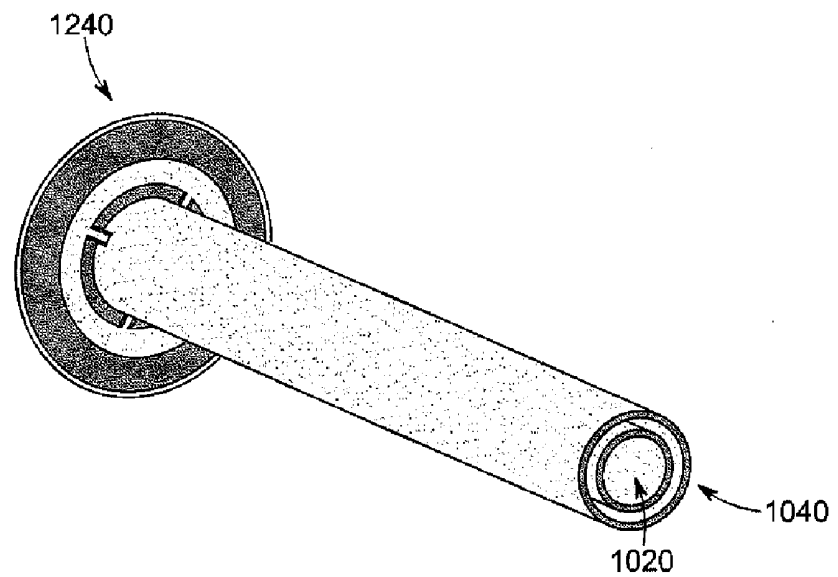
ФИГ. 24А



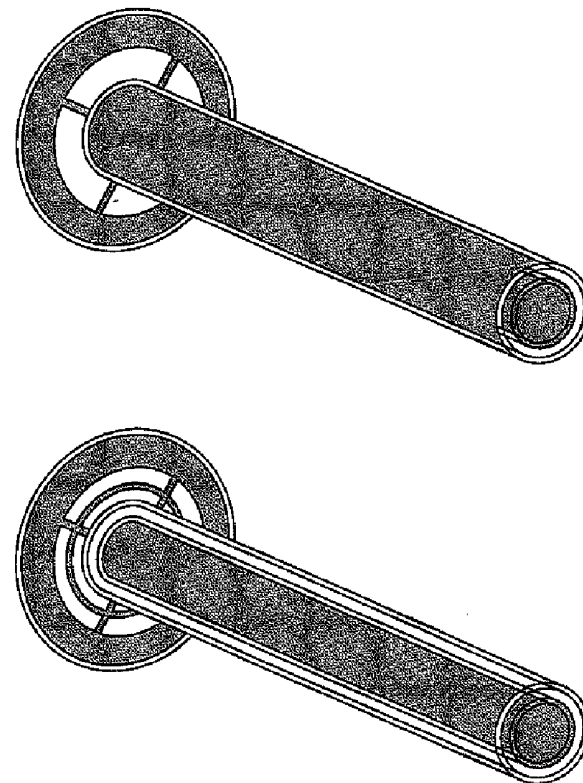
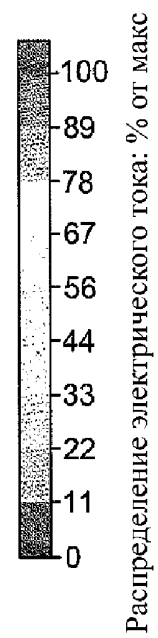
ФИГ. 24В



