

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202091657** (13) **A1**

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

(43) Дата публикации заявки  
**2021.01.14**

(51) Int. Cl. **B01D 61/58** (2006.01)  
**C02F 1/44** (2006.01)  
**C02F 1/46** (2006.01)  
**C02F 1/469** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2019.02.27**

**(54) РЕГУЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

(31) **62/635,731**

(72) Изобретатель:

(32) **2018.02.27**

**Гриффис Джошуа, Дьюкс Саймон П.,  
Лян Ли-Шиан, Дэйл Даррен,  
Шо Майкл Дж., Бедоус Пол, Гу  
Джордж И. (US)**

(33) **US**

(86) **PCT/US2019/019796**

(87) **WO 2019/168955 2019.09.06**

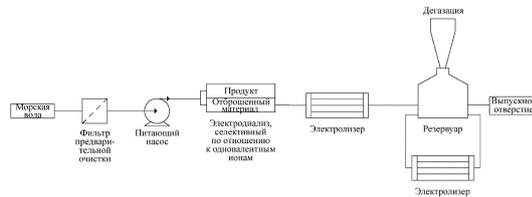
(71) Заявитель:

(74) Представитель:

**ЭВОКУА УОТЕР ТЕКНОЛОДЖИЗ  
ЛЛК (US)**

**Хмара М.В. (RU)**

(57) Система электрохлорирования включает электролизер, выполненный с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды и отверстием для выпуска получаемой текучей среды и размещенная между ними, и подсистему, сконструированную с возможностью выполнения одной из следующих операций: повышения pH подаваемой текучей среды или повышения отношения содержания одновалентных ионов к содержанию двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде, расположенную выше по потоку относительно электролизера.



**202091657**  
**A1**

**202091657**

**A1**

## РЕГУЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА

### ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

Согласно п. 35 U.S.C. §119(e) настоящая заявка претендует на приоритет  
5 предварительной патентной заявки US 62/635731, озаглавленной “REGULATION OF  
PROCESS STREAM COMPOSITION FOR IMPROVED  
ELECTROLYZER#PERFORMANCE (Регулирование состава технологического потока  
для повышения производительности электролизера)”, поданной 27 февраля 2018 г.,  
содержание которой полностью включено в настоящее описание посредством  
10 ссылки для всех целей.

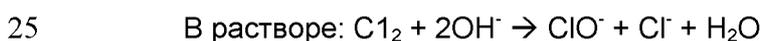
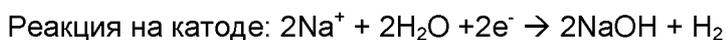
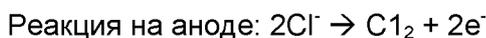
### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

В целом, рассмотренные в настоящей работе аспекты и примеры  
осуществления относятся к электрохимическим устройствам и, в частности, к  
ячейкам для электрохлорирования и устройствам, системам и способам, в которых  
15 их применяют.

### ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Электрохимические устройства, применяемые для получения раствора  
продукта из подаваемого потока в результате химических реакций на электродах,  
широко применяются в промышленности и коммунально-бытовых отраслях.  
20 Примеры таких реакций включают:

A1. Электрохлорирование с образованием гипохлорита натрия из хлорида  
натрия и воды:



$E_{\text{ox}}^0 = -1,36 \text{ В}$  (Образование хлора)

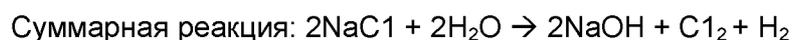
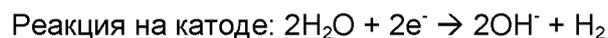
$E_{\text{red}}^0 = -0,83 \text{ В}$  (Образование водорода)

$E_{\text{ячейки}}^0 = -2,19 \text{ В}$

A2. Условия реакции осаждения:



5 В. Образование гидроксида натрия и хлора из хлорида натрия и воды, если анод и катод отделены друг от друга катионообменной мембраной:



10 С. Окислительно-восстановительная ванадиевая батарея для хранения энергии, в которой электроды разделены проницаемой для протонов мембраной:

При зарядке:



При разрядке:



В некоторых примерах осуществления устройства для электрохлорирования могут быть применены для получения гипохлорита натрия из хлорида натрия, содержащегося в морской воде.

## 20 СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Один из аспектов настоящего изобретения относится к электрохимической ячейке. Электрохимическая ячейка включает корпус, имеющий впускное отверстие, выпускное отверстие и центральную ось, а также пару анод-катод, расположенную внутри корпуса по существу концентрически относительно центральной оси и ограничивающую активную площадь между анодом и катодом пары анод-катод, где активная площадь поверхности по меньшей мере одного из электродов, включающих анод и катод, превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и пара анод-катод сконструирована и размещена с возможностью направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в осевом направлении через активную площадь.

30

В некоторых примерах осуществления общая плотность размещения электродов в электрохимической ячейке составляет по меньшей мере приблизительно  $2 \text{ мм}^{-1}$ .

5 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает центральный внутренний элемент, расположенный в электрохимической ячейке и сконструированный с возможностью блокировать течение текучей среды через часть электрохимической ячейки, расположенную вдоль центральной оси, причем центральный внутренний элемент не связан с по меньшей мере одним из электродов пары анод-катод.

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

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

В некоторых примерах осуществления по меньшей мере один из электродов, включающих анод и катод, представляет собой жесткий электрод. Как анод, так и катод может включать титановую пластину, и на поверхность анода может быть нанесено устойчивое к окислению покрытие, материал которого выбран из группы, состоящей из платины и смешанных оксидов металлов. Как анод, так и катод может включать один или более следующих металлов: титан, никель и алюминий. На поверхность анода может быть нанесено устойчивое к окислению покрытие, материал которого выбран из группы, состоящей из платины, смешанных оксидов металлов, магнетита, феррита, кобальтовой шпинели, тантала, палладия, иридия, золота и серебра. По меньшей мере один из электродов, включающих анод и катод, может быть проницаем для текучей среды и/или может включать перфорированную титановую пластину.

20

25

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает разделитель, сконструированный с возможностью создавать зазор между анодом и катодом, причем разделитель способен пропускать раствор электролита через активную площадь. Разделитель может включать втулку, имеющую спицы с пазами которые взаимодействуют с краями по меньшей мере одного из электродов, включающих анод и катод. Втулка может дополнительно

30

включать электрический разъем, сконструированный с возможностью образования электрического соединения между одним из электродов, включающих анод и катод, и источником электрического тока.

5 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает втулку, включающую спицы, находящиеся в электрическом контакте с одним из электродов, включающих анод и катод. Спицы могут иметь пазы, которые взаимодействуют с краями одного из электродов, включающих анод и катод, и сохраняют зазор между витками спирально навитой пары анод-катод.

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

15 В некоторых примерах осуществления пара анод-катод включает совокупность концентрических трубчатых электродов и зазоров, расположенных между соседними трубчатыми электродами. Совокупность концентрических трубчатых электродов может включать одну из следующих совокупностей: совокупность трубчатых анодов (анодных электродов) и совокупность трубчатых катодов (катодных электродов). Одна из следующих совокупностей: совокупность трубчатых анодов и совокупность трубчатых катодов может состоять из жестких электродов.

20 В некоторых примерах осуществления совокупность концентрических трубчатых электродов включает совокупность трубчатых анодов и совокупность трубчатых катодов.

25 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка сконструирована с возможностью пропускать электрический ток (прямой (постоянный) ток и/или переменный ток) через раствор электролита от трубчатого анода к трубчатому катоду за один проход.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает биполярный трубчатый электрод, расположенный между трубчатым анодом и трубчатым катодом.

30 В некоторых примерах осуществления трубчатый анод смещен в боковом направлении по длине электрохимической ячейки относительно трубчатого катода, имеющего такой же диаметр, что и трубчатый анод. Электрохимическая ячейка

может включать трубчатый электрод, включающий анодную половину и катодную половину.

5 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает совокупность биполярных трубчатых электродов, расположенных между соответствующими концентрически расположенными соседними парами трубчатых анодов и трубчатых катодов.

В некоторых примерах осуществления по меньшей мере одна из совокупности трубчатых анодов и совокупности трубчатых катодов перфорирована и/или проницаема для текучей среды.

10 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает по меньшей мере один разделитель, расположенный между соседними трубчатыми электродами, где по меньшей мере один разделитель сконструирован с возможностью ограничивать и поддерживать зазор между соседними трубчатыми электродами. Разделитель может пропускать поток раствора  
15 электролита через зазор, образованный между соседними трубчатыми электродами.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка дополнительно включает металлическую втулку, включающую спицы, соединенные  
20 электрическим соединением с краями совокупности концентрических трубчатых электродов. Каждая спица может включать пазы, которые взаимодействуют с краями совокупности концентрических трубчатых электродов, поддерживая зазоры между соседними трубчатыми электродами в совокупности концентрических трубчатых электродов.

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

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка имеет скругленное поперечное сечение.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка  
30 дополнительно включает электрический разъем, соединенный электрическим соединением с одним из электродов, включающих анод и катод, где электрический разъем включает по меньшей мере два материала, имеющие различные величины

сопротивления к химической атаке раствором электролита. По меньшей мере два материала могут включать первый материал и второй материал, и электрический разъем может включать проницаемую для текучей среды деталь, изготовленную из первого материала. Проницаемая для текучей среды деталь может включать

5 совокупность отверстий.

В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или деталь из второго материала, соединенную с проницаемой для текучей среды деталью, полученной из первого материала, с помощью одного или более механических крепежных элементов.

10 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или деталь из второго материала, соединенную с проницаемой для текучей среды деталью, полученной из первого материала, посредством посадки с натягом.

15 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает пластину или деталь из второго материала, соединенную с проницаемой для текучей среды деталью, полученной из первого материала, с помощью резьбы, изготовленной на крае проницаемой для текучей среды детали, полученной из первого материала.

20 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает деталь, полученную из второго материала, соединенную с проницаемой для текучей среды деталью, полученной из первого материала, резьбой, образованной на цилиндрической части детали, полученной из второго материала.

25 В некоторых примерах осуществления электрохимическая ячейка включает деталь, полученную из второго материала, приваренную к детали, полученной из первого материала.

Другой аспект относится к системе, включающей электрохимическую ячейку. Электрохимическая ячейка включает корпус, имеющий впускное отверстие, выпускное отверстие и центральную ось и пару анод-катод, расположенную внутри корпуса по существу концентрически относительно центральной оси и

30 ограничивающую активную площадь между анодом и катодом пары анод-катод, где активная площадь поверхности по меньшей мере одного из электродов, включающих анод и катод, превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и пара анод-катод сконструирована и размещена с возможностью направлять всю

текущую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку, в осевом направлении через активную площадь. Система дополнительно включает источник электролита, находящийся в гидравлическом взаимодействии с электрохимической ячейкой. Электрохимическая ячейка сконструирована с возможностью генерировать из электролита, направляемого из источника электролита, один или более продуктов реакции и выпускать один или более продуктов реакции. Система дополнительно включает участок применения одного или более продуктов реакции, генерируемых электрохимической ячейкой. Один или более продуктов реакции могут включать дезинфицирующее средство. Дезинфицирующее средство может включать гипохлорит натрия или по существу состоять из гипохлорита натрия.

В некоторых примерах осуществления источник электролита включает одно из следующих веществ: солевой раствор (концентрированный раствор солей, рассол) или морскую воду.

В некоторых примерах осуществления система установлена либо на корабле, либо на нефтяной платформе.

В некоторых примерах осуществления участок применения включает одну из следующих систем: систему охлаждения водой или балластный резервуар.

В некоторых примерах осуществления система установлена в наземной нефтедобывающей системе, причем участок применения представляет собой глубинную часть скважины нефтедобывающей системы.

Другой аспект относится к электрохимической ячейке. Электрохимическая ячейка включает расположенные в корпусе катод и анод, между которыми ограничен зазор, причем как катод, так и анод включают дуговидно изогнутые части; активная площадь поверхности анода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и активная площадь поверхности катода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и при этом катод и анод сконструированы с возможностью и размещены с возможностью направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку в осевом направлении через зазор.

В некоторых примерах осуществления анод включает совокупность пластин, размещенных в направлении от дуговидно изогнутого основания, и катод включает совокупность пластин, размещенных в направлении от дуговидно изогнутого основания, причем совокупность пластин анода находится в чередовании с совокупностью пластин катода.

Другой аспект относится к электрохимической ячейке. Электрохимическая ячейка включает расположенные в корпусе катод и анод, между которыми ограничен зазор, причем как катод, так и анод включают часть, соответствующую по форме соответственным частям внутренней поверхности корпуса; активная  
5 площадь поверхности анода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и активная площадь поверхности катода превышает площадь внутренней поверхности корпуса, и при этом катод и анод сконструированы с возможностью и размещены с возможностью направлять всю текучую среду, пропускаемую через электрохимическую ячейку в осевом направлении через зазор. По меньшей мере  
10 один из электродов, включающих анод и катод, может включать профилированную часть.

Другой аспект относится к системе электрохлорирования. Система включает электролизер, который выполнен с возможностью гидравлического соединения между источником подаваемой текучей среды и выпуском для получаемой текучей  
15 среды, и подсистему, сконструированную с возможностью выполнения одной из следующих операций: повышения рН подаваемой текучей среды или повышения отношения содержания одновалентных ионов к содержанию двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде, где подсистема расположена выше по потоку относительно электролизера.

В некоторых примерах осуществления подсистема включает нанофильтрационную установку, имеющую впускное отверстие, выполненное с  
20 возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, где установка сконструирована с возможностью разделения подаваемой текучей среды на ретентат и пермеат (фильтрат), где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов,  
25 чем пермеат, и установка имеет выпускное отверстие для пермеата, сконструированное с возможностью подачи пермеата во впускное отверстие электролизера.

В некоторых примерах осуществления нанофильтрационная установка сконструирована с возможностью получения пермеата, в котором концентрация  
30 одновалентных ионов на величину от 2% до 10% ниже концентрации одновалентных ионов в подаваемой текучей среде.

В некоторых примерах осуществления нанофильтрационная установка сконструирована с возможностью получения пермеата, в котором концентрация

двухвалентных ионов на величину от 50% до 90% ниже концентрации двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде.

В некоторых примерах осуществления подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, где установка электродиализа включает одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и выпускное отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии с впускным отверстием электролизера. Установка электродиализа может быть сконструирована таким образом, что она способна разделять подаваемую текучую среду на поток разбавленного раствора и поток концентрата и переносить преимущественно одновалентные ионы из потока разбавленного раствора в поток концентрата. Установка электродиализа может быть сконструирована таким образом, что ее функционирование приводит к повышению концентрации одновалентных ионов в потоке концентрата на величину от 3% до 400% по сравнению с подаваемой жидкостью.

