

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034483**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.02.12**

(51) Int. Cl. **C25C 7/00** (2006.01)  
**C25C 7/02** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201390604**

(22) Дата подачи заявки  
**2011.11.18**

---

(54) **ЭЛЕКТРОЛИЗНЫЙ АППАРАТ**

---

(31) **1019613.7; 1019571.7**

(32) **2010.11.18**

(33) **GB**

(43) **2013.12.30**

(86) **PCT/GB2011/001629**

(87) **WO 2012/066297 2012.05.24**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**МЕТАЛИСИЗ ЛИМИТЕД (GB)**

(72) Изобретатель:  
**Дадли Питер Г., Райт Аллен Ричард  
(GB)**

(74) Представитель:  
**Нилова М.И. (RU)**

(56) US-A-4414089  
WO-A1-2010092358  
US-A-4207153  
WO-A1-2010146369  
WO-A1-2010130995

(57) Подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза, включающий первый электрод, второй электрод и подвесную конструкцию. Подвесная конструкция включает подвесной стержень, соединенный с первым электродом. Второй электрод подвешен или поддерживается подвесной конструкцией, которая включает по меньшей мере одну электроизолирующую распорку для удержания второго электрода в пространственном разделении с первым электродом.

**B1**

**034483**

**034483**

**B1**

Изобретение относится к электролизным аппаратам, в частности, к подвижным электродным модулям для использования в реакциях электролиза и системах для электролиза, включающих подвижные электродные модули.

#### **Уровень техники**

Настоящее изобретение относится к аппаратам для восстановления твердого сырья, содержащего соединения металлов или соединения, такие как окисел металла, для образования восстановленных продуктов. Как известно из предшествующего уровня техники, такие процессы могут использоваться, например, для восстановления соединений металлов или соединений полуметаллов до металлов, полуметаллов или частично восстановленных соединений, или для восстановления смесей соединений металлов для образования сплавов. Чтобы избежать повторений, в настоящем документе термин "металл" будет использоваться для охвата всех таких продуктов, как металлы, полуметаллы, сплавы, интерметаллические соединения и частично восстановленные продукты.

В последние годы возник большой интерес к прямому производству металлов с помощью восстановления твердого сырья, например, твердого сырья окиси металла. Одним из таких процессов прямого производства является процесс электролитического разложения Cambridge FFC (описанный в заявке WO 99/64638). В процессе FFC твердое соединение, например, твердый окисел металла, располагается в контакте с катодом в электролитической ячейке, содержащей расплавленную соль. Между катодом и анодом ячейки приложен электрический потенциал, так чтобы соединение восстанавливалось. В процессе FFC, потенциал, который вырабатывает твердое соединение, ниже, чем потенциал осаждения для катиона из расплавленной соли. Например, если в качестве расплавленной соли используется хлорид кальция, потенциал катода, при котором твердое соединение восстанавливается, ниже, чем потенциал осаждения для осажденного из соли металлического кальция.

Предлагаются другие восстановительные процессы для восстановления сырья, в виде подключенного к катоду твердого металлического соединения, такие как полярный процесс, описанный в заявке WO 03/076690, и процесс, описанный в заявке WO 03/048399.

При традиционной реализации процесса FFC и других процессов электролитического восстановления, как правило, включается производство сырья в виде брикета или прекурсора, изготовленного из порошка твердого соединения, подлежащего восстановлению. Этот брикет затем тщательно соединяется с катодом, что обеспечивает протекание восстановления. Когда ряд брикетов соединен с катодом, катод может опускаться в расплавленную соль, и брикеты могут восстанавливаться. Операция производства и присоединения брикетов к катоду очень трудоемкая. Хотя этот способ хорошо работает в лабораторном масштабе, он не оправдывает себя в массовом производстве металла в промышленном масштабе.

Целью изобретения является создание электролизного аппарата, компонентов электролизного аппарата и способа применения электролизного аппарата, более приспособленного для восстановления твердого сырья в промышленном масштабе.

#### **Сущность изобретения**

Изобретение предусматривает, в его различных аспектах, подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза или электролизным аппаратом; систему электролиза, включающую подвижный электродный модуль; способ электролиза и электрод для модуля электролиза, раскрытые в заявляемых независимых пунктах формулы, на которые будут делаться ссылки. Предпочтительными или преимущественными отличительными чертами изобретения являются те, которые установлены в разных зависимых пунктах формулы.