ФИГ. 24С

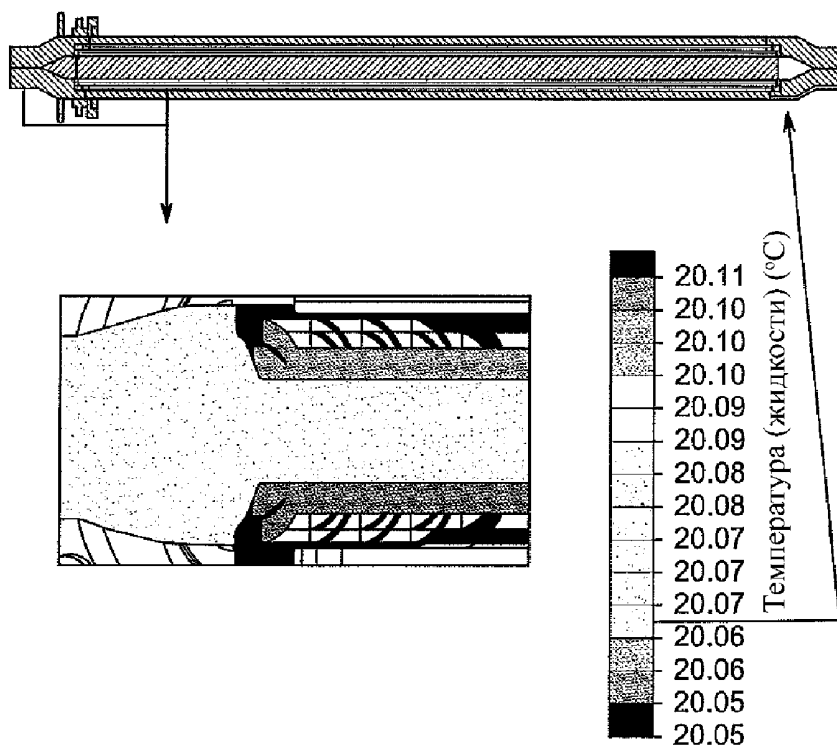


ФИГ. 25А

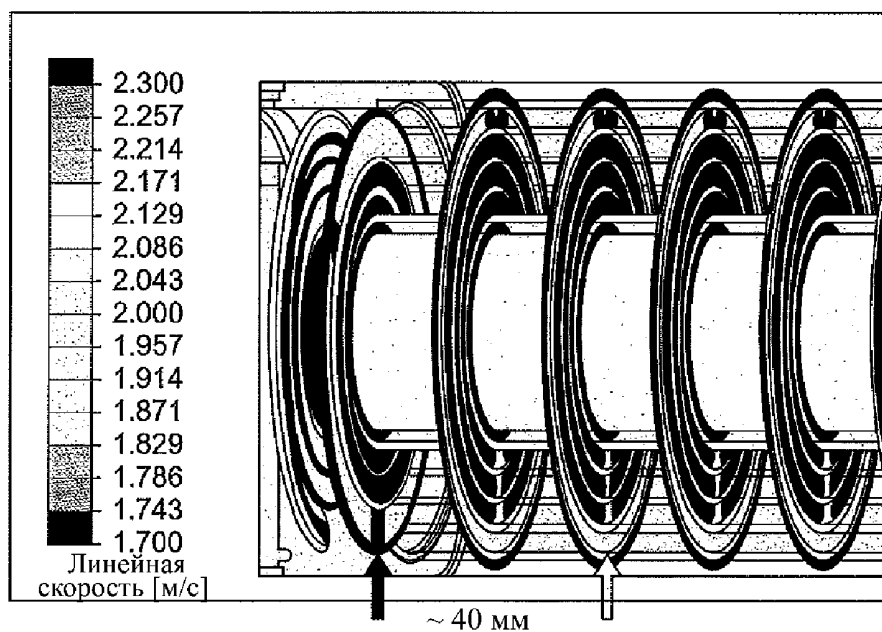


ФИГ. 25В

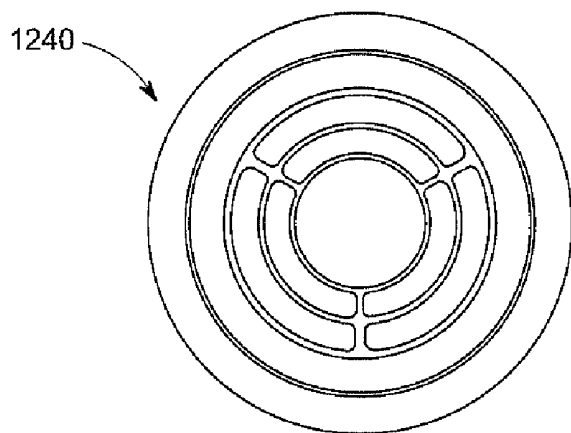
29
Replacement Drawing