В некоторых примерах осуществления подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, а установка электродиализа включает одну или более биполярных мембран и имеет выпускное отверстие, сконструированное с возможностью направлять поток текучей среды, имеющий повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, во впускное отверстие электролизера.

В некоторых примерах осуществления подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, где установка электродиализа включает одну или более биполярных мембран и выпускное отверстие, сконструированное с возможностью направлять поток текучей среды, имеющий повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, во впускное отверстие наночисточной установки, расположенной выше по потоку относительно электролизера. Наночисточная установка может быть сконструирована с возможностью разделения потока текучей среды на ретентат и пермеат, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем пермеат, и

нанофильтрационная установка включает выпускное отверстие для пермеата, сконструированное с возможностью подачи пермеата во впускное отверстие электролизера.

5 В некоторых примерах осуществления подсистема включает нанофильтрационную установку, имеющую впускное отверстие, выполненное с  
возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей  
среды, и выпускное отверстие, находящееся в гидравлическом взаимодействии с  
установкой электродиализа, где установка электродиализа включает одну или  
10 более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и выпускное  
отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии  
с впускным отверстием электролизера. Система может дополнительно включать  
установку для насыщения кислородом, находящуюся в гидравлическом  
взаимодействии с установкой электродиализа и электролизером и расположенную  
15 между ними, сконструированную с возможностью подачи кислорода в поток  
концентрата до введения потока концентрата во впускное отверстие электролизера.

В некоторых примерах осуществления подсистема включает установку  
электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью  
гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, одну или  
20 более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, выпускное  
отверстие для потока разбавленного раствора, находящееся в гидравлическом  
взаимодействии с впускным отверстием нанофильтрационной установки, впускное  
отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии  
с выпускным отверстием для пермеата нанофильтрационной установки, и  
25 выпускное отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом  
взаимодействии с впускным отверстием электролизера.

Другой аспект относится к способу функционирования системы  
электрохлорирования. Способ включает функционирование подсистемы,  
находящейся в гидравлическом взаимодействии с источником подаваемой текучей  
среды и электролизером и расположенной между ними, где функционирование  
30 включает выполнение одной из следующих операций: повышения pH подаваемой  
текучей среды или повышения отношения содержания одновалентных ионов к  
содержанию двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде, что приводит к  
получению модифицированной подаваемой текучей среды и введению  
модифицированной подаваемой текучей среды в электролизер.

В некоторых примерах осуществления функционирования подсистемы включает разделение подаваемой текучей среды в нанофильтрационной установке на ретентат и пермеат, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем пермеат. Способ  
5 может включать получение пермеата, в котором концентрация одновалентных ионов на величину от 2% до 10% ниже концентрации одновалентных ионов в подаваемой текучей среде. Способ может включать получение пермеата, в котором концентрация двухвалентных ионов на величину от 50% до 90% ниже концентрации двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде.

10 В некоторых примерах осуществления функционирования подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более мембран, селективных по отношению к  
15 одновалентным ионам. Способ может включать разделение подаваемой текучей среды на поток разбавленного раствора и поток концентрата и преимущественное перемещение одновалентных ионов из потока разбавленного раствора в поток концентрата в установке электродиализа. Концентрация одновалентных ионов в потоке концентрата по сравнению с подаваемой жидкостью повышается на величину, составляющую от 3% до 400%.

В некоторых примерах осуществления функционирования подсистемы  
20 включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более биполярных мембран, и подачу потока текучей среды, имеющей повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, из выпускного отверстия установки электродиализа во впускное отверстие электролизера.

25 В некоторых примерах осуществления функционирования подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более биполярных мембран, и подачу потока текучей среды, имеющей повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, из  
30 выпускного отверстия установки электродиализа во впускное отверстие нанофильтрационной установки, расположенной выше по потоку относительно электролизера. Способ может дополнительно включать разделение потока текучей среды на ретентат и пермеат с помощью нанофильтрационной установки, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к

содержанию одновалентных ионов, чем пермеат, и подачу пермеата во впускное отверстие электролизера.

В некоторых примерах осуществления функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в нанофильтрационной установке, выпускное отверстие которой находится в гидравлическом взаимодействии с установкой электродиализа, где установка электродиализа включает одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и подачу потока концентрата из установки электродиализа во впускное отверстие электролизера. Способ может дополнительно включать добавление кислорода в поток концентрата до введения потока концентрата во впускное отверстие электролизера.

В некоторых примерах осуществления функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, подачу потока разбавленного раствора из установки электродиализа во впускное отверстие нанофильтрационной установки, подачу пермеата, извлекаемого из нанофильтрационной установки, во впускное отверстие для потока концентрата, имеющегося в установке электродиализа, и подачу потока концентрата из установки электродиализа во впускное отверстие электролизера.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Сопроводительные графические материалы не обязательно приведены в масштабе. Все идентичные или практически идентичные компоненты, изображенные на различных графических материалах, обозначены аналогичными числовыми обозначениями. Для ясности не каждый компонент может быть обозначен на каждом из графических материалов. В графических материалах:

На Фиг. 1А представлено перспективное изображение одного из примеров осуществления ячейки электролизера, включающей совокупность концентрических трубчатых электродов;

На Фиг. 1В представлен вид сбоку ячейки электролизера с концентрическими трубчатыми электродами, представленной на Фиг. 1А;

На Фиг. 1С представлен вид поперечного сечения ячейки электролизера с концентрическими трубчатыми электродами, представленной на Фиг. 1А;

На Фиг. 2 представлена система электролизера, включающая 20 электрохимических ячеек, последовательно соединенных посредством гидравлического соединения;

5 На Фиг. 3А представлена таблица репрезентативных параметров системы электролизера;

На Фиг. 3В представлена таблица репрезентативных массовых расходов в системе электролизера;

На Фиг. 3С представлена таблица репрезентативных объемных скоростей образования водорода в системе электролизера;

10 На Фиг. 3D представлена таблица репрезентативных массовых скоростей образования веществ в системе электролизера;

На Фиг. 4 представлена система регулирования состава потока, подаваемого в систему электролизера, посредством нанофильтрации;

15 На Фиг. 5 представлены скорости удаления выбранных соединений в одном из примеров системы нанофильтрации;

На Фиг. 6 представлена система регулирования состава потока, подаваемого в систему электролизера, посредством электродиализа;

20 На Фиг. 7А представлена зависимость относительных концентраций  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  от общего содержания растворенных твердых веществ (англ. Total Dissolved Solids, сокр. TDS) в концентрате, полученном из морской воды, в одном из примеров модуля электродиализа;

На Фиг. 7В представлена зависимость относительных концентраций  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  от процента обессоливания в одном из примеров модуля электродиализа;

25 На Фиг. 8А представлена зависимость относительных концентраций выбранных катионов от общего содержания TDS в концентрате, полученном из морской воды, в одном из примеров модуля электродиализа;

На Фиг. 8В представлена зависимость относительных концентраций выбранных катионов от процента обессоливания в одном из примеров модуля электродиализа;

На Фиг. 9А представлена система регулирования рН потока, подаваемого в электролизер, посредством электродиализа;

На Фиг. 9В более детально представлен модуль электродиализа на биполярных электродах, представленный на Фиг. 9А;

5 На Фиг. 10 представлена система регулирования рН потока, подаваемого в электролизер, посредством нанофильтрации;

На Фиг. 11А представлена система, в которой для регулирования состава потока, подаваемого в электролизер, применяют комбинацию нанофильтрации и электродиализа;

10 На Фиг. 11В представлена другая система, в которой для регулирования состава потока, подаваемого в электролизер, применяют комбинацию нанофильтрации и электродиализа;

На Фиг. 12А представлена система регулирования состава подаваемого потока, соединенная с электролизером, сконструированным с возможностью улучшения продукта реакции;

15

На Фиг. 12В представлена относительная эффективность снижения выхода водорода при подаче в электролизер различных растворов;

На Фиг. 13 представлена система управления, подходящая для примеров осуществления электрохимических ячеек и систем, рассмотренных в настоящей работе;

20

На Фиг. 14 представлена система памяти, подходящая для системы управления, представленной на Фиг. 13;

На Фиг. 15А представлена схема испытательной системы, подходящей для оценки эффективности системы рециркуляции электролизера;

25 На Фиг. 15В представлен состав раствора, подаваемого в систему, представленную на Фиг. 15А; и

На Фиг. 15С представлены результаты испытаний системы, представленной на Фиг. 15А.

СВЕДЕНИЯ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Рассмотренные в настоящей работе аспекты и примеры осуществления изобретения не ограничены деталями конструкций и расположением компонентов, представленными в нижеследующем описании или приведенными в графических материалах. Рассмотренные в настоящей работе аспекты и примеры осуществления изобретения могут быть воплощены или применены иным образом. Кроме того, употребляемая в настоящем описании фразеология и терминология предназначена для описания и не должна рассматриваться как ограничивающая. Употребляемые термины “включающий”, “имеющий” и “содержащий” и их различные варианты включают объекты, перечисленные после указанного термина, и их эквиваленты, а также дополнительные объекты.

В настоящей работе рассмотрены различные примеры осуществления систем, включающих ячейки для электрохлорирования и устройства для электрохлорирования, однако настоящая работа не ограничена системами, включающими ячейки или устройства для электрохлорирования, и аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, применимы к системам, включающим электролитические и электрохимические ячейки, применяемые в любых разнообразных целях.

В существующих в настоящее время коммерчески доступных ячейках для электрохлорирования один или два электрода обычно сконструированы в виде концентрических трубок (англ. concentric tube electrode, сокр. СТЕ) и параллельных пластин (англ. parallel plate electrode, сокр. РРЕ).

Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, в целом относятся к системам, включающим электрохимические устройства, в которых получают дезинфицирующие средства, такие как гипохлорит натрия. Следует понимать, что термины “электрохимическое устройство” и “электрохимическая ячейка” и их грамматические варианты включают “устройства для электрохлорирования” и “ячейки для электрохлорирования” и их грамматические варианты. Аспекты и примеры осуществления электрохимических ячеек, рассмотренные в настоящей работе, включают один или более электродов.

Примеры осуществления электрохимических ячеек, устанавливаемых в системах, рассмотренных в настоящей работе, могут включать металлические

электроды, например, один или более анодов, один или более катодов и/или один или более биполярных электродов. Употребляемый в настоящей работе термин “металлические электроды” или его грамматические варианты включает электроды, полученные из, включающие или состоящие из одного или более металлов, например, титана, алюминия или никеля, хотя термин “металлический электрод” не исключает электродов, включающих или состоящих из других металлов или сплавов. В некоторых примерах осуществления “металлический электрод” может включать совокупность слоев различных металлов. Металлические электроды, применяемые в одном или более примерах осуществления, рассмотренных в настоящей работе, могут включать центральную часть из высокопроводящего металла, например, меди или алюминия, на которую нанесено покрытие из металла или оксида металла, обладающего высоким сопротивлением к химической атаке растворов электролитов, например, слой из платины, смешанного оксида металлов (СОМ, англ. mixed metal oxide, сокр. ММО), магнетита, феррита, кобальтовой шпинели, тантала, палладия, иридия, серебра, золота или других материалов покрытия. На “металлические электроды” может быть нанесено устойчивое к окислению покрытие, примеры материалов которого включают, без ограничений, платину, смешанный оксид металлов (ММО), магнетит, феррит, кобальтовую шпинель, тантал, палладий, иридий, серебро, золото или другие материалы покрытия. Смешанные оксиды металлов, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящей работе, могут включать оксид или оксиды одного или более из следующих металлов: рутения, родия, тантала (необязательно сплавленного с сурьмой и/или марганцем), титана, иридия, цинка, олова, сурьмы, сплава титана и никеля, сплава титана и меди, сплава титана и железа, сплава титана и кобальта или других подходящих металлов или сплавов. Аноды, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящей работе, могут иметь покрытие из платины и/или оксида или оксидов одного или более из следующих металлов: иридия, рутения, олова, родия или тантала (необязательно сплавленного с сурьмой и/или марганцем). Катоды, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящей работе, могут иметь покрытие из платины и/или оксида или оксидов одного или более из следующих металлов: иридия, рутения и титана. Электроды, применяемые в примерах осуществления, рассмотренных в настоящей работе, могут включать основу из одного или более следующих материалов: титана, тантала, циркония, ниобия, вольфрама и/или кремния. Электроды для любых электрохимических ячеек в любой системе,

рассмотренной в настоящей работе, могут быть изготовлены в виде или из пластин, листов, фольги, экструдированных материалов и/или спеченных материалов.

В некоторых аспектах и примерах осуществления указано, что электрохимические ячейки, устанавливаемые в системах, рассмотренных в настоящей работе, включают жесткие электроды. Употребляемый в настоящей работе термин “жесткий” объект относится к объекту, который в отсутствие приложенной силы сохраняет свою форму при нормальной рабочей температуре и/или при повышенной температуре. Употребляемый в настоящей работе термин “жесткий электрод” относится к электроду, имеющему достаточную механическую прочность, что позволяет ему сохранять свою форму и расстояние между соседними электродами или витками электродов в различных примерах осуществления электрохимических ячеек и устройств, рассмотренных в настоящей работе, без необходимости применения разделителей. Например, гибкая пленка, имеющая металлическое покрытие, не считается “жестким электродом” согласно настоящему изобретению.

Употребляемый в настоящей работе термин “трубка (трубчатый)” включает цилиндрические трубы, однако, не исключает трубы, имеющие поперечное сечение другой формы, например, трубы, имеющие поперечное сечение квадратной, прямоугольной, овальной или скругленной формы или поперечное сечение в виде правильного или неправильного многоугольника.

Употребляемые в настоящей работе термины “концентрические трубки” или “концентрические спирали” включает трубки или чередующиеся (перемежающиеся друг с другом) спирали, имеющие общую центральную ось, но не исключает трубки или чередующиеся спирали, окружающие общую центральную ось, которая не обязательно проходит по центру каждой из концентрических трубок или чередующихся спиралей в наборе концентрических трубок или чередующихся спиралей.

В некоторых примерах осуществления линия, проведенная от центральной оси ячейки для электрохлорирования к периферии ячейки для электрохлорирования в плоскости, перпендикулярной центральной оси, проходит через совокупность пластинчатых электродов. Совокупность пластинчатых электродов может включать совокупность анодов и/или совокупность катодов и/или совокупность биполярных электродов. Центральная ось может быть параллельна усредненному направлению потока текучей среды через электрохимическую ячейку.