Таким образом, первый аспект изобретения может предусматривать подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза. Подвижный электродный модуль, который может, в качестве альтернативы, называться подвижной электродной сборкой или подвижным электродным аппаратом, включает первый электрод, второй электрод и подвесную конструкцию, содержащую подвесной стержень. Подвесной стержень соединен, предпочтительно на одном конце стержня, с первым электродом. Второй электрод подвешен или поддерживается подвесной конструкцией, и подвесная конструкция, кроме того, включает по меньшей мере одну электроизолирующую распорку для удержания второго электрода в пространственном разделении с первым электродом.

Предпочтительно, первый электрод представляет собой контактный катод, а второй электрод представляет собой контактный анод; контактный катод и контактный анод могут соединяться с источником энергии для создания потенциала между контактным катодом и контактным анодом.

Электродный модуль может, преимущественно, использоваться для восстановления твердого сырья, предпочтительно, восстановления металлического соединения, такого как окисел металла. Предпочтительно, твердое сырье удерживается в контакте с первой поверхностью первого электрода таким образом, что твердое сырье может быть восстановлено с помощью электролиза.

Особенно предпочтительно, чтобы электродный модуль включал также крышку для закрывания и открывания камеры электролиза, когда модуль находится в контакте с камерой электролиза. Крышка, преимущественно, взаимодействует с поверхностью обода, окружающего отверстие камеры электролиза, для герметизации отверстия камеры электролиза и/или для поддержания, по меньшей мере, веса электродного модуля. Температуры в камере электролиза в процессе реакции электролиза в расплавленной

соли могут достигать 1200°C. Кроме того, в процессе типичной реакции электролиза выделяются различные газы. Таким образом, может быть предпочтительным, чтобы крышка могла герметизировать камеру, или действовать как уплотнение для отверстия камеры электролиза, в процессе реакции электролиза.

Во втором аспекте, изобретение может предусматривать подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза, включающий анод и катод для удержания порции твердого сырья, при восстановлении посредством электролиза в расплавленном солевом электролите, причем сырье удерживается в контакте с катодом.

Электродный модуль может, кроме того, включать крышку для закрывания и открывания камеры электролиза, как описано выше, в связи с первым аспектом изобретения.

В третьем аспекте изобретение может предусматривать подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза, причем подвижный электродный модуль, содержащий первый электрод и крышку. Когда подвижный электрод введен в контакт с электролизным аппаратом, первый электрод располагается в камере электролиза таким образом, что может использоваться для электролиза, и крышка перекрывает отверстие камеры электролиза.

Предпочтительно, когда модуль введен в контакт с камерой электролиза, крышка герметизирует отверстие камеры электролиза. Как описано выше, температура в камере электролиза может быть высокой и могут выделяться газы. Поэтому может оказаться предпочтительным, чтобы крышка на электродном модуле герметизировала отверстие в камере электролиза.

Преимущественно вариант электродного модуля может включать второй электрод, в котором предпочтительно первый электрод является катодом, а второй электрод является анодом.

Предпочтительно электрод или электроды и крышка могут поддерживаться с помощью подвесной конструкции, включающей подвесной стержень и электроизолирующую распорку.

В четвертом аспекте изобретение может предусматривать подвижный электродный модуль для введения в контакт с камерой электролиза, причем подвижный электродный модуль включает подъемный элемент для осуществления подъема модуля, первый электрод, соединенный с нижним концом подвесного стержня, и подпружиненные устройства, расположенные между подъемным элементом и верхним концом подвесного стержня.

Модуль может содержать несколько подвесных стержней и может быть снабжен подпружиненными устройствами, расположенными между верхним концом каждого подвесного стержня и подъемным элементом. Предпочтительно подпружиненные устройства включают пружину, например спиральную пружину или тарельчатую пружину.

В варианте подвижного электродного модуля могут быть предусмотрены следующие дополнительные особенности в соответствии с четырьмя аспектами, описанными выше.

Модуль может содержать анод, выполненный из углерода, или содержащий его, например анод, содержащий графит. Анод может быть выполнен из альтернативных материалов, таких как инертный материал анода.

Модуль может включать подвесной стержень, и стержень может быть выполнен из металлического материала, который сохраняет прочность при высоких температурах. Например, подвесной стержень может быть выполнен из нержавеющей стали или из высокопрочной низколегированной стали, или из никелевого сплава. Специалисту в данной области известны различные подходящие высокопрочные металлы.