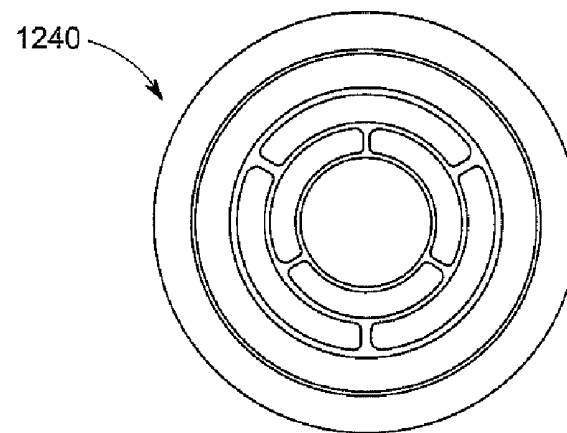
ФИГ. 25C



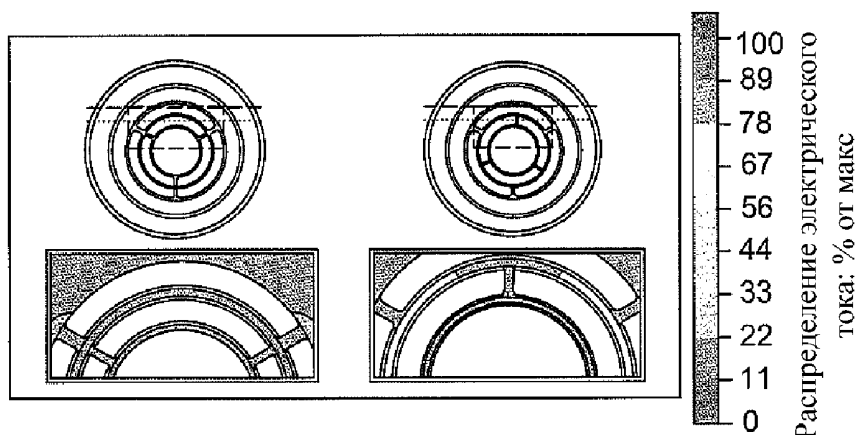
ФИГ. 25D



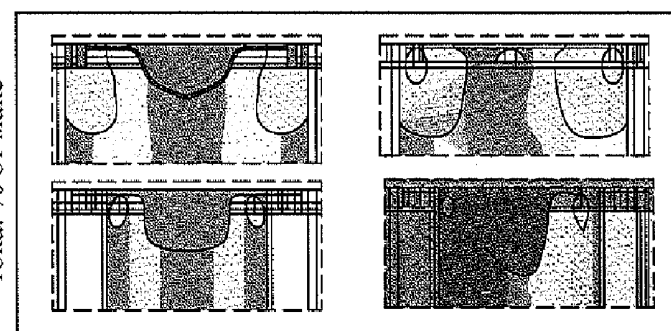
ФИГ. 26А



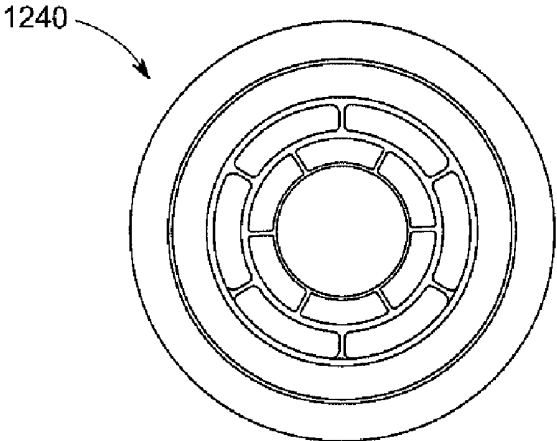
ФИГ. 26В