В примерах осуществления электрохимических ячеек, устанавливаемых в системах, рассмотренных в настоящей работе, включающих совокупность трубчатых анодов или катодов, совокупность трубчатых анодов может быть обобщенно названа анодом или анодной трубкой, и совокупность трубчатых катодов  
5 может быть обобщенно названа катодом или катодной трубкой. В примерах осуществления электрохимических ячеек, устанавливаемых в системах, включающих совокупность трубчатых анодов и/или совокупность трубчатых катодов, совокупность трубчатых анодов и/или совокупность трубчатых катодов может быть обобщенно названа парой анод-катод.

10 В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, устанавливаемых в системах, рассмотренных в настоящей работе, включающих концентрические трубчатые электроды, например, один или более анодов и/или катодов, рассмотренных в настоящей работе, электроды сконструированы с  
возможностью и размещены с возможностью направления текучей среды через  
15 один или более зазоров, имеющих между электродами, в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки. В некоторых аспектах и примерах осуществления электрохимических ячеек, включающих концентрические трубчатые электроды, например, один или более анодов и/или катодов, рассмотренных в настоящей работе, электроды сконструированы с возможностью и  
20 размещены с возможностью направления всей текучей среды, подаваемой в электрохимическую ячейку, через один или более зазоров, имеющих между электродами, в направлении, параллельном центральной оси электрохимической ячейки.

Ячейки для электрохлорирования применяют в морских и прибрежных  
25 установках, на муниципальных, промышленных и коммерческих предприятиях. Для различных вариантов применения могут быть выбраны соответствующие конструкционные параметры ячеек для электрохлорирования, включающих совокупность концентрических трубчатых электродов, например, расстояние между электродами, толщина электродов и плотность покрытия, площади электродов,  
30 способы электрического соединения и т.д. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены количеством электродов, расстоянием между электродами, материалом электродов или материалом разделителей, количеством проходов внутри ячеек для электрохлорирования или материалом покрытия электродов.

Содержание заявки PCT/US2016/018210 полностью включено в настоящее описание посредством ссылки для всех целей.

5       Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, включают системы и способы регулирования состава потока, подаваемого в электролизер. Применение рассмотренных методик позволяет снижать скорость образования осадка и повышать концентрацию гипохлорита, производимого в электролизере.

10       Конфигурации электролитических ячеек с концентрическими трубчатыми электродами (СТЕ), подходящие для повышения эффективности системы, были рассмотрены в документе US 62/633790, содержание которого полностью включено в настоящее описание посредством ссылки для всех целей. Электролитические системы, включающие различные варианты электрохимических ячеек (например, системы СТЕ, включающие совокупность СТЕ ячеек), рассмотрены в заявке PCT/US2019/019072, содержание которой полностью включено в настоящее описание посредством ссылки для всех целей. Однако, кроме возможных конструкций и размещения электрохимических ячеек, эффективность СТЕ системы сильно зависит от состава подаваемого в нее потока.

20       Системы СТЕ предназначены для работы с подаваемым потоком морской воды, имеющим широкий диапазон составов, например, показанным ниже в Таблицах 1 и 2. Концентрации различных твердых веществ, растворенных в морской воде, могут зависеть от места происхождения морской воды, однако один из примеров состава морской воды может включать следующие компоненты:

Таблица 1

Компоненты типичной морской воды и их концентрации

Название	Символ	мг/л (части на миллион)
Хлорид	Cl	19350
Натрий	Na	10750
Сульфат	SO <sub>4</sub>	2700
Магний	Mg	1290
Кальций	Ca	410
Калий	K	380
Бикарбонат	HCO <sub>3</sub>	140
Бромид	Br	65
Стронций	Sr	13
Алюминий	Al	1,9
Кремний	Si	1,1
Фторид	F	0,8
Нитрат	NO <sub>3</sub>	0,8
Бор	B	0,4
Барий	Ba	0,2
Железо	Fe	0,1
Марганец	Mn	0,1
Медь	Cu	0,1
Литий	Li	0,1
Фосфор	P	0,06
Йодид	I	0,04
Серебро	Ag	0,02
Мышьяк	As	<0,01
Нитрит	NO <sub>2</sub>	<0,01
Цинк	Zn	<0,01
Итого:		35000 (за исключением H и O)

Различные ионные компоненты морской воды, поступившей из различных местностей, указаны ниже в Таблице 2:

Таблица 2

Основные ионы, содержащиеся в морской воде (мг/л)

Ион	Типичная морская вода	Восточное Средиземноморье	Арабский залив в Кувейте	Красное море у Джидды
Хлорид (Cl <sup>-</sup> )	18980	21200	23000	22219
Натрий (Na <sup>+</sup> )	10556	11800	15850	14255
Сульфат (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2649	2950	3200	3078
Магний (Mg <sup>2+</sup> )	1262	1403	1765	742
Кальций (Ca <sup>2+</sup> )	400	423	500	225
Калий (K <sup>+</sup> )	380	463	460	210
Бикарбонат (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	140	-	142	146
Стронций (Sr <sup>2+</sup> )	13	-	-	-
Бромид (Br <sup>-</sup> )	65	155	80	72
Борат (BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> )	26	72	-	-
Фторид (F <sup>-</sup> )	1	-	-	-
Силикат (SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	1	-	1.5	-
Йодид (I <sup>-</sup> )	<1	2	-	-
Другие	-	-	-	-
Общее содержание растворенных твердых веществ (TDS)	34483	38600	45000	41000

5 Условия суммарной электрохимической реакции образования NaOCl из морской воды в системе СТЕ указаны в разделе “Предшествующий уровень техники” настоящего описания в уравнениях А1 и А2.

10 Основным продуктом реакции на аноде системы СТЕ, в которой из морской воды образуется NaOCl, является Cl<sub>2</sub>. Скорость образования Cl<sub>2</sub> зависит от величины анодного тока и концентрации NaCl в растворе, и эта скорость, в свою очередь, определяет количество NaOCl, образующегося в растворе. Зависимость количества образующегося NaOCl от объемного расхода в системе определяет общую концентрацию продукта.

Основными продуктами реакции на катоде системы СТЕ, в которой из морской воды образуется NaOCl, являются H<sub>2</sub> и OH<sup>-</sup>. Ток и, таким образом,

плотность катодного тока регулирует скорости образования продуктов, и эти скорости образования влияют на pH в системе.

5 Несмотря на то, что pH основной массы морской воды обычно составляет 7,5-8,4, на pH в системе влияет кинетика приведенных выше реакций, а также другие факторы.

При превышении порога растворимости водорода, по мере генерации он начинает выделяться в СТЕ ячейке, вытесняя текучую среду и экранируя катод. Снижение локального объема жидкости (текучей среды) при сохранении той же скорости выработки  $\text{OH}^-$  повышает локальные значения pH у катода.

10 Локальная концентрация  $\text{OH}^-$  у катода ячейки СТЕ также зависит от скорости, поскольку турбулентность и, таким образом, перемешивание являются функциями скорости. Таким образом, снижение расхода также повышает локальный pH у катода.

15 При достижении значения pH, равного 8, морская вода перенасыщается  $\text{CaCO}_3$ . При достижении значения pH, составляющего 10,7-11, начинает образовываться  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Оба эти соединения отрицательно влияют на эффективность ячейки СТЕ.

Варьирование концентраций  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  в растворе также влияет как на скорость, так и на количество образующегося осадка.

20 Изменения TDS (общего содержания растворенных твердых веществ) технологического потока влияет на его проводимость и, таким образом, на суммарное потребление мощности электролизером, поскольку напряжение в ячейке обратно пропорционально проводимости.

25 На Фиг. 1А-1С представлена ячейка СТЕ Evoqua согласно текущему состоянию рассматриваемой области техники. На Фиг. 2 представлен пример системы, включающей двадцать ячеек СТЕ, последовательно соединенных гидравлическим соединением. Особенно важные параметры включают объемный расход морской воды (Фиг. 3А), массовые расходы, представленные на Фиг. 3В, объемные скорости образования  $\text{H}_2$  (Фиг. 3С) и массовые скорости образования, представленные на Фиг. 3D.

30 При скорости потока, составляющей 2-3 м/с, система, представленная на Фиг. 2 способна самоочищаться, при условии, что в подаваемом потоке

концентрации  $\text{Na}^+$  составляют приблизительно от 10000 до 16000 частей на миллион, концентрации  $\text{Cl}^-$  составляют приблизительно от 18000 до 23000 частей на миллион, концентрации  $\text{Mg}^{2+}$  составляют приблизительно от 750 до 1800 частей на миллион, и концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  составляют приблизительно от 200 до 500 частей на миллион.

При таких параметрах подаваемого материала могут быть достигнуты выходные концентрации  $\text{NaOCl}$ , составляющие приблизительно от 2000 частей на миллион до приблизительно 3000 частей на миллион. При этом концентрация продукта теоретически ограничена скоростью образования осадка и количеством  $\text{NaCl}$  в растворе. Для повышения эффективности системы электрохлорирования может быть выполнено, например, следующее:

- Снижение интенсивности осаждения (посредством регулирования pH или удаления  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ ); и/или
- Повышение концентрации  $\text{NaCl}$  в подаваемом потоке.

#### 15 Регулирование состава технологического потока

Существуют методики компенсации жесткости, вызываемой двухвалентными ионами, и/или повышенными концентрациями солей одновалентных ионов. Однако для рассмотренных выше систем многие способы оказываются непрактичными. Примеры подходящих и неподходящих способов приведены ниже.

20 Неподходящие:

- Добавление средства, препятствующего образованию накипи: Стоимость реагента, требуемого для обработки необходимой массы, слишком высока
- Хелатирование: Стоимость реагента, требуемого для обработки необходимой массы, слишком высока
- 25 • Перегонка: Стоимость энергии, необходимой для обработки требуемых объемов, слишком высока
- Электродеионизация (англ. electrodeionization, сокр. EDI): Подаваемый материал должен иметь низкую жесткость, величины которой находятся за пределами диапазона, применяемого в способе
- 30 • Ионный обмен: Требуется участия человека; слишком высока стоимость и опасность химических реагентов, требуемых для регенерации

- Известкование воды/способ Кларка: Требуется участие человека; слишком большая масса, требуемая для обработки, и слишком высокая стоимость утилизации суспендированных отходов
- Магнитная обработка воды (англ. Magnetic water treatment, сокр. AMT): Способ не доказан, мало подтверждающих данных

Подходящие:

- Добавление кислоты: Введение кислоты может снизить pH, что может понизить образование накипи
- Емкостная деионизация (англ. capacitive deionization, сокр. CAPDI): Может снижать концентрации двухвалентных ионов и повышать концентрации одновалентных ионов; относительно низкое потребление энергии (циклическая адсорбция/десорбция)
- Наночистка/Обратный осмос: Может снижать концентрации двухвалентных ионов при одновременном снижении концентраций одновалентных ионов; относительно низкое потребление энергии
- Электродиализ (англ. electrodialysis, сокр. ED): Может селективно переносить одновалентные ионы и/или генерировать кислоту

#### ОПИСАНИЕ НЕОГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРИМЕРОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 20 На Фиг. 4 представлена система регулирования состава подаваемого потока посредством наночистки (англ. nanofiltration, сокращенно NF). Авторы предполагают, что применение NF для снижения жесткости, создаваемой двухвалентными ионами, в частности,  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ , и, таким образом, предотвращение образования осадков в электролизере является новой методикой.
- 25 Установка NF разделяет морскую воду на ретентат и фильтрат, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем фильтрат. Фильтрат, извлекаемый из выпускного отверстия для фильтрата установки NF, направляют во впускное отверстие электролизера. Литературные данные по такой системе NF приведены на Фиг. 5
- 30 (скопировано из публикации: Telzhensky, M., Birnhack, L., Lehmann, O., Windler, E., Lahav, O. "Selective separation of seawater  $Mg^{2+}$  ions for use in downstream water treatment processes (Селективное отделение ионов  $Mg^{2+}$  из морской воды для последующей подачи в способы обработки воды)". Chemical Engineering Journal 175 (2011) 136–143).

В этой конфигурации концентрации одновалентных ионов могут быть снижены на величину приблизительно от 2 до 10%, в то время как концентрации двухвалентных ионов могут быть снижены на величину приблизительно от 50 до 90%.

5 На Фиг. 6 представлена система регулирования состава подаваемого потока посредством электродиализа (ED). В такой системе для преимущественного перемещения одновалентных ионов из разбавленного раствора в поток концентрата применяют мембраны, селективные по отношению к одновалентным ионам. Литературные данные по этому способу приведены на Фиг. 7A-8B. На Фиг. 7A-7B  
10 представлены технические характеристики одного из примеров системы ED, в которой применяют мембраны, селективные по отношению к одновалентным ионам. При проведении обработки (снижение TDS или повышение степени обессоливания) одновалентные ионы (Cl, Na, K) быстро перемещаются из разбавленного раствора в поток концентрата, в то время как двухвалентные ионы (SO<sub>4</sub>, Mg, Ca) остаются в  
15 потоке концентрата до тех пор, пока не будет достигнута высокая степень удаления TDS/обессоливания. В этой конфигурации концентрации одновалентных ионов в потоке концентрата могут быть повышены на величину приблизительно от 3% до 400% при одновременном изменении концентрации двухвалентных ионов.

На Фиг. 9A представлена система регулирования pH потока, подаваемого в  
20 электролизер, посредством проведения ED. В этой системе для получения H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> применяют биполярные мембраны (Фиг. 9A). H<sup>+</sup> может служить для регулирования pH либо в электролизере (Фиг. 9B), либо в модуле NF (Фиг. 10).

На Фиг. 11A и 11B показаны системы, в которых для регулирования состава потока, подаваемого в электролизер, применяют методики NF и ED. В системе,  
25 представленной на Фиг. 11A, NF применяют для снижения жесткости, создаваемой двухвалентными ионами. Поток ретентата из NF направляют в поток разбавленного раствора и в поток концентрата модуля ED, селективного по отношению к одновалентным ионам. Поскольку бромид-ионы переходят в поток концентрата, поток разбавленного раствора из модуля ED, селективного по отношению к  
30 одновалентным ионам, может быть применен для других целей, например, в качестве хозяйственной или охлаждающей воды. Поток концентрата, в котором понижена концентрация двухвалентных ионов и повышена концентрация одновалентных ионов, может быть подаваемым потоком, направляемым в электролизер.

В системе, представленной на Фиг. 11В, разбавленный поток из модуля ED, селективного по отношению к одновалентным ионам, сначала применяют для снижения концентрации одновалентных ионов в подаваемом потоке. Затем поток разбавленного раствора из устройства ED направляют в качестве подаваемого потока в модуль NF для снижения жесткости, создаваемой двухвалентными ионами. Пермеат из модуля NF затем подают в поток концентрата устройства ED для сохранения общей концентрации одновалентных ионов.