Модуль может включать электроизолирующие распорки. Такие распорки могут быть выполнены из любого подходящего материала, такого как керамика. Подходящая керамика для использования в качестве электроизолирующей распорки может включать окись алюминия ( $Al_2O_3$ ), окись иттрия ( $Y_2O_3$ ), нитрид кремния ( $Si_3N_4$ ) и нитрид бора (BN).

Модуль может по преимуществу включать один или несколько биполярных элементов для увеличения площади поверхности катода, предназначенной для электролиза. Модуль, содержащий биполярные электроды, можно описать, как содержащий биполярную батарею. Биполярный электрод представляет собой электрод, который помещен между контактными анодом и контактными катодом, так что он развивает анодную поверхность и катодную поверхность, когда между контактными анодом и контактными катодом создан потенциал. Предпочтительным является модуль, содержащий биполярную батарею, расположенную таким образом, что контактный анод находится над биполярными электродами, а контактный катод находится под биполярными электродами. Это приводит к тому, что верхние поверхности биполярных электродов становятся катодными, что может способствовать удержанию твердого сырья на верхней поверхности электрода.

Предпочтительным является то, чтобы подвижный электродный модуль в соответствии с вариантом изобретения использовался для восстановления твердого сырья с помощью процесса электролитического восстановления, такого как электролитическое разложение. Например, восстановление может выполняться с помощью процесса FFC Cambridge электролитического разложения, как раскрыто в заявке WO 99/64638, или с помощью полярного процесса, раскрытого в заявке WO 03076690, или с помощью варианта химически активного металла, раскрытого в заявке WO 03/048399.

Твердое сырье предпочтительно изготовлено из ряда составляющих элементов. Предпочтительно, чтобы отдельные составляющие элементы сырья были в виде гранул или частиц, или в виде брикетов, изготовленных способом порошковой металлургии. Известные способы обработки порошков, пригодные для изготовления таких брикетов, включают, помимо прочего, прессование, шликерное литье и экструзию.

Брикеты, изготовленные посредством обработки порошка, могут иметь форму гранул. Способы обработки порошка могут включать любой известный традиционный метод изготовления, такой как экструзия, распыление и отверждение или смешивание лопастными смесителями и др. Сформованные составляющие элементы сырья могут быть спечены для улучшения/увеличения их механической прочности, достаточной для выполнения необходимых механических операций.

Возможно, предпочтительно, чтобы сырье могло быть свободно насыпано на поверхность электродов в модуле. В настоящее время многие способы электролитического восстановления для восстановления твердого сырья включают стадию соединения отдельных элементов или частиц твердого сырья с катодом. Преимущественно, изобретение может позволить вводить или располагать большое количество сырья на верхних поверхностях электродов, просто насыпая его.

Сырье может быть распределено по верхней поверхности отдельных электродов в электродном модуле. В предпочтительном варианте для обеспечения доступа для загрузки сырье может наноситься на отдельные электроды с помощью удаления этого элемента из модуля. Доступ может быть облегчен, например, путем подъема или выдвигания части электрода из модуля, засыпания сырья или укладки сырья другим способом, и установки или задвигания части электрода обратно в модуль.

Пятый аспект изобретения может предусматривать способ восстановления твердого сырья, включающий такие стадии: загрузка твердого сырья на первую поверхность первого электрода подвижного электродного модуля, причем электродный модуль включает первый электрод и второй электрод, установленный на расстоянии от первого электрода, первая поверхность электрода во время использования становится катодной; введение подвижного электродного модуля в контакт с камерой электролиза таким образом, что поверхность электрода и сырье находятся в контакте с расплавленной солью, содержащейся в камере электролиза; и приложение напряжения к электродному модулю таким образом, что катодный потенциал на первой поверхности первого электрода приводит к восстановлению сырья.

Электродный модуль может быть любым электродным модулем, раскрываемым в настоящем документе.