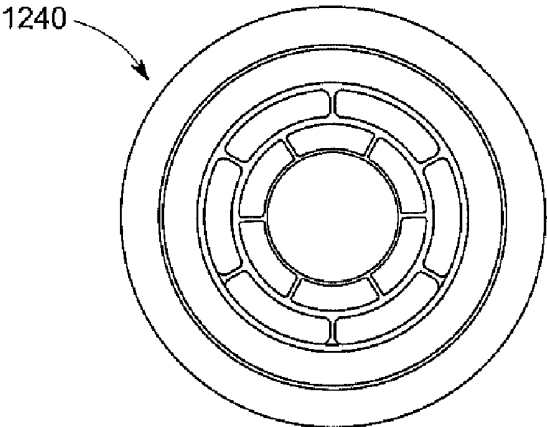
ФИГ. 26С



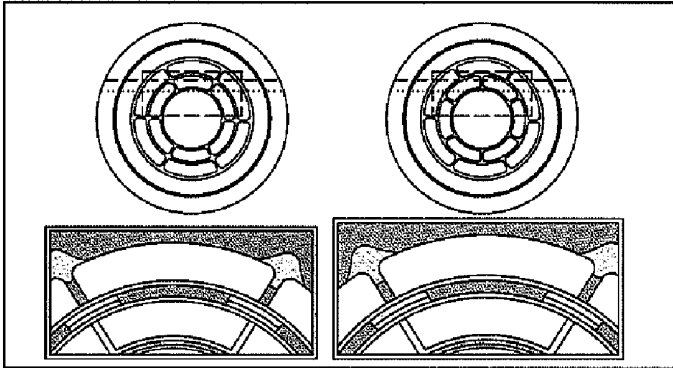
ФИГ. 26D



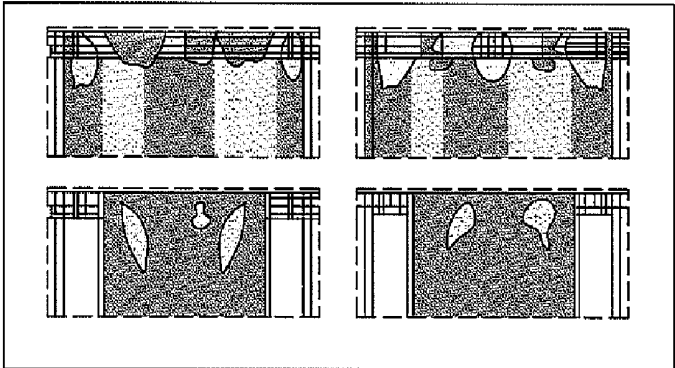
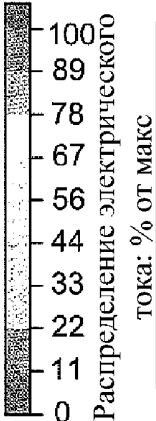
ФИГ. 27А