На Фиг. 12А представлена система регулирования состава подаваемого потока, соединенная с электролизером, имеющим средства для улучшения продукта реакции. Проведенные ранее эксперименты по сравнению улучшения качества продукта реакции в зависимости от состава подаваемого материала, а именно, морской воды и солевого раствора, показали, что наличие жесткости, обусловленное присутствием  $Mg^{2+}$ , приводило к экранированию катода и снижению рабочей плотности тока с приблизительно 2200 до 200  $A/m^2$  (Фиг. 12В) при одновременном сдвиге от потребления кислорода до образования водорода. На Фиг. 12В сдвиг от потребления кислорода до образования водорода происходит в точке перегиба, отмеченной на каждой из линий. Линией “Солевой раствор – 3 м/с, воздух – 1 бар ( $10^5$  Па)” представлены технические характеристики без улучшений. Линией “Солевой раствор – 3 м/с,  $O_2$  – 6,9 бар ( $6,9 \cdot 10^5$  Па)” представлены технические характеристики с полностью реализованными улучшениями. Линией “Морская вода – 3 м/с,  $O_2$  – 5 бар ( $5 \cdot 10^5$  Па)” представлено ухудшение технических характеристик, вызываемое влиянием Mg. После устранения жесткости, создаваемой двухвалентными ионами, в частности,  $Mg^{2+}$ , с помощью, например, нанофильтрационной установки, представленной на Фиг. 12А, можно создать систему электролизера, которая может производить NaOCl без образования водорода. Для подачи кислорода в поток, направляемый в электрохимический реактор, также может быть применено устройство для насыщения кислородом, который реагирует с растворенным  $H^+$ , что приводит к образованию воды и предотвращению удаления  $H^+$  из раствора.

Контроллер, применяемый для отслеживания и регулирования работы различных элементов примеров осуществления системы, рассмотренной в настоящей работе, может включать компьютеризованную систему управления. Различные аспекты контроллера могут быть осуществлены в виде специализированного программного обеспечения, выполняемого универсальной компьютерной системой 1000, такой, как показано на Фиг. 13. Компьютерная

система 1000 может включать процессор 1002, соединенный с одним или более устройств 1004, таких как накопитель на магнитных дисках, полупроводниковая память или другое устройство для хранения данных. Память 1004 обычно применяют для хранения программ и данных во время работы компьютерной системы 1000. Компоненты компьютерной системы 1000 могут быть соединены с помощью соединительного механизма 1006, который может включать одну или более шин (например, между компонентами, которые интегрированы в составе одной машины) и/или сеть (например, между компонентами, которые находятся в отдельных машинах). Соединительный механизм 1006 позволяет обмениваться информацией (например, данными, инструкциями) между системными компонентами системы 1000. Компьютерная система 1000 также включает одно или более устройств 1008 ввода, например, клавиатуру, мышь, шаровой манипулятор, микрофон, сенсорный экран, и одно или более устройств 1010 вывода, например, печатающее устройство, дисплей и/или громкоговоритель.

Устройства 1010 вывода также могут включать клапаны, насосы или переключатели, которые могут быть применены для введения технологической воды (например, слабоминерализованной воды или морской воды) из источника подаваемого материала в систему электрохлорирования, рассмотренную в настоящей работе, или в участок применения и/или для регулирования скорости перекачивания насосов. Один или более датчиков 1014 также могут передавать вводные данные в компьютерную систему 1000. Эти датчики могут включать, например, датчики давления, датчики концентрации химических веществ, датчики температуры, датчики расхода текучей среды или датчики любых других параметров системы электрохлорирования, требующихся для работы оператора системы. Эти датчики могут быть установлены на любом участке системы, в котором нужно их присутствие, например, выше по потоку относительно участка применения и/или системы электрохлорирования, или они могут находиться в гидравлическом взаимодействии с источником подаваемого материала. Кроме того, компьютерная система 1000 может содержать один или более интерфейсов (не показаны), которые соединяют компьютерную систему 1000 с коммуникационной сетью наряду с соединительным механизмом 1006 или в качестве альтернативы соединительному механизму 1006.

Система 1012 хранения, более детально показанная на Фиг. 14, обычно включает пригодный для чтения и записи на компьютере носитель 1102 долговременной записи, на котором хранятся сигналы, определяющие программу,

выполняемую процессором 1002, или информация, обрабатываемая программой. Носитель может включать, например, память на диске или флэш-память. Обычно в процессе работы процессор считывает данные с носителя 1102 долговременной записи в другую память 1104, которая обеспечивает большую скорость доступа процессора к информации, чем носитель 1102. Такое устройство 1104 памяти  
5 обычно представляет собой энергозависимое запоминающее устройство с произвольным доступом, такое как динамическая оперативная память (англ. dynamic random access memory, сокр. DRAM) или статическое запоминающее устройство (англ. static memory, сокр. SRAM). Она может находиться, как показано, в  
10 системе 1012 хранения или в запоминающей системе 1004. Процессор 1002 обычно обрабатывает данные в запоминающей интегральной схеме 1104 и по завершении обработки копирует данные на носитель 1102. Известно множество различных механизмов осуществления перемещения данных между носителем 1102 и элементом 1104 запоминающей интегральной схеме, и аспекты и примеры  
15 осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены перечисленными. Аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены конкретной запоминающей системой 1004 или системой 1012 хранения.

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

Несмотря на то, что в качестве примера компьютерной системы одного типа представлена компьютерная система 1000, с помощью которой могут быть  
30 воплощены различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены осуществлением с помощью компьютерной системы, показанной на Фиг. 13. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, могут быть воплощены с

помощью одного или более компьютеров, имеющих архитектуры или компоненты, отличные от представленных на Фиг. 13.

Компьютерная система 1000 может представлять собой универсальную компьютерную систему, которая может быть запрограммирована с использованием высокоуровневого языка компьютерного программирования. Компьютерная система 1000 также может быть создана с использованием специально программируемых специализированных аппаратных средств. Процессор 1002 компьютерной системы 1000 обычно представляет собой коммерчески доступный процессор, такой, как хорошо известные процессоры классов Pentium™ или Core™, поставляемые Intel Corporation. Доступны также многие другие процессоры, которые включают программируемые логические контроллеры. Такой процессор обычно работает на основе операционной системы, которая может представлять собой, например, операционную систему Windows 7, Windows 8 или Windows 10, поставляемую Microsoft Corporation, MAC OS System X, поставляемую Apple Computer, операционную систему Solaris, поставляемую Sun Microsystems, или UNIX, поставляемую различными компаниями. Может быть применено множество других операционных систем.

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

Одна или более из частей компьютерной системы может быть распределена в одной или более компьютерных системах (не показаны), соединенных коммуникационной сетью. Эти компьютерные системы также могут представлять собой универсальные компьютерные системы. Например, различные аспекты изобретения могут быть распределены в одной или более компьютерных системах, сконструированных с возможностью обслуживания (например, серверы) одного или более клиентских компьютеров или с возможностью выполнения общей задачи как

части распределенной системы. Например, различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, могут быть выполнены на системе клиент-сервер, которая включает компоненты, распределенные в одной или более серверных системах, которые выполняют различные функции в соответствии с различными аспектами и примерами осуществления, рассмотренными в настоящей работе. Эти компоненты могут представлять собой выполняемый промежуточный (например, IL) или интерпретируемый (например, Java) код, который передается через коммуникационную сеть (например, Internet) с использованием коммуникационного протокола (например, TCP/IP). В некоторых примерах осуществления один или более компонентов компьютерной системы может общаться с одним или более других компонентов через беспроводную сеть, включающую, например, сеть сотовой связи.

Следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены выполнением с помощью какой-либо конкретной системы или группы систем. Также следует понимать, что аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, не ограничены какой-либо конкретной распределяемой (предоставляемой, англ. distributed) архитектурой, сетью или коммуникационным протоколом. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, могут быть запрограммированы с использованием объектно-ориентированного языка программирования, такого как SmallTalk, Java, C++, Ada или C# (C-Sharp). Также могут быть применены другие объектно-ориентированные языки программирования. В альтернативном варианте могут быть использованы функциональные, скриптовые и/или логические языки программирования, например, лестничная логическая схема. Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, могут быть выполнены в непрограммируемой среде (например, документы, созданные в форматах HTML, XML или других форматах, которые при рассмотрении в окне программы для просмотра демонстрируют аспекты графического интерфейса пользователя (англ. graphical-user interface, сокращенно GUI) или выполняют другие функции). Различные аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, могут быть выполнены в виде программируемых или непрограммируемых элементов или любой их комбинации.

#### Пример

На Фиг. 15А представлена испытываемая система рециркуляции электролизера.

В данной установке в резервуаре для продукта был приготовлен 3,5% раствор синтетической морской воды Instant Ocean® (Фиг. 15B). При подаче на ячейку напряжения производили рециркуляцию этого раствор через электролизер в течение различных промежутков времени (Фиг. 15C, от 7 до 120 минут).

5 Газообразный  $H_2$  отводили по мере его образования, накапливая продукт NaOCl.

Как указано в обсуждении выше, полагают, что отвод  $H_2$  позволяет избежать экранирования катода, что позволяет поддерживать локальный pH на уровне значения в основной массе раствора и снижать интенсивность образования осадка  $Mg(OH)_2$ . Действительно, измеренный pH основной массы раствора составлял от 8,6

10 до 8,8, и осаждения также не наблюдали.

После непрерывной работы концентрацию продукта NaOCl измеряли йодометрическим титрованием. Были достигнуты концентрации продукта, составляющие приблизительно от 750 до 6200 частей на миллион (Фиг. 15C). Эти результаты значительно выше, чем в установках предшествующего уровня техники.

15 Авторы предполагают, что регулирование состава подаваемого потока, а также аспекты и примеры осуществления, рассмотренные в настоящей работе, позволят достичь такой же или большей эффективности.

Фразы и термины, употребляемые в настоящей работе, приведены для описания и не должны рассматриваться как ограничивающие. Употребляемый в

20 настоящей работе, термин “совокупность” означает два или более объекта или компонента. Термины “включающий”, “несущий”, “имеющий” и “содержащий”, имеющиеся в описании или формуле изобретения и подобных разделах, представляют собой неограничивающие термины, т.е. означают “включающий без ограничений”. Таким образом, использование таких терминов охватывает

25 перечисленные после них объекты и их эквиваленты, а также дополнительные объекты. В отношении пунктов формулы изобретения только переходные фразы “состоящий из” и “по существу состоящий из” имеют ограничивающее или полуограничивающее значение, соответственно. Применение порядковых числительных, таких как “первый”, “второй”, “третий” и т.д. в пунктах формулы

30 изобретения для определения заявляемого элемента само по себе не означает приоритета, предшествования или порядка одного заявляемого элемента по отношению к другому или временного порядка, в котором выполняются операции способа; такие обозначения применяются как указатели для отличия одного заявляемого элемента, имеющего определенное наименование, от другого

элемента, имеющего такое же наименование (кроме использования первоначального термина), для различения заявляемых элементов.

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

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система электрохлорирования, включающая:

электролизер, выполненный с возможностью гидравлического соединения между источником подаваемой текучей среды и отверстием для выпуска  
5 получаемой текучей среды; и

подсистему, сконструированную с возможностью выполнения одной из  
следующих операций: повышения pH подаваемой текучей среды или повышения  
отношения содержания одновалентных ионов к содержанию двухвалентных ионов в  
подаваемой текучей среде, расположенную выше по потоку относительно  
10 электролизера.

2. Система по пункту 1, в которой подсистема включает  
нанофильтрационную установку, имеющую впускное отверстие, выполненное с  
возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей  
среды, и сконструированную с возможностью разделения подаваемой текучей  
15 среды на ретентат и пермеат, где ретентат имеет более высокое отношение  
содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем  
пермеат, и выпускное отверстие для пермеата сконструировано с возможностью  
подачи пермеата во впускное отверстие электролизера.

3. Система по пункту 2, в которой нанофильтрационная установка  
20 сконструирована с возможностью получения пермеата, в котором концентрация  
одновалентных ионов на величину от 2% до 10% ниже концентрации одновалентных  
ионов в подаваемой текучей среде.

4. Система по пункту 2, в которой нанофильтрационная установка  
25 сконструирована с возможностью получения пермеата, в котором концентрация  
двухвалентных ионов на величину от 50% до 90% ниже концентрации  
двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде.

5. Система по пункту 1, в которой подсистема включает установку  
электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью  
гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, одну или  
30 более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и выпускное  
отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии  
с впускным отверстием электролизера.

6. Система по пункту 5, в которой установка электродиализа сконструирована с возможностью разделения подаваемой текучей среды на поток разбавленного раствора и поток концентрата и с возможностью преимущественного перемещения одновалентных ионов из потока разбавленного раствора в поток концентрата.

7. Система по пункту 6, в которой установка электродиализа сконструирована с возможностью повышения концентрации одновалентных ионов в потоке концентрата по сравнению с подаваемой жидкостью на величину, составляющую от 3% до 400%.

8. Система по пункту 1, в которой подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, одну или более биполярных мембран, и выпускное отверстие, сконструированное с возможностью направлять поток текучей среды, имеющий повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, во впускное отверстие электролизера.

9. Система по пункту 1, в которой подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, одну или более биполярных мембран, и выпускное отверстие, сконструированное с возможностью направлять поток текучей среды, имеющий повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, во впускное отверстие наночисточной установки, расположенной выше по потоку относительно электролизера.

10. Система по пункту 9, в которой наночисточная установка сконструирована с возможностью разделения потока текучей среды на ретентат и пермеат, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем пермеат, и наночисточная установка включает выпускное отверстие для пермеата, сконструированное с возможностью подачи пермеата во впускное отверстие электролизера.

11. Система по пункту 1, в которой подсистема включает наночисточную установку, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, и выпускное отверстие, находящееся в гидравлическом взаимодействии с

установкой электродиализа, где установка электродиализа включает одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и имеет выпускное отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии с впускным отверстием электролизера.

5           12. Система по пункту 11, дополнительно включающая установку для насыщения кислородом, которая находится в гидравлическом взаимодействии с установкой электродиализа и электролизером, расположена между ними, и сконструирована с возможностью добавления кислорода в поток концентрата до введения потока концентрата во впускное отверстие электролизера.