Термин "расплавленная соль" (которая, как вариант, может называться расплав соли, расплавленный солевой электролит или электролит) может относиться к системам, включающим одну соль или смесь солей. Расплавленные соли в значении используемом в настоящей заявке, могут также содержать компоненты, не являющиеся солями, такие как окислы. Предпочтительно, расплавленные соли включают соли галоидных металлов или смеси солей галоидных металлов. Особенно предпочтительная соль может включать хлорид кальция. Предпочтительно, соль может содержать галоидное соединение и окисел металла, такие как хлорид кальция с растворенной окисью кальция. При использовании более одной соли предпочтительным может оказаться использование эвтектического состава или близкого к эвтектическому составу соответствующей смеси, например, для снижения точки плавления используемой соли.

Различные аспекты и варианты изобретения, раскрытые здесь, могут особенно подходить для восстановления больших партий твердого сырья в промышленном масштабе. В частности, варианты подвижного электродного модуля, включающего вертикальное размещение биполярных электродов, могут обеспечить возможность располагать большое количество биполярных элементов на небольшой занимаемой площади предприятия, эффективно увеличивая количество восстановленного продукта, которое может быть получено на единицу площади обрабатывающего предприятия.

Различные аспекты и варианты изобретения, раскрываемого здесь, особенно подходят для производства металла путем восстановления твердого сырья, содержащего твердый окисел металла. Чистые металлы могут образовываться при восстановлении чистых окислов металла и сплавов, и интерметаллические соединения могут образовываться при восстановлении сырья, содержащего смеси окислов металла или смеси чистых окислов металла.

Некоторые восстановительные процессы могут осуществляться только тогда, когда расплавленная соль или электролит, используемый в процессе, содержит виды металлов (химически активных металлов), которые образуют более устойчивый окисел, чем окисел металла или соединение, подлежащее восстановлению. Такая информация может быть легко получена из термодинамических данных, особенно данных о свободной энергии Гиббса, и может быть просто определена из стандартной диаграммы Эллингема или диаграммы преобладания или диаграммы свободной энергии Гиббса. Термодинамические данные об устойчивости окислов и диаграммы Эллингема доступны и понятны электрохимикам и специалистам в области металлургии извлечения (специалист в данном случае должен быть осведомлен о таких данных и информации).

Таким образом, предпочтительный электролит для процесса восстановления может содержать соль кальция. Кальций образует более устойчивый окисел, чем большинство других металлов, и поэтому может способствовать восстановлению окисла металла, который менее устойчив, чем окисел кальция. В

других случаях могут использоваться соли, содержащие другие химически активные металлы. Например, процесс восстановления в соответствии с любым аспектом раскрываемого здесь изобретения может быть выполнен, используя соль, содержащую литий, натрий, калий, рубидий, цезий, магний, кальций, стронций, барий или иттрий. Могут использоваться хлориды или другие соли, включая смесь хлоридов или других солей.

Благодаря выбору соответствующего электролита, используя способы и устройства, раскрываемые здесь, могут восстанавливаться почти любые окислы металла. В частности, могут восстанавливаться окислы бериллия, бора, магния, алюминия, кремния, скандия, титана, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, германия, иттрия, циркония, ниобия, молибдена, гафния, тантала, вольфрама и лантаноидов, включая лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, и актинидов, включая актиний, торий, протактиний, уран, нептуний и плутоний, предпочтительно, используя расплавленную соль, содержащую хлорид кальция.

Специалист сможет выбрать соответствующий электролит, который подходит для восстановления отдельного окисла металла, и в большинстве случаев, электролит, содержащий хлорид кальция, будет подходящим.

### Конкретные варианты изобретения

Конкретные варианты изобретения теперь будут описаны со ссылками на фигуры, на которых:

на фиг. 1 приведен вид в перспективе подвижного электродного модуля, воплощающего один или несколько аспектов изобретения;

на фиг. 2 приведен вид сбоку подвижного электродного модуля по фиг. 1;

на фиг. 3 приведен вид в плане подвижного электродного модуля по фиг. 1;

на фиг. 4 приведено поперечное сечение вида сбоку подвижного электродного модуля по фиг. 1, отображающее структуру различных электродов и опорных компонентов подвижного электродного модуля;

на фиг. 5 приведена схема в разрезе электролизного аппарата, имеющего камеру электролиза, пригодную для приема подвижного электродного модуля по варианту, показанному на фиг. 1;

на фиг. 6 приведена схема в разрезе, отображающая подвижный электродный модуль по фиг. 1 в контакте с электролизным аппаратом, показанным на фиг. 5;