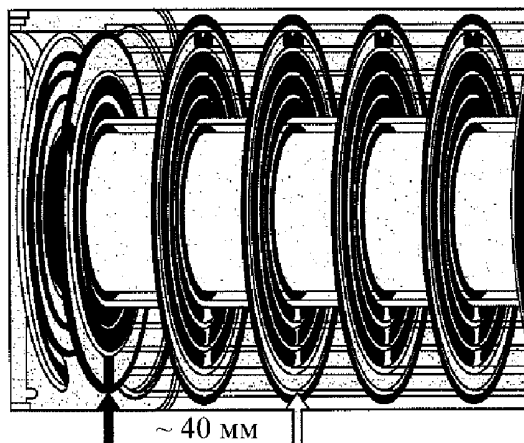
ФИГ. 27В



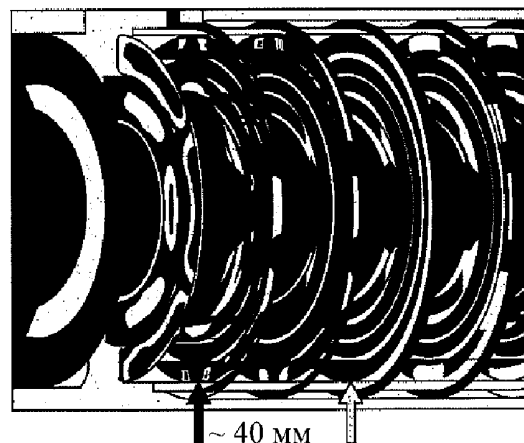
ФИГ. 27С



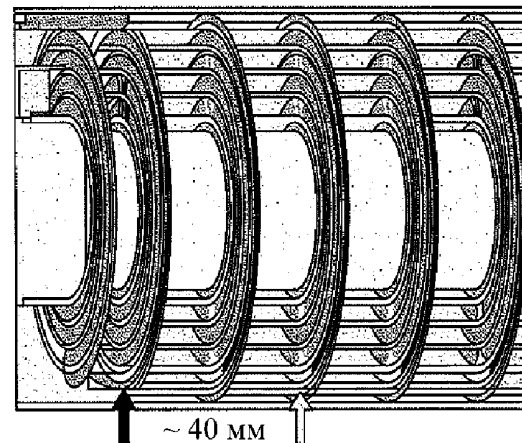
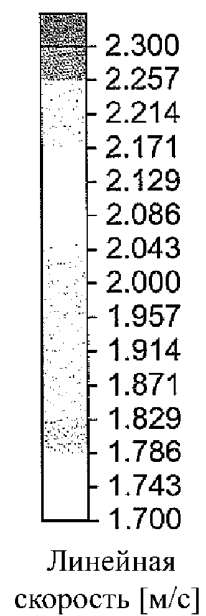
ФИГ. 27D