10           13. Система по пункту 1, в которой подсистема включает установку электродиализа, имеющую впускное отверстие, выполненное с возможностью гидравлического соединения с источником подаваемой текучей среды, одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, выпускное отверстие для потока разбавленного раствора, находящееся в гидравлическом взаимодействии с впускным отверстием нанофильтрационной установки, выпускное  
15           отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии с выпускным отверстием для пермеата нанофильтрационной установки, и выпускное отверстие для потока концентрата, находящееся в гидравлическом взаимодействии с впускным отверстием электролизера.

20           14. Способ функционирования системы электрохлорирования, который включает:

                  функционирование подсистемы, находящейся в гидравлическом взаимодействии с источником подаваемой текучей среды и электролизером и расположенной между ними, с целью проведения одной из следующих операций:  
25           повышения pH подаваемой текучей среды или повышения отношения содержания одновалентных ионов к содержанию двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде, что приводит к получению модифицированной подаваемой текучей среды; и

                  введение модифицированной подаваемой текучей среды в электролизер.

30           15. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает разделение подаваемой текучей среды в нанофильтрационной установке на ретентат и пермеат, где ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем пермеат.

16. Способ по пункту 15, включающий получение пермеата, в котором концентрация одновалентных ионов на величину от 2% до 10% ниже концентрации одновалентных ионов в подаваемой текучей среде.

5 17. Способ по пункту 15, включающий получение пермеата, в котором концентрация двухвалентных ионов на величину от 50% до 90% ниже концентрации двухвалентных ионов в подаваемой текучей среде.

10 18. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам.

19. Способ по пункту 18, включающий разделение в установке электродиализа подаваемой в нее текучей среды на поток разбавленного раствора и поток концентрата и преимущественное перемещение одновалентных ионов из потока разбавленного раствора в поток концентрата.

15 20. Способ по пункту 19, включающий повышение концентрации одновалентных ионов в потоке концентрата по сравнению с подаваемой жидкостью на величину, составляющую от 3% до 400%.

20 21. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более биполярных мембран, и подачу потока текучей среды, имеющей повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, из выпускного отверстия установки электродиализа во впускное отверстие электролизера.

25 22. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более биполярных мембран, и подачу потока текучей среды, имеющей повышенную кислотность по сравнению с подаваемой текучей средой, из выпускного отверстия установки электродиализа во впускное отверстие наночистративной установки, расположенной выше по потоку относительно электролизера.

30

23. Способ по пункту 22, дополнительно включающий разделение в наночистративной установке потока текучей среды на ретентат и пермеат, где

ретентат имеет более высокое отношение содержания двухвалентных ионов к содержанию одновалентных ионов, чем пермеат, и подачу пермеата во впускное отверстие электролизера.

5 24. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в наночистотной установке, выпускное отверстие которой находится в гидравлическом взаимодействии с установкой электродиализа, где установка электродиализа включает одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, и подачу потока концентрата из установки электродиализа во впускное отверстие электролизера.

10 25. Способ по пункту 24, дополнительно включающий добавление кислорода в поток концентрата до введения потока концентрата во впускное отверстие электролизера.

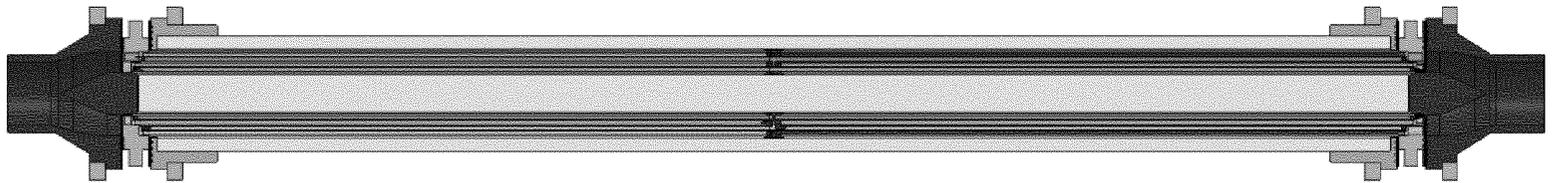
15 26. Способ по пункту 14, в котором функционирование подсистемы включает обработку подаваемой текучей среды в установке электродиализа, включающей одну или более мембран, селективных по отношению к одновалентным ионам, подачу потока разбавленного раствора из установки электродиализа во впускное отверстие наночистотной установки, подачу пермеата, извлекаемого из наночистотной установки, во впускное отверстие для потока концентрата установки электродиализа, и подачу потока концентрата из установки электродиализа во впускное отверстие электролизера.



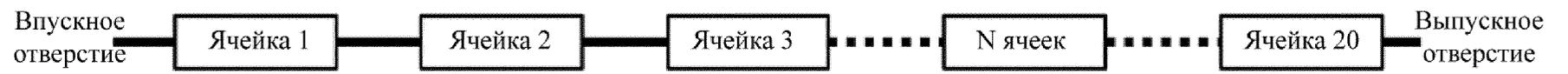
*ФИГ. 1А*



*ФИГ. 1В*



*ФИГ. 1С*



*ФИГ. 2*

Постоянная	Значение	Единицы
Половина длины ячейки	0,6	м
Плотность тока	1800	А/м <sup>2</sup>
Площадь электрода	0,91	м <sup>2</sup> /ячейка
Размер электролизера	20	ячеек
Расход	22	м <sup>3</sup> /час
Постоянная Фарадея	26,81	А/час
Молярная масса Cl <sub>2</sub>	70,91	г/моль
Молярная масса H <sub>2</sub>	2,02	г/моль
Молярная масса OH <sup>-</sup>	17,01	г/моль
1 г/час Cl <sub>2</sub>	0,76	А
1 г/час H <sub>2</sub>	26,59	А
1 г/час OH <sup>-</sup>	1,58	А

Расход (м <sup>3</sup> /час)
22
Производительность ячейки (кг/час)
2,2
Давление на нагнетательной стороне насоса (изб. давление, бар (Па))
8 (8·10 <sup>5</sup> Па)
Падение давления в насосе (изб. давление, бар (Па))
0,25 (2,5·10 <sup>4</sup> Па)
Образование водорода/кг гипохлорита (м <sup>3</sup> /час)
0,45
Растворимость H <sub>2</sub> в воде (м <sup>3</sup> /час при 1 бар абс. давления (что составляет 10 <sup>5</sup> Па))
0,44

**ФИГ. 3А**

	<b>Общая жесткость</b>	<b>Значение</b>	<b>Единицы</b>
	Na <sup>+</sup> TDS	10750	частей на миллион
	Cl <sup>-</sup> TDS	19350	частей на миллион
	Mg <sup>2+</sup> TDS	1290	частей на миллион
	Ca <sup>2+</sup> TDS	410	частей на миллион
Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
кг/час	кг/час	кг/час	кг/час
236,5	425,7	28,38	9,02

**ФИГ. 3В**

№. ячейк и	Избыт. давление на впуске в ячейку (бар)	Перепад изб. давления в ячейке (бар)	Изб. давление на выпуске из ячейки (бар)	Образование водорода, м <sup>3</sup> /час (атмосф.)	Объем водорода при давлении на линии, м <sup>3</sup> /час	Растворимый водород, м <sup>3</sup> /час	Водород в ячейке, м <sup>3</sup> /час	Водород в ячейке, %
1	7,75	0,28	7,48	0,99	0,12	3,85	-3,73	-17%
2	7,48	0,28	7,19	1,98	0,24	3,73	-3,49	-16%
3	7,19	0,28	6,91	2,97	0,38	3,61	-3,23	-15%
4	6,91	0,29	6,62	3,96	0,52	3,48	-2,96	-13%
5	6,62	0,29	6,33	4,95	0,68	3,35	-2,68	-12%
6	6,33	0,30	6,03	5,94	0,84	3,22	-2,38	-11%
7	6,03	0,30	5,73	6,93	1,03	3,09	-2,06	-9%
8	5,73	0,31	5,42	7,92	1,23	2,96	-1,73	-8%
9	5,42	0,31	5,11	8,91	1,46	2,83	-1,37	-6%
10	5,11	0,32	4,79	9,9	1,71	2,69	-0,98	-4%
11	4,79	0,32	4,47	10,89	1,99	2,55	-0,56	-3%
12	4,47	0,33	4,15	11,88	2,31	2,41	-0,10	0%
13	4,15	0,33	3,82	12,87	2,67	2,26	0,41	2%
14	3,82	0,34	3,48	13,86	3,09	2,12	0,97	4%
15	3,48	0,34	3,14	14,85	3,59	1,97	1,61	7%
16	3,14	0,35	2,80	15,84	4,17	1,82	2,35	11%
17	2,80	0,35	2,4	16,83	4,89	1,67	3,22	15%
18	2,44	0,36	2,09	17,82	5,77	1,52	4,25	19%
19	2,09	0,36	1,73	18,81	6,90	1,36	5,54	25%
20	1,73	0,37	1,36	19,8	8,39	1,20	7,19	33%

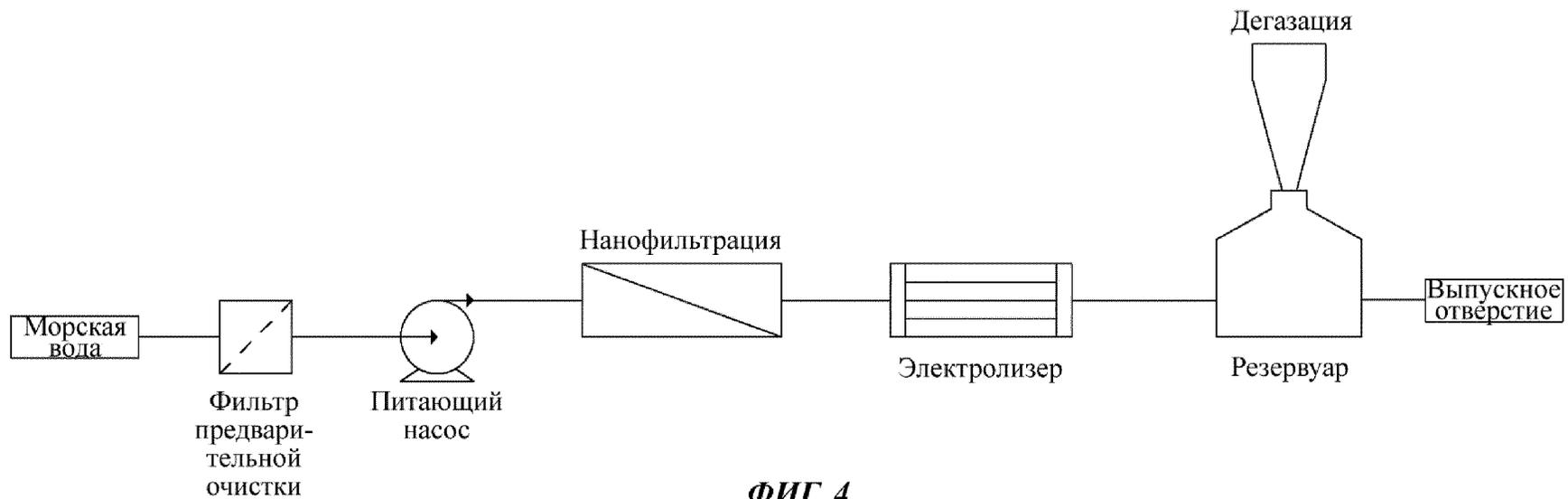
9

ФИГ. 3С

<b>Скорости образования в установке:</b>						
	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>ОН<sup>-</sup></b>	<b>ОН<sup>-</sup></b>
<b>Ячейка#</b>	<b>кг/час</b>	<b>частей на миллион</b>	<b>кг/час</b>	<b>частей на миллион</b>	<b>кг/час</b>	<b>частей на миллион</b>
1	2,2	98,7	0,06	2,8	1,04	47,4
2	4,3	197,4	0,12	5,6	2,08	94,7
3	6,5	296,2	0,19	8,4	3,13	142,1
4	8,7	394,9	0,25	11,2	4,17	189,4
5	10,9	493,6	0,31	14,0	5,21	236,8
6	13,0	592,3	0,37	16,8	6,25	284,2
7	15,2	691,1	0,43	19,6	7,29	331,5
8	17,4	789,8	0,49	22,5	8,34	378,9
9	19,5	888,5	0,56	25,3	9,38	426,3
10	21,7	987,2	0,62	28,1	10,42	473,6
11	23,9	1086,0	0,68	30,9	11,46	521,0
12	26,1	1184,7	0,74	33,7	12,50	568,3
13	28,2	1283,4	0,80	36,5	13,55	615,7
14	30,4	1382,1	0,86	39,3	14,59	663,1
15	32,6	1480,9	0,93	42,1	15,63	710,4
16	34,8	1579,6	0,99	44,9	16,67	757,8
17	36,9	1678,3	1,05	47,7	17,71	805,1
18	39,1	1777,0	1,11	50,5	18,76	852,5
19	41,3	1875,8	1,17	53,3	19,80	899,9
20	43,4	1974,5	1,23	56,1	20,84	947,2

**ФИГ. 3D**

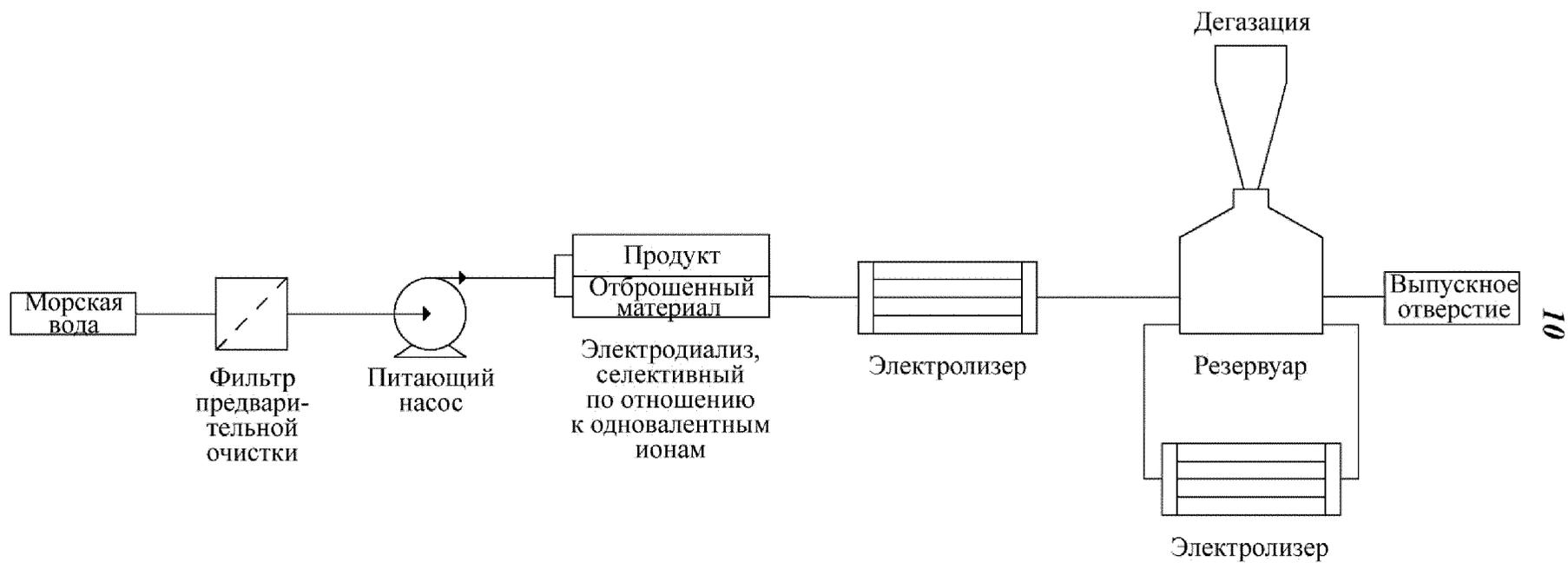
7



Пороговые значения, полученные для основных ионов морской воды в зависимости от степени извлечения  
 (тип мембраны: DS-5 DL, давление: 14 бар (1,4·10<sup>6</sup> Па), скорость подачи: 60 л/час·м<sup>2</sup>; температурный диапазон: 25-27°C,  
 диапазон потока пермеата: 19,2-18,0 л/час·м<sup>2</sup>)