на фиг. 7 приведена схема в разрезе, отображающая подвижный электродный модуль по фиг. 1, помещенный в переходный отсек электролизного аппарата по фиг. 5, в состоянии готовности к введению в контакт электродного модуля с камерой электролиза в электролизном аппарате;

на фиг. 8 приведена схема в разрезе, отображающая подвижный электродный модуль по фиг. 1 после того, как он выведен из переходного отсека и введен в контакт с электролизным аппаратом по фиг. 5;

на фиг. 9 приведен вид в перспективе съемной конструкции катода-лотка, пригодной для использования в качестве катода-лотка в подвижном электродном модуле по фиг. 1;

на фиг. 10 приведен вид в плане конструкции катода-лотка по фиг. 9;

на фиг. 11 приведен вид сбоку конструкции катода-лотка по фиг. 9;

на фиг. 12 приведен поперечный разрез второго варианта подвижного электродного модуля в соответствии с одним или несколькими аспектами изобретения;

на фиг. 13 приведен поперечный разрез третьего варианта подвижного электродного модуля в соответствии с одним или несколькими аспектами изобретения.

На фиг. 14 приведен схематический поперечный разрез альтернативного способа соединения подвижного электродного модуля в соответствии с вариантом настоящего изобретения с подъемными устройствами.

Подвижный электродный модуль в соответствии с первым вариантом настоящего изобретения теперь будет описан со ссылками на фиг. 1-4. Электродный модуль 10 содержит контактный анод 20, контактный катод 30 и семь биполярных электродов 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, распределенных с пространственным разнесением друг от друга выше контактного катода 30 и ниже контактного анода 20. Контактный катод 30, контактный анод 20 и каждый из промежуточных биполярных электродов 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 по существу, круглый по форме и имеет диаметр около 550 мм.

Естественно, диаметр катода и анодов может отличаться от этой величины. Например, диаметр может находиться в диапазоне от 100 до 5000 мм или больше.

Контактный катод 30 имеет составную конструкцию, состоящую из нижней части и верхней части. Нижняя часть, по существу, является элементом 30а основания катода, выполненным из диска нержавеющей стали марки 310, имеющего диаметр 550 мм и толщину 60 мм. Верхняя часть представлена съемным лотком 30b в сборе, установленным на верхнюю поверхность элемента 30а основания. Съемный лоток 30b в сборе показан на фиг. 9, 10 и 11 и будет подробно описан ниже. Через центральную часть собранного лотка 30b в сборе проходит центральное отверстие диаметром около 130 мм.

Каждый из семи биполярных электродов 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 имеет составную конструкцию, включающую нижнюю часть 40а, 41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а и верхнюю часть или лоток 40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b в сборе. Верхняя часть или лоток в сборе каждого из биполярных электродов идентична верхней части или лотку 30b в сборе контактного катода 30.

Нижние части 40а, 41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а каждого из биполярных электродов выполнены из дисков углерода, например графита, имеющих диаметр 550 мм и толщину 60 мм. Через центральную часть каждого из биполярных электродов 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 проходит отверстие диаметром около 130 мм.

На нижней поверхности каждого биполярного электрода выполнено множество каналов 50 шириной примерно 10 мм, чтобы способствовать отводу образующихся газовых язычков, выделяющихся на нижней поверхности каждого биполярного электрода, к внешней окружности каждого биполярного электрода.

Первый биполярный электрод 40 поддерживается прямо над контактным катодом 30 посредством первой электроизолирующей распорки 60. Первая электроизолирующая распорка 60 представляет собой трубчатую распорку, выполненную из окиси алюминия. Первая электроизолирующая распорка, как вариант, может быть выполнена из другого электроизолирующего керамического материала, такого как нитрид кремния, окись иттрия или нитрид бора. Первая распорка 60 имеет высоту 90 мм. Таким образом, расстояние между верхней поверхностью пластины 30а основания катода и нижней поверхностью нижней части первого биполярного электрода 40а составляет 90 мм.

В некоторых вариантах первая электроизолирующая распорка 60 установлена прямо на элемент 30а основания катода. В других вариантах керамическая вставка 70, выполненная из керамического материала, который не будет восстанавливаться в условиях работы ячейки, расположена между элементом 30а основания контактного катода и первой электроизолирующей распоркой 60.

Нижняя поверхность нижней части 40а первого биполярного электрода 40 установлена на первую электроизолирующую распорку 60 таким образом, что первый биполярный электрод 40 поддерживается благодаря первой электроизолирующей распорке 60 посредством элемента 30а основания контактного катода.