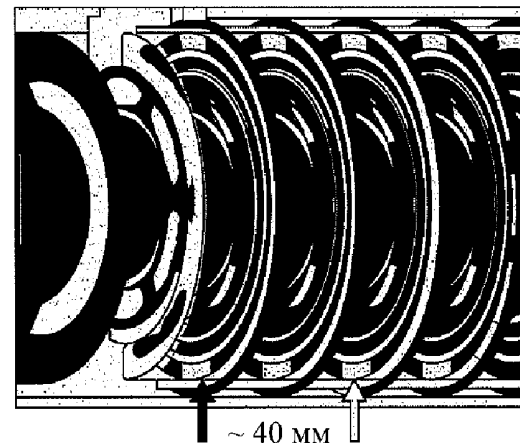
ФИГ. 28А



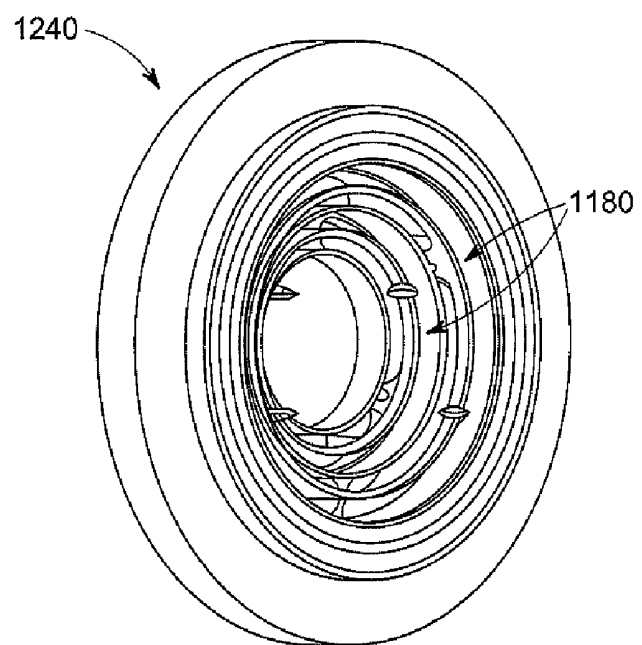
ФИГ. 28С