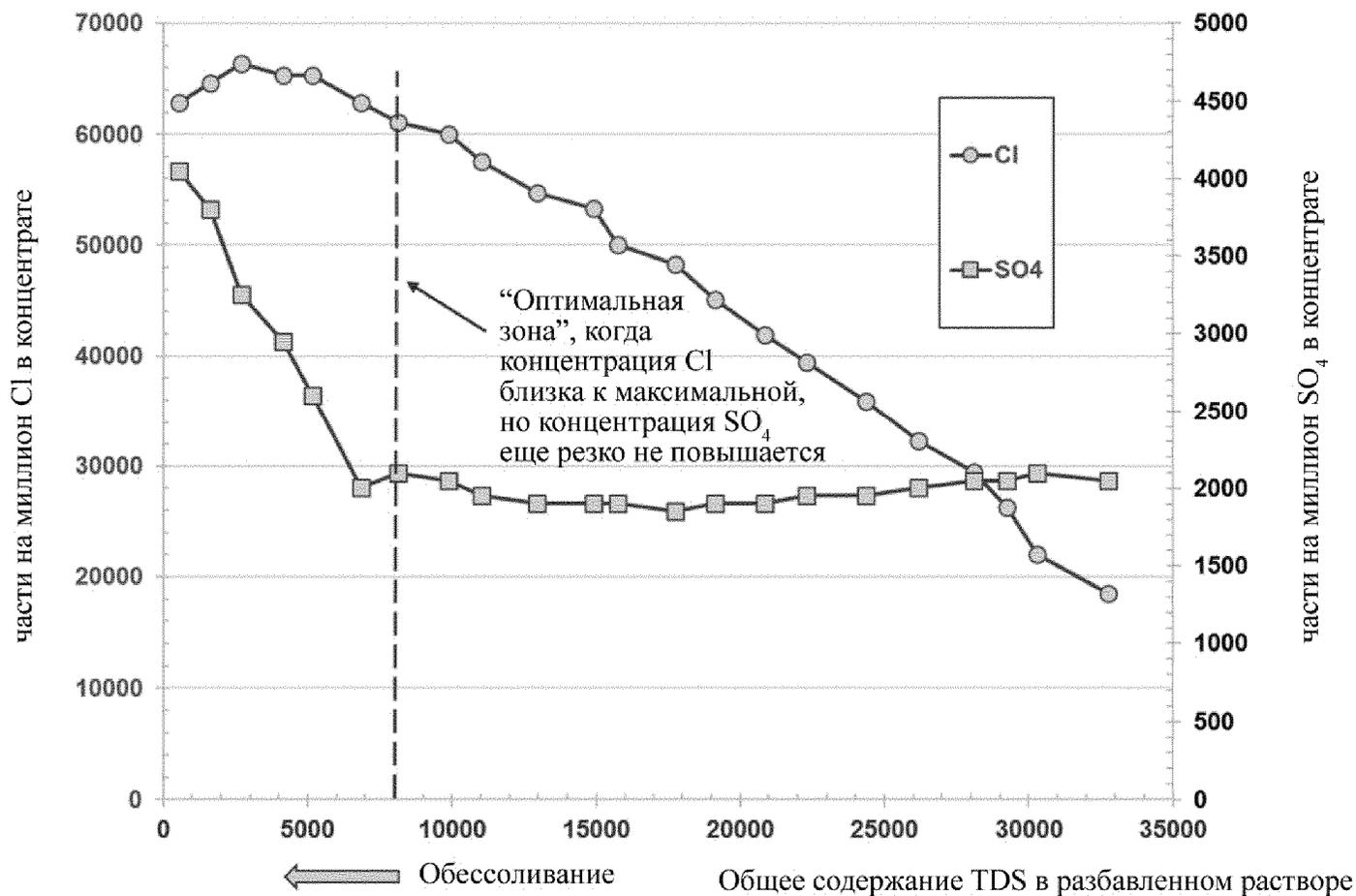
Извлечение (%)	Cl(-I) (%)	Na(I) (%)	Ca(II) (%)	Mg(II) (%)	K(I) (%)	HCO <sub>3</sub> (-I) (%)
10	28.4 ± 4.0	4.3 ± 2.6	100.0 ± 0	100.0 ± 0	32.7 ± 12.5	37.7 ± 0.9
40	14.2 ± 0.1	2.0 ± 1.5	60.7 ± 5.1	98.2 ± 2.5	9.1 ± 7.1	37.7 ± 0.5
50	11.7 ± 0	2.6 ± 1.4	58.3 ± 1.1	98.2 ± 0.2	4.8 ± 0.5	36.4 ± 2.2
55	10.6 ± 0	1.6 ± 0.6	58.2 ± 6.1	92.6 ± 3.8	4.7 ± 2.3	35.6 ± 1.8
60	10.2 ± 0.4	3.1 ± 1.5	54.6 ± 0	92.9 ± 0.2	6.1 ± 1.9	33.8 ± 1.6
63	9.6 ± 0.3	1.8 ± 0.3	49.7 ± 0.8	95.0 ± 7.1	5.7 ± 1.3	33.7 ± 1.5
66	9.3 ± 0.2	1.3 ± 0.7	46.4 ± 3.7	89.5 ± 1.3	5.6 ± 1.0	32.6 ± 0.1
69	9.1 ± 0.5	1.4 ± 0.1	47.0 ± 0.5	91.4 ± 8.7	4.9 ± 1.5	30.0 ± 1.5
72	8.5 ± 1.3	1.1 ± 0.3	45.1 ± 1.3	89.2 ± 4.0	4.4 ± 1.2	30.2 ± 1.9
75	8.3 ± 0.6	0.4 ± 0.8	41.8 ± 1.3	83.4 ± 5.4	4.1 ± 2.2	31.2 ± 5.9
78	6.5	0.8	38.8	71.5	3.1	21.6

**ФИГ. 5**



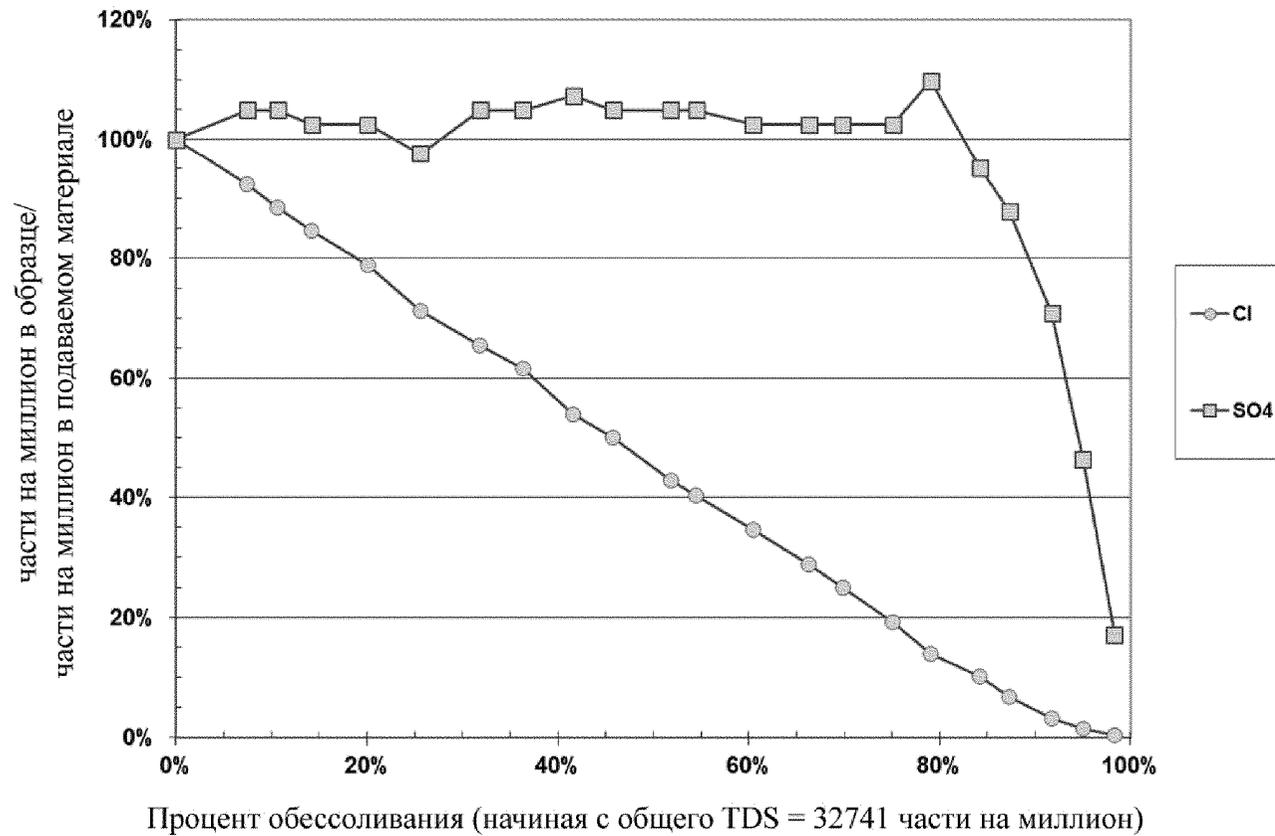
ФИГ. 6

части на миллион аниона в концентрате как функция общего содержания TDS  
 Испытуемый модуль Tokuyama Soda AMS для электродиализа с мембраной,  
 селективной по отношению к одновалентным ионам



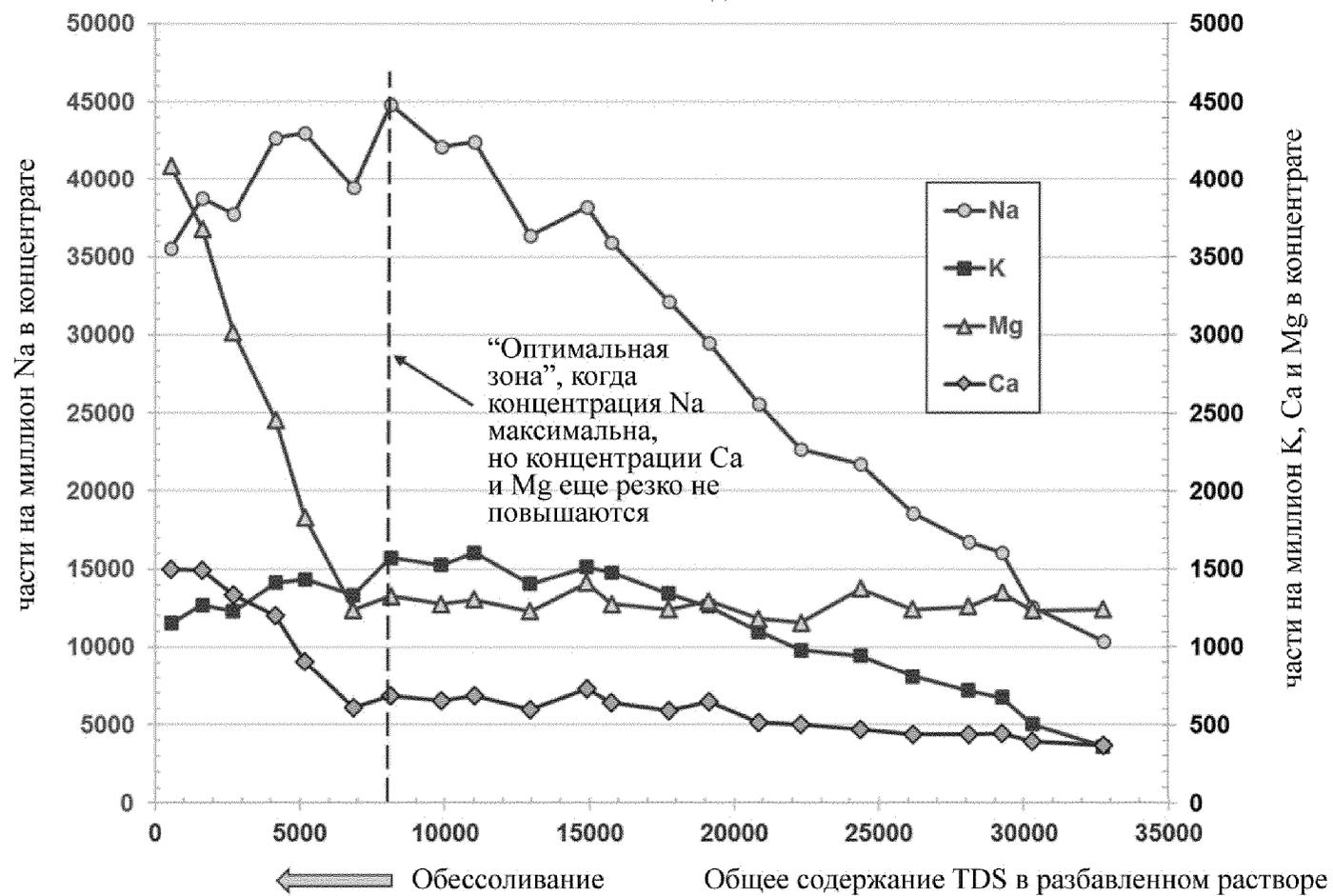
ФИГ. 7А

Процент анионов в разбавленном растворе как функция процента обессоливания  
Испытуемый модуль Tokuyama Soda AMS для электродиализа с мембраной,  
селективной по отношению к одновалентным ионам