Второй биполярный электрод 41 поддерживается прямо над первым биполярным электродом 40 посредством второй электроизолирующей распорки 61. Вторая электроизолирующая распорка 61 представляет собой трубчатый элемент из окиси алюминия, который практически идентичен первой электроизолирующей распорке 60. Вторая электроизолирующая распорка установлена на верхней поверхности нижней части 40а первого биполярного электрода 40. Нижняя поверхность нижней части 41а второго биполярного электрода, в свою очередь, установлена на второй электроизолирующей распорке таким образом, что второй биполярный электрод 41 поддерживается при посредстве второй электроизолирующей распорки 61 первым биполярным электродом.

Эта несущая конструкция повторяется для каждого из биполярных электродов. Таким образом, третий биполярный электрод 42 поддерживается вторым биполярным электродом 41 при посредстве третьей электроизолирующей распорки 62. Четвертый биполярный электрод 43 поддерживается третьим биполярным электродом 42 при посредстве четвертой электроизолирующей распорки 63. Пятый биполярный электрод 44 поддерживается четвертым биполярным электродом 43 при посредстве пятой электроизолирующей распорки 64. Шестой биполярный электрод 45 поддерживается пятым биполярным электродом 44 при посредстве шестой электроизолирующей распорки 65. Седьмой биполярный электрод 46 поддерживается шестым биполярным электродом 45 при посредстве седьмой электроизолирующей распорки 66.

Контактный анод 20 выполнен в виде графитового диска, имеющего диаметр 550 мм и толщину 60 мм. На нижней поверхности анода выполнены каналы таким же способом, как определено выше, в связи с биполярными электродами. Одним из назначений этих каналов является способствование отводу газа, выделяемого на нижней поверхности контактного анода 20. В центральной части контактного анода 20 выполнено отверстие, имеющее диаметр около 130 мм. Контактный анод поддерживается прямо над седьмым биполярным электродом 46 при посредстве восьмой электроизолирующей распорки 67.

Все распорки с первой по восьмую имеют высоту 90 мм.

Подвижный электродный модуль 10, кроме того, включает изолирующую керамическую крышку 100, расположенную непосредственно над контактным анодом 20. Крышка 100 выполнена из окиси алюминия, хотя может использоваться любой теплоизолирующий керамический материал, и она предназначена для закрывания камеры электролиза в электролизном аппарате во время реакции электролиза. Крышка 100 удерживается на верхней поверхности контактного анода 20 с помощью девятого электроизолирующего опорного элемента 68. Девятая электроизолирующая опора 68 аналогична ранее описанным электроизолирующим опорным элементам, но имеет большую длину.

В крышке 100 выполнено центральное отверстие. Таким образом, отверстие или полость, образуемая им, простирается вниз через подвижный электродный модуль от верхней поверхности 101 крышки 100 через трубчатую электроизолирующую распорку 68, через центр анода и через каждый из биполярных электродов и связанных с ними распорок. Подвесной стержень 110 проходит через это отверстие или полость и соединен с элементом 30а основания катода контактного катода 30 посредством резьбы, которая соединяется с резьбовым отверстием, выполненным в элементе 30а основания катода. Подвесной стержень 110 не контактирует с другими электродами или распорками. В точке, где подвесной стержень 110 проходит через центральное отверстие, выполненное в крышке 100, установлено уплотнение,

сформированное посредством графитовой набивки сальника, например плетеного графитового шнура или аналогичных материалов 120 для набивки сальника.

В верхней части подвесной стержень 110 соединен с разъемом 130 с байонетным пазом. Разъем с байонетным пазом представляет собой байонетный разъем, хорошо известный для соединения секций трубопровода в нефтяной промышленности. Соединение между подвесным стержнем и разъемом с байонетным пазом достигается с помощью шайб и гаек 111.

Подвесной стержень 110 может использоваться для подъема всего подвижного электродного модуля 10, например, при подъеме или опускании электродного модуля. Возможно, подвесной модуль потребует эксплуатировать при высоких температурах. Поэтому стержень 110 и взаимодействующие с ним гайки и шайбы 111, которые соединяют стержень 110 и разъем с байонетным пазом 130, выполнены из высоколегированного никелевого сплава, подходящего для работы при высоких температурах.