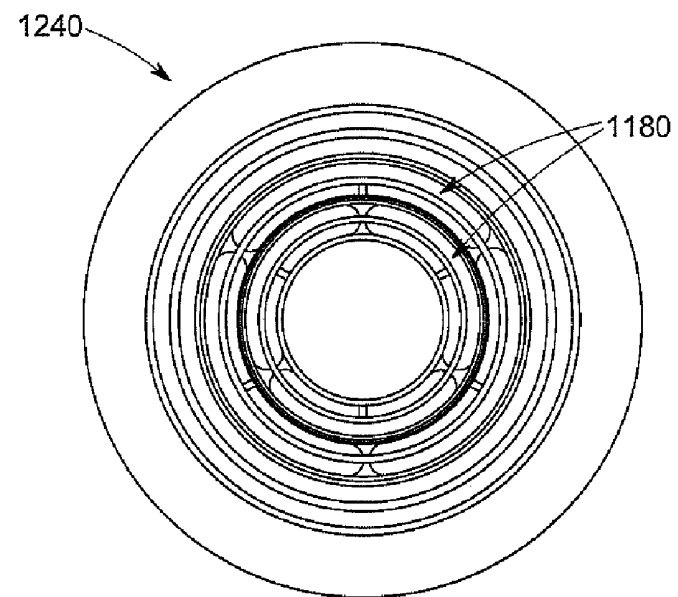
ФИГ. 28В



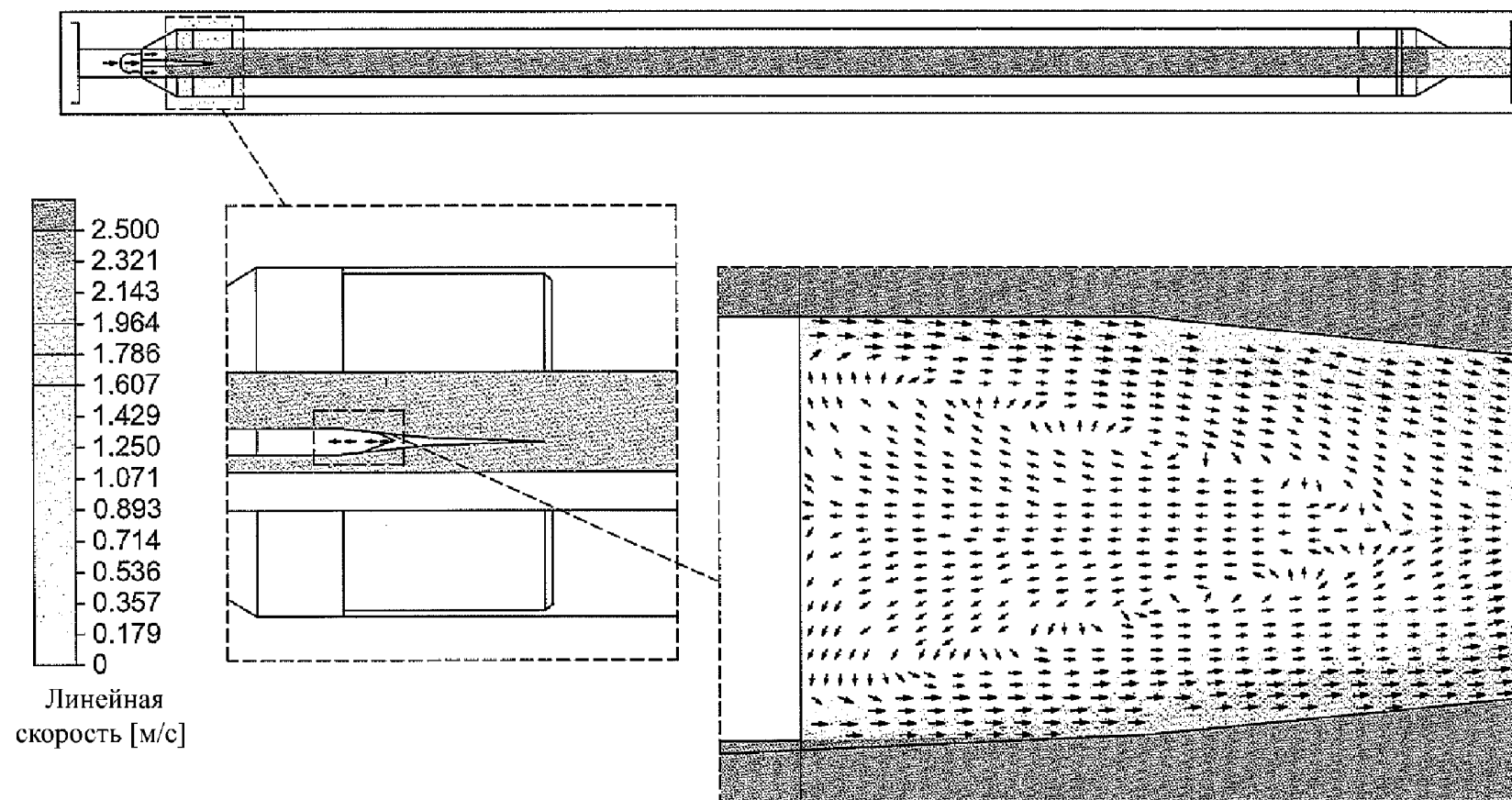
ФИГ. 28D