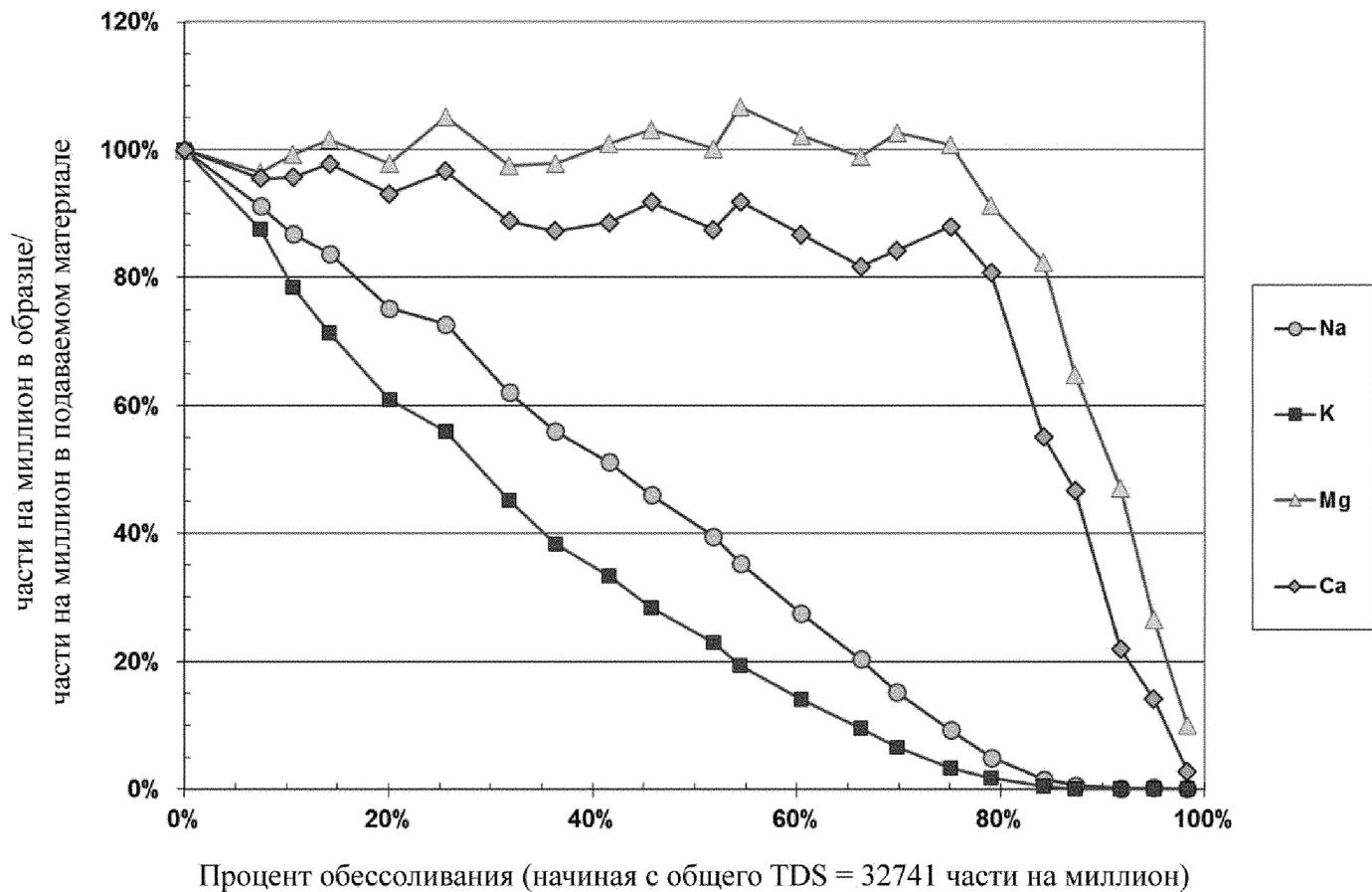
**ФИГ. 7В**

части на миллион катиона в концентрате как функция общего содержания TDS  
 Испытуемый модуль Tokuyama Soda AMS для электродиализа с мембраной,  
 селективной по отношению к одновалентным ионам

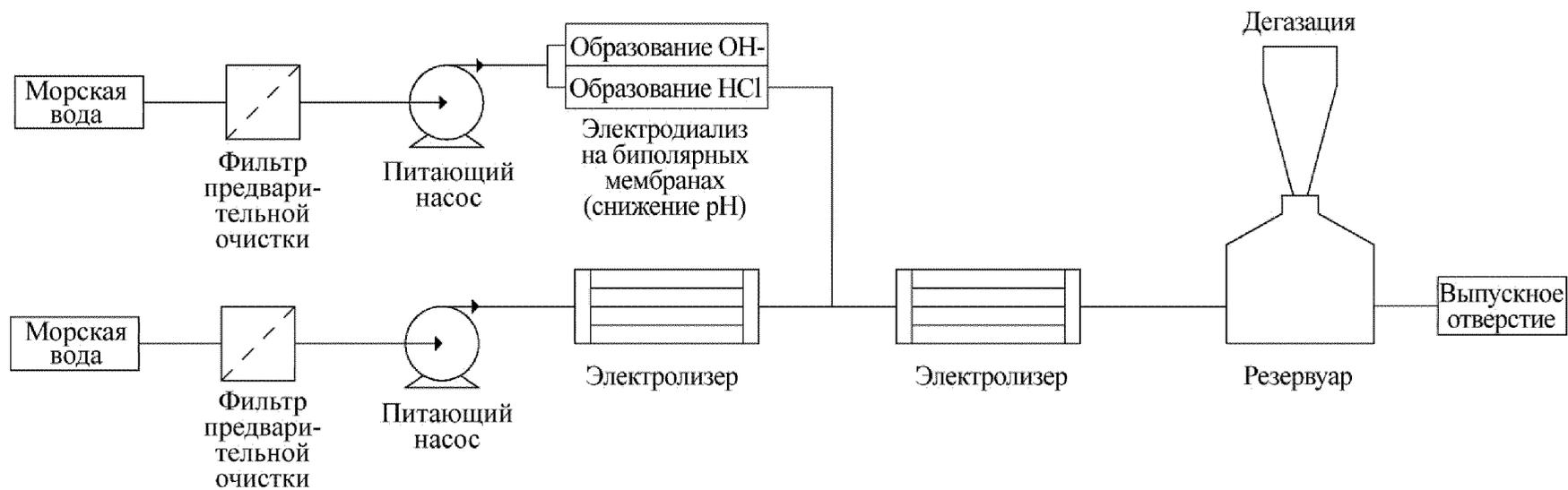


ФИГ. 8А

Процент катионов в разбавленном растворе как функция процента обессоливания  
 Испытуемый модуль Tokuyama Soda AMS для электродиализа с мембраной,  
 селективной по отношению к одновалентным ионам