Анод 20 соединен с двумя графитовыми стояками 21, 22 для осуществления электрического соединения, выполняемого между источником энергии (не показан) и контактным анодом 20. Графитовые стояки 21, 22 соединены с контактным анодом 20 посредством графитовых контактов 23, 24. Графитовые стояки 21, 22 проходят вертикально над контактным анодом 20, через отверстия, выполненные в крышке 100, таким образом, что, когда подвижный электродный модуль расположен в контакте с камерой электролиза электролизного аппарата, электрическое соединение может быть выполнено с самой верхней частью стояков. Зазор между стояками 21, 22 и взаимодействующими отверстиями, выполненными в крышке 100, для прохождения стояков герметизирован посредством плетеного графитового шнура или других аналогичных материалов 25 для набивки сальника.

Подвижный электродный модуль 10 рассчитан на работу в трех состояниях нагружения или поддержки.

В первом из этих трех состояний подвижный электродный модуль установлен на нижней поверхности элемента 30а основания катода. В этом состоянии вес всех биполярных элементов, анода и крышки передается через элемент 30а основания катода и подвесной стержень 110 не находится в напряженном состоянии.

Во втором состоянии нагружения разъем 130 с байонетным пазом соединен с подъемным механизмом и весь вес модуля поддерживается с помощью подвесного стержня 110, который соединен с элементом 30а основания катода.

В третьем состоянии нагружения подвижный электродный модуль 10 может поддерживаться в нескольких точках на нижней поверхности 102 крышки 100. В этом состоянии вес модуля поддерживается крышкой 100 и передается через подвесной стержень 110, который соединен с элементом 30а основания катода.

Таким образом, модуль может быть свободно стоящим на элементе 30а основания катода, он может быть подвешен с помощью разъема 130 с байонетным пазом на верхнем конце подвесного стержня 110, или может быть подвешен на нижней стороне 102 крышки 100.

Поскольку подвесной стержень 110 проходит через крышку 100, подвесной стержень 110 покрыт или плакирован электроизолирующим материалом 115 по всей длине, от точки соединения элемента 30а основания катода до точки герметизации плетеным графитовым шнуром 120. Электроизолирующий материал - покрытие 115 из окиси алюминия, но может быть любым высокотемпературным электроизолирующим материалом. Например, покрытие 115 может быть из нитрида бора. Покрытие может наноситься любым известным способом, например, способом покрытия погружением или покрытия распылением.

Съемный лоток в сборе, который образует часть контактного катода 30 и каждого из семи биполярных электродов 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, показан на фиг. 9, 10 и 11. Лоток 30b, 40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b в сборе выполнен из двух соединяющихся частей 151, 152. При соединении весь лоток в сборе является, по существу, круглым и при комнатной температуре имеет диаметр около 542 мм. Лоток в сборе - металлический и поэтому вследствие теплового расширения при рабочей температуре подвижного электродного модуля (обычно примерно между 500 и 1200°C при использовании в реакции электролиза в расплавленной соли) его диаметр может увеличиваться примерно до 550 мм.

Основание 153, 156 каждой из частей 151, 152 лотка в сборе выполнено из сетки, подходящей для того, чтобы удерживать твердое сырье. По окружности собранного лотка в сборе проходит периферический борт, приподнятый примерно на 30 мм над уровнем сетки 153, 156. От периферического борта 154 вниз на расстояние около 10 мм ниже уровня сетки 153, 156 выступает ряд ножек 155.

Для образования электрода в электродном модуле весь лоток в сборе может устанавливаться на верхней поверхности взаимодействующей части электрода. Например, для образования контактного катода 30 лоток 30b в сборе может устанавливаться на верхней поверхности пластины 30а основания контактного катода, или для образования биполярного электрода лоток 40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b в сборе может устанавливаться на верхней поверхности нижней части биполярного электрода 40а, 41а, 42а, 43а, 44а, 45а или 46а. Электрический контакт выполнен между лотком в сборе и взаимодействующей частью электрода, через направленные вниз ножки 155. Направленные вниз ножки удерживают сетку 153, 156 в пространственном разделении от верхней поверхности катода или биполярного электрода, на которой установлен лоток в сборе.