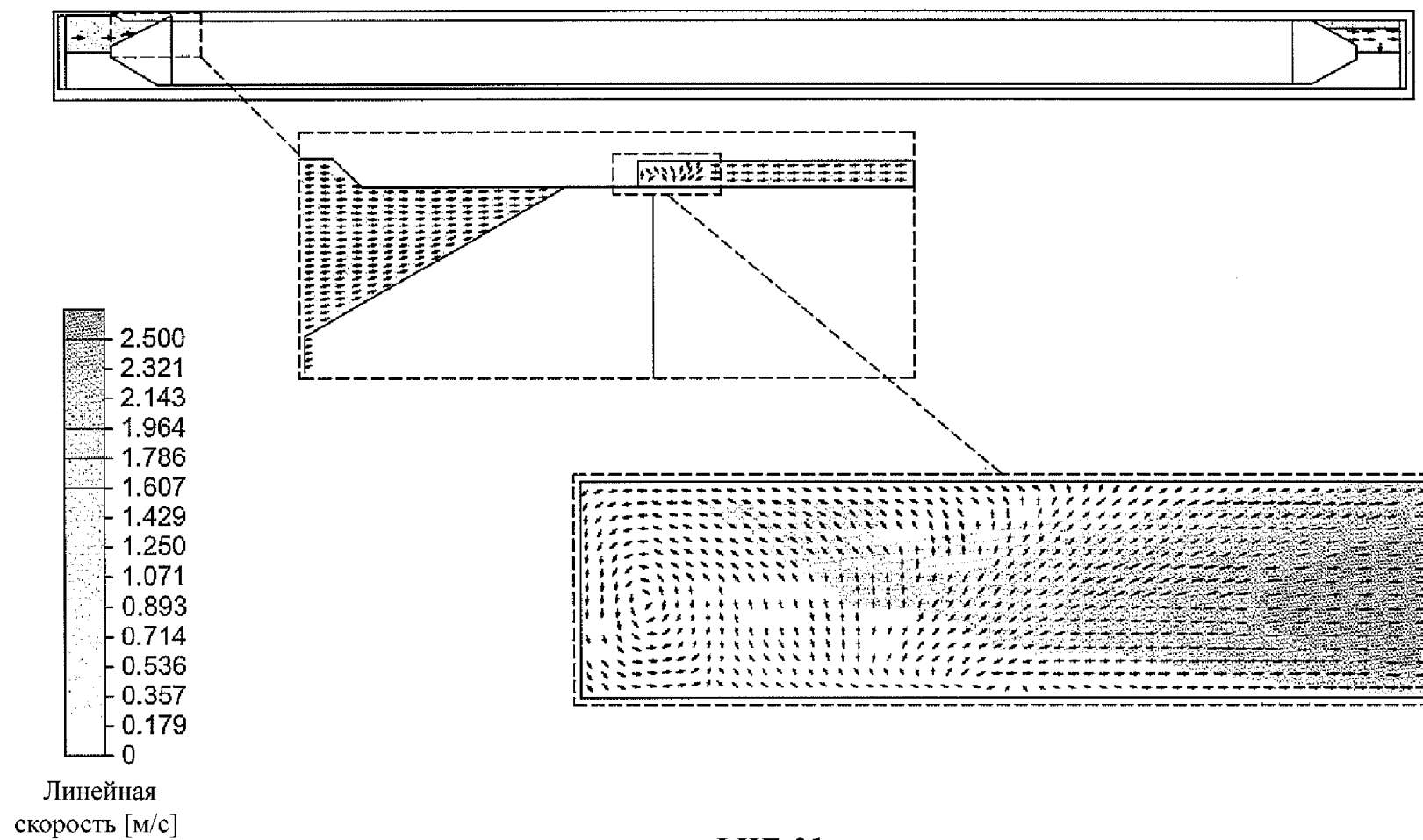
ФИГ. 29А

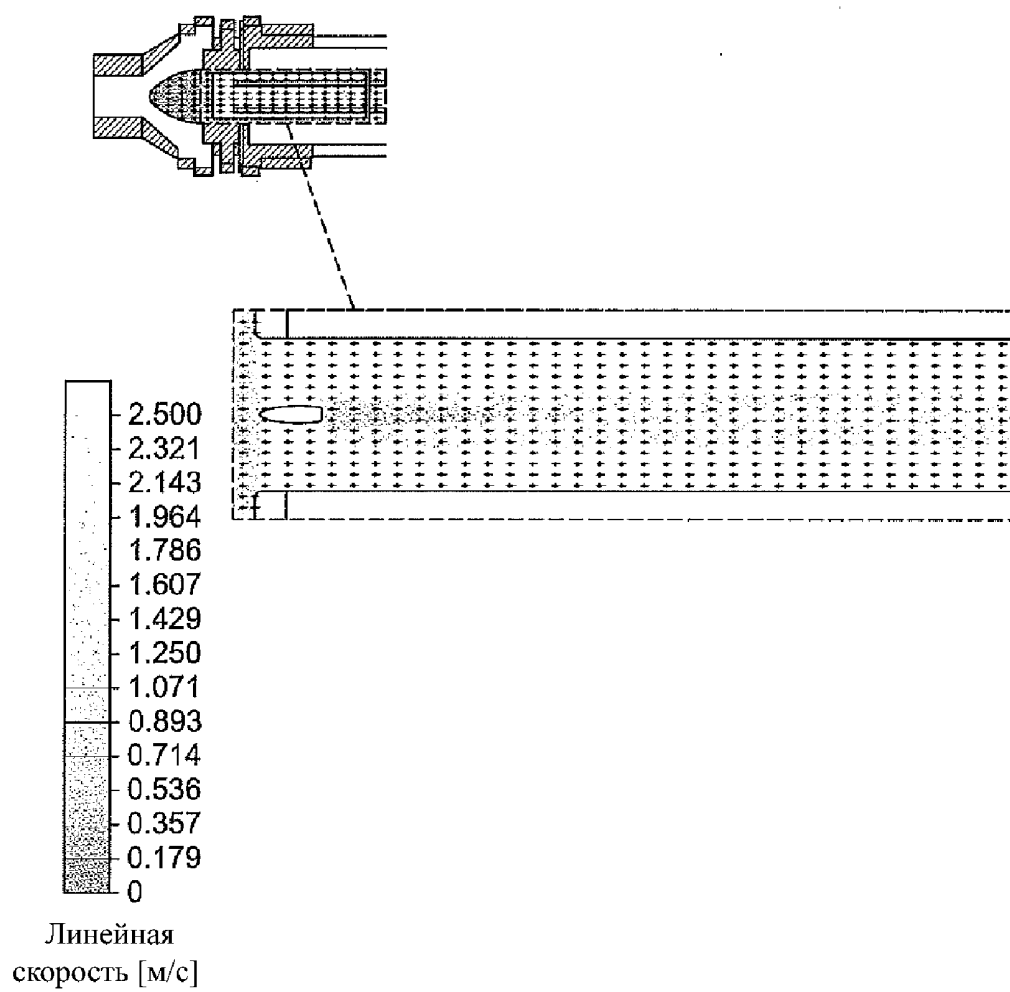


ФИГ. 29В



ФИГ. 30





ФИГ. 32