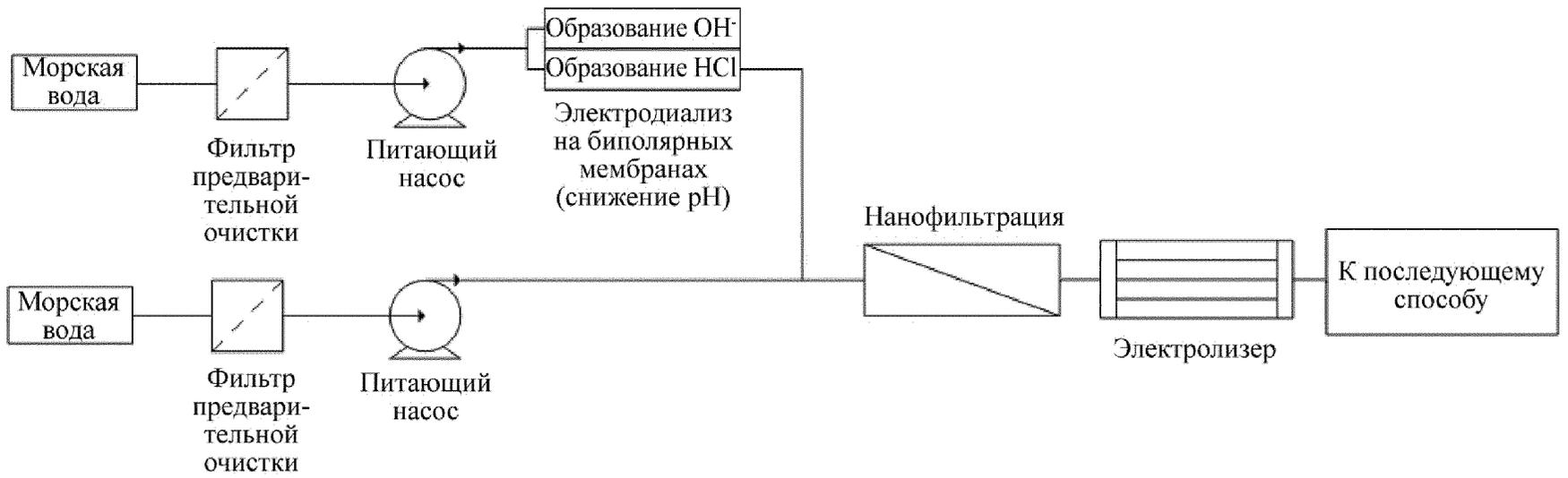
ФИГ. 8В



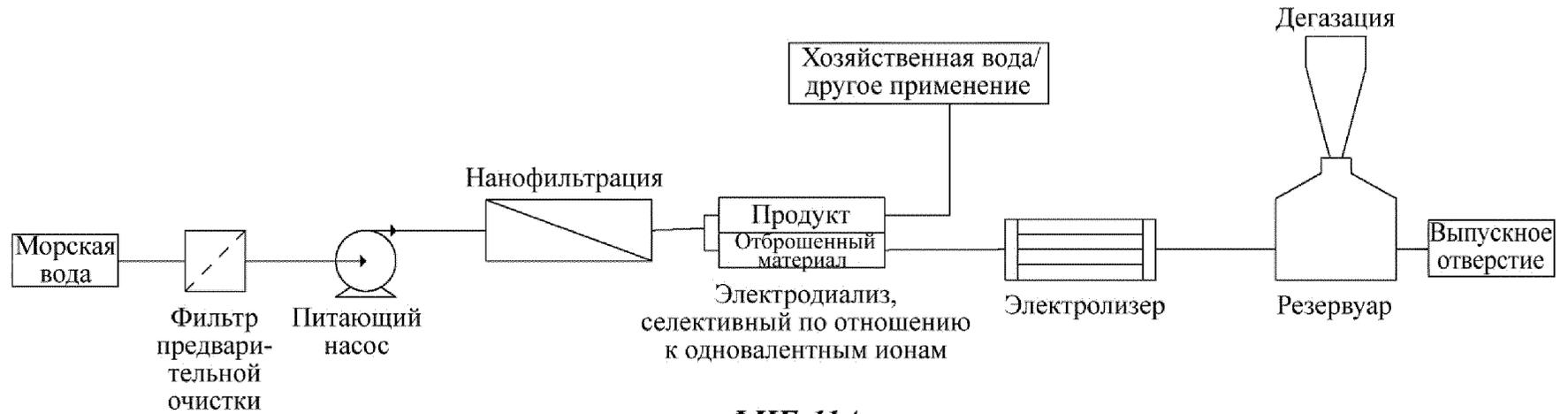
ФИГ. 9А



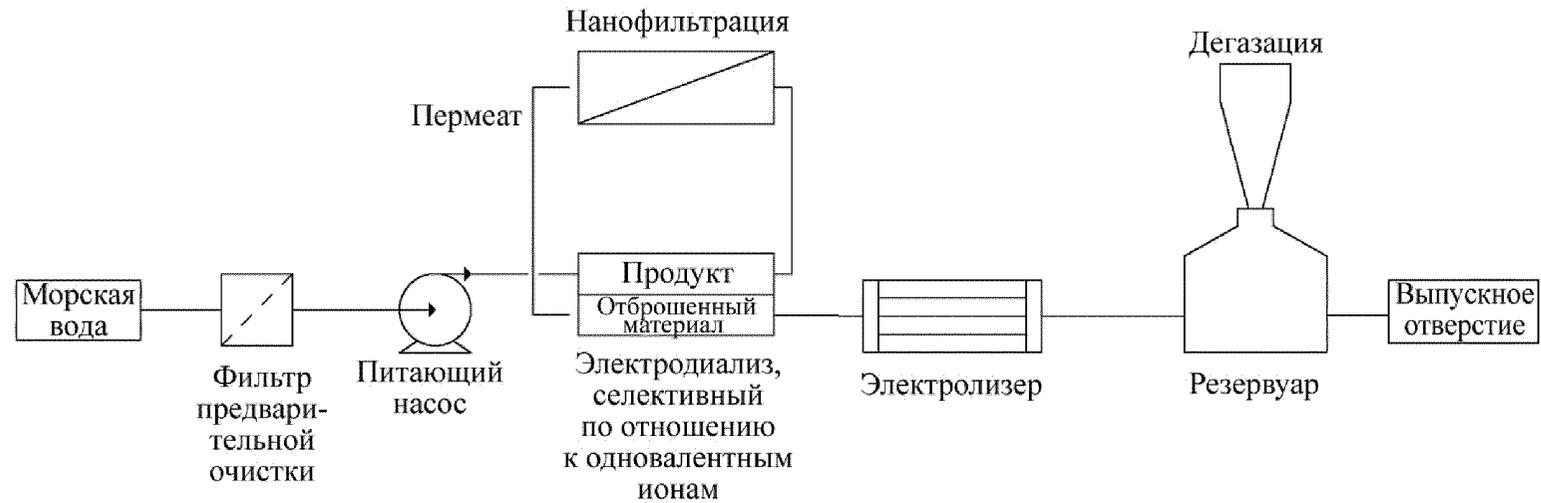
ФИГ. 9В



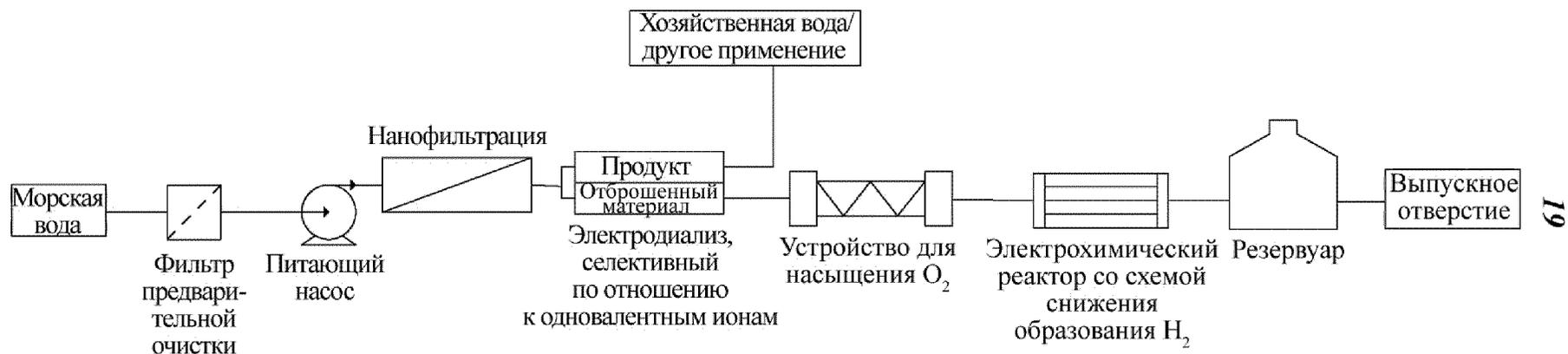
ФИГ. 10



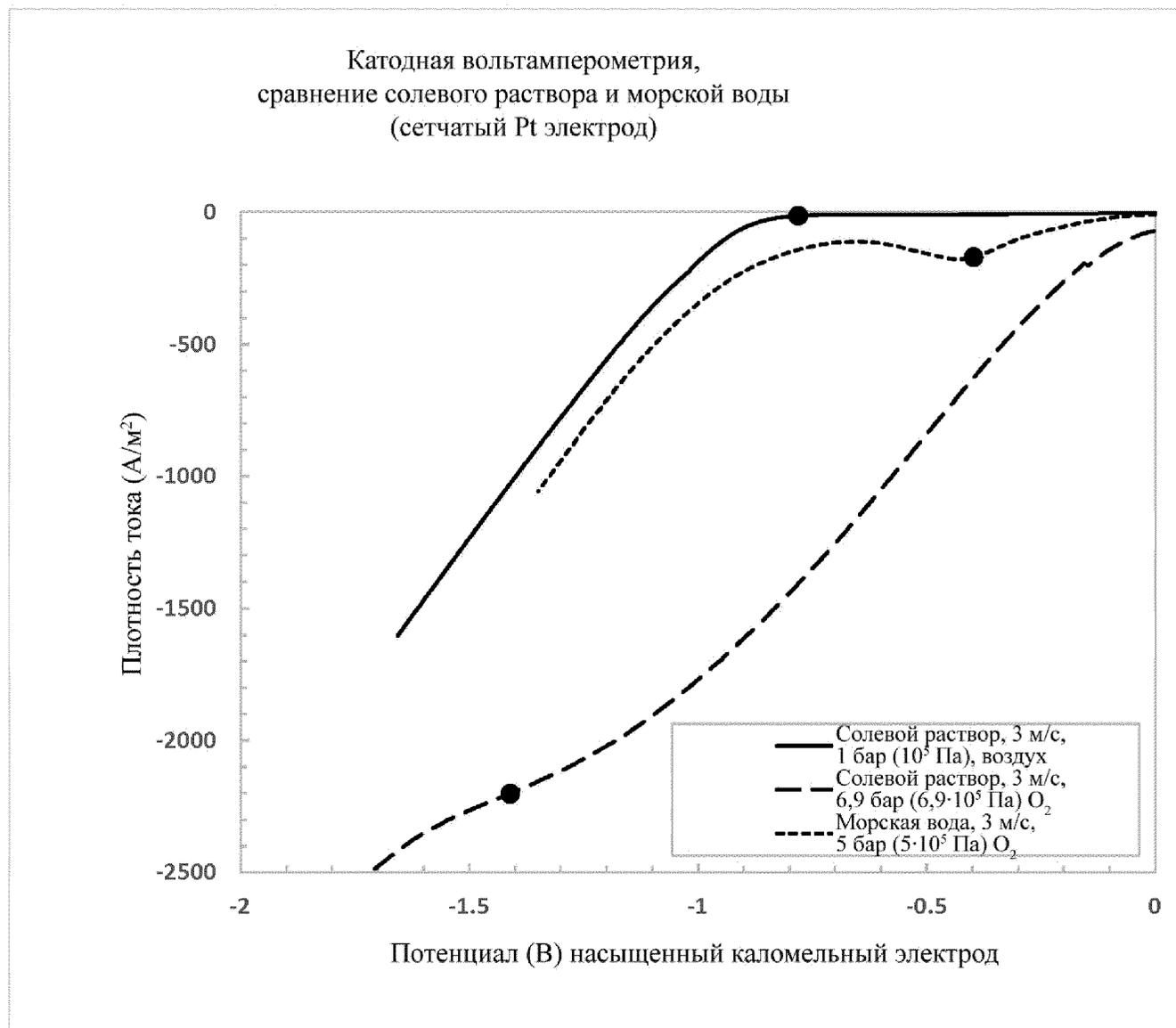
**ФИГ. 11А**



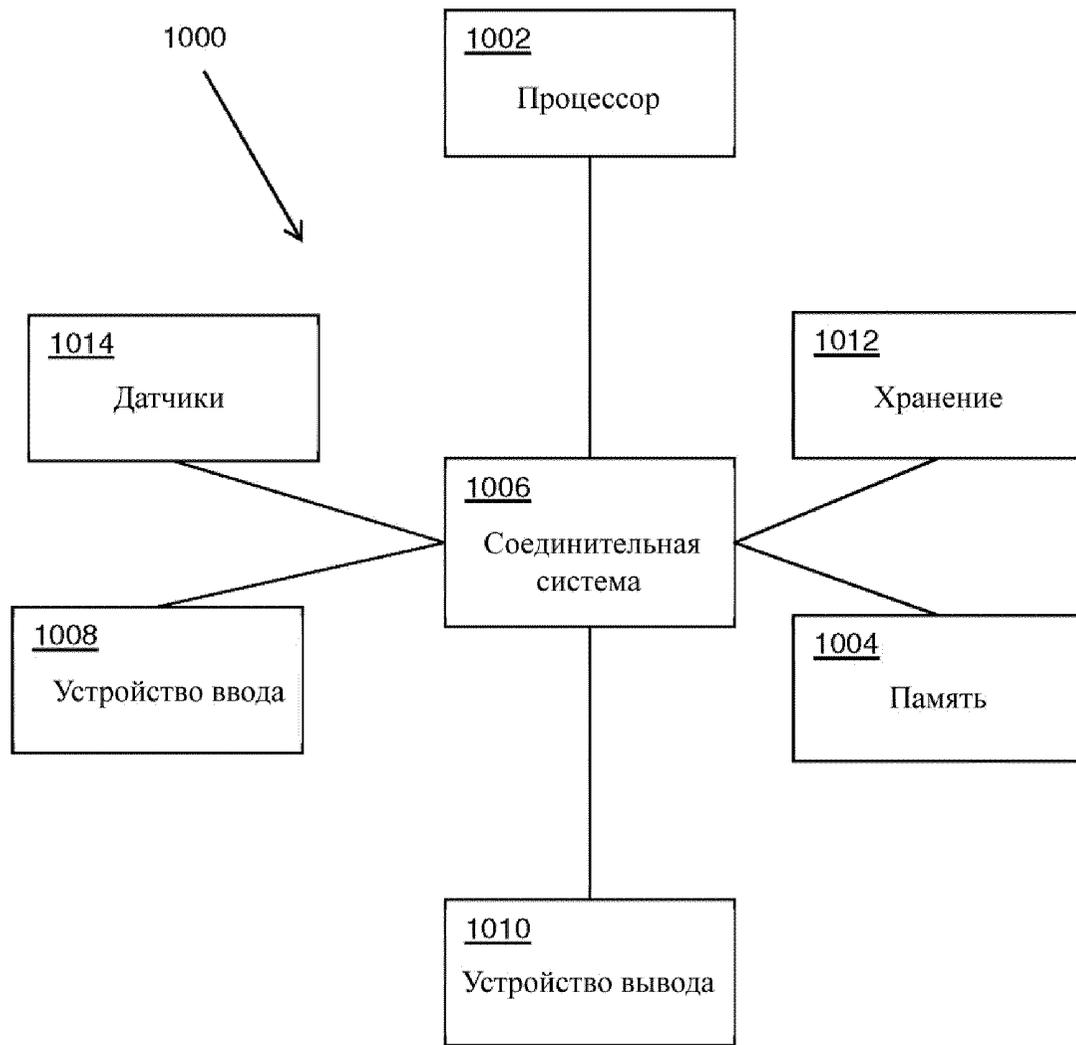
**ФИГ. 11В**



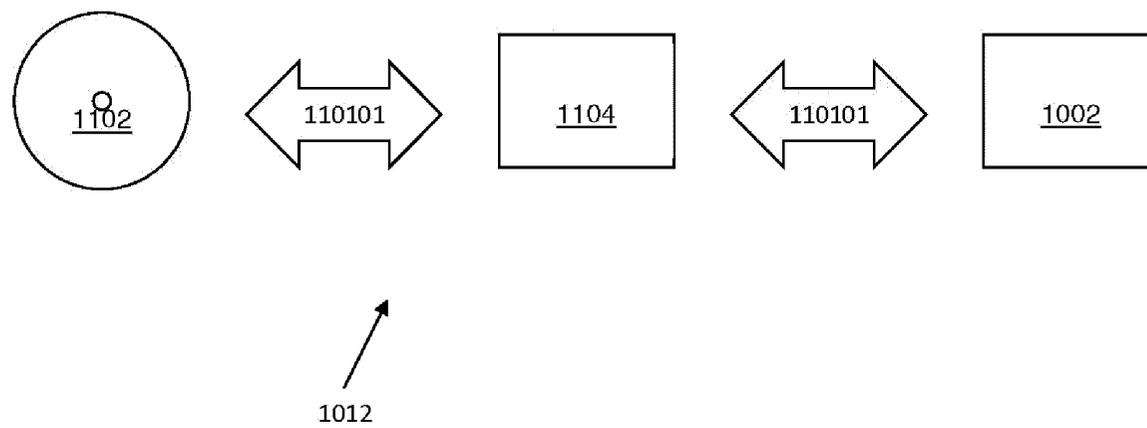
ФИГ. 12А



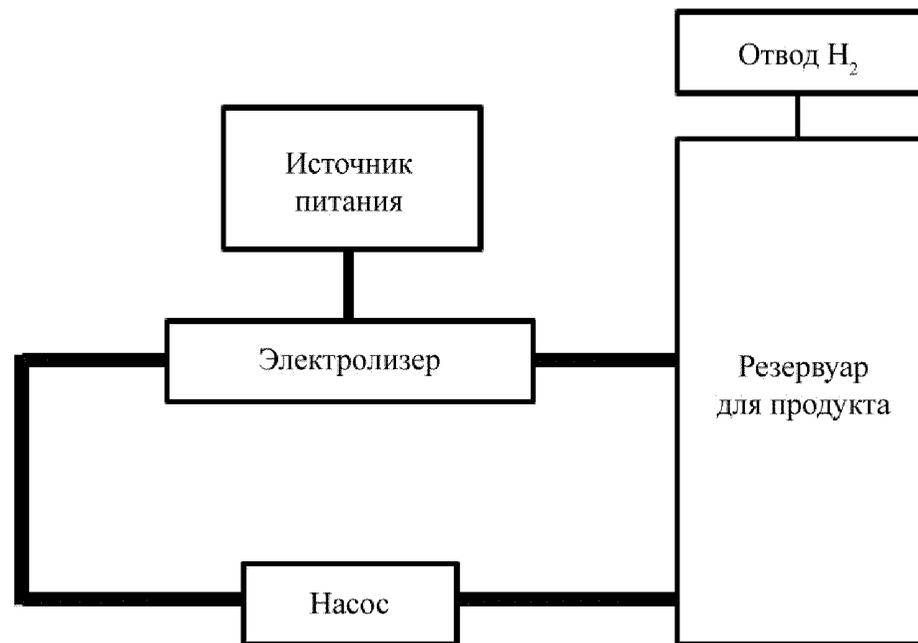
ФИГ. 12В



**ФИГ. 13**



**ФИГ. 14**



*ФИГ. 15А*

Средняя концентрация основных ионов в синтетической морской воде Instant Ocean® при приблизительной солености 35 частей на триллион	
Ион	Концентрация (части на миллион)
Хлорид	19290
Натрий	10780
Магний	1320
Калий	420
Кальций	400
Карбонат/бикарбонат	200
Бромид	56
Стронций	8,8
Фторид	1
Йодид	0,24

**ФИГ. 15В**

Образование гипохлорита при рециркуляции Экспериментальные параметры					
Температура (°С)	20	20	20	20	20
Расход (л/мин)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Продолжительность работы (час)	2.08	1.18	0.83	0.42	0.12
Напряжение постоянного тока (В)	11.62	11.8	9.81	9.5	9.5
Величина постоянного тока (А)	12	12	8.3	8.3	8.3
Проводимость подаваемого материала (мСм)	45.8	45.1	45.3	45.25	45.06
Объем (л)	6	8	8	8	8
Титрование #1 (мл)	8.65	4.94	3.09	7.2	4.45
Титрование #2 (мл)	8.69	4.96	3.02	7.2	4.43

Концентрация гипохлорита (определенная титрованием)					
Теоретическая концентрация (частей на миллион)	8000	4000	2000	1000	300
Концентрация, определение #1 (мг/л)	6134	3503	2191	1276	789
Концентрация, определение #2 (мг/л)	6162	3517	2141	1276	785
Средняя концентрация (мг/л)	6148	3510	2166	1276	787
Объем титрования (мл)	5	5	5	20	20
Отклонение (%)	-23.2	-12.2	8.3	27.6	162.4

Концентрация гипохлорита (определенная по поглотительной способности)					
385 нм	0.233	0.161	0.122	0.099	0.088
390 нм	0.166	0.117	0.091	0.075	0.067
395 нм	0.123	0.089	0.069	0.058	0.053
pH	8.79	8.79	8.76	8.67	8.74

Экспериментальные замечания
3,5% раствор Instant Ocean® (I.O.), полученный из воды обратным осмосом 1 молярный эквивалент NaOCl на 1 моль Cl <sub>2</sub> (Mw = 70,91 г/моль) Конц. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 0,1 М

3,5% I.O. (поглотительная способность)	
385 нм	0,02
390 нм	0,019
395 нм	0,018

ФИГ. 15С