Когда подвижный электродный модуль, включающий съемные лотки в сборе 30b, 40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b, расположен в камере электролиза, содержащей расплавленную соль, расплавленная соль может протекать в зазор, образованный между верхней поверхностью части электрода, на которой установлен лоток в сборе, и основанием 153, 156 сетки. Поэтому расплавленная соль может протекать вверх через основание 153, 156 сетки лотка в сборе и, таким образом, через любое твердое сырье, удерживаемое на основании 153, 156.

Лоток в сборе сформирован таким образом, что имеет центральное отверстие, окружающее электроизолирующую распорку, например электроизолирующую распорку 60, которая поддерживает первый биполярный электрод 40.

Лоток в сборе образован из двух соединяющихся частей, т.е., первой части 151 и второй части 152, каждая часть, по существу, представляет собой полукруг. Две части 151, 152 соединяются посредством штифта и прорези. Штифты 160 проходят от сопрягаемой поверхности или сопрягаемой кромки 162 второй части через прорези 161 для приема штифтов 160, выполненные в соответствующей сопрягаемой поверхности 163 первой части 151.

При эксплуатации каждая половина или каждая часть 151, 152 лотка в сборе может отдельно извлекаться из подвижного электродного модуля 10 для загрузки сырья или разгрузки восстановленного продукта.

Съемные лотки в сборе образуют самую верхнюю часть контактного катода и каждого из биполярных электродов. Когда подвижный электродный модуль используется для электролиза, эти части соответствующих электродов становятся катодными.

Съемные лотки в сборе 30b, 40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b изготовлены из нержавеющей стали марки 310. Съемные лотки в сборе могут изготавливаться из многих других материалов, и выбор материала зависит от характера восстанавливаемого сырья. Например, может оказаться желательным использовать лоток в сборе, выполненный из металла, который не будет загрязнять восстановленный продукт. Например, если подвижный электродный модуль должен использоваться для восстановления окисла тантала до металлического тантала, может оказаться желательным выполнять катодный лоток в сборе из тантала или покрытого танталом металла.

Подвижный электродный модуль в соответствии с первым конкретным вариантом, описанным выше, может быть особенно преимущественным при использовании для восстановления твердого сырья в расплавленном солевом электролите. Съемные лотки в сборе позволяют удобно загружать твердое сырье в каждую отдельную часть 151, 152 лотка в сборе и загружать их в подвижный электродный модуль, устанавливая загруженные части лотков в сборе в соответствующее положение в электродном модуле.

При комнатной температуре подвижный электродный модуль 10 имеет общую высоту от нижней поверхности пластины 30a основания катода до нижней поверхности крышки 100 около 1645 мм. Высота от нижней поверхности пластины 30a основания катода до вершины разъема 130 с байонетным пазом составляет 2097 мм. Как указано выше, диаметр электродов 30, 40-46 составляет 550 мм. Максимальный диаметр крышки 100 составляет 830 мм. Некоторые из этих размеров подвержены изменениям при изменениях температуры. В частности, при рабочей температуре электродного модуля значения высоты могут увеличиваться на 5-10 мм.

Подвижный электродный модуль 10 в соответствии с первым вариантом изобретения, описанным выше, может преимущественно использоваться в любом электролизном аппарате, содержащем камеру электролиза, подходящую для установки в контакте с ней модуля 10. Схематическое изображение такого электролизного аппарата 200 приведено на фиг. 5.

Электролизный аппарат 200 включает корпус 210, содержащий камеру 220 электролиза, образованную внутри графитового тигля 230, верхний обод 231 графитового тигля 230, образующий отверстие в камере 220 электролиза. Верхняя поверхность обода 231 покрыта слоем упругого графитового материала толщиной 15 мм для герметизации обода 231 и нижней стороны крышки 100 подвижного электродного модуля 10. Материал уплотнения, установленный на верхнем ободе 231, представляет собой плетеную графитовую набивку сальника, которая может деформироваться и восстанавливать свою форму.

Корпус 210, кроме того, содержит нагревательные элементы 240 печи для поддержания температуры графитового тигля 230, впускное отверстие 250 для расплавленной соли и выпускное отверстие 260 для расплавленной соли, для обеспечения потока расплавленной соли через камеру 220 электролиза. Чтобы обеспечить выход газа, выделяемого во время протекания реакции электролиза в камере электролиза, к верхней части камеры 220 электролиза предусмотрена газовая вентиляционная линия 270. Шина 280 питания катода постоянным током подсоединена к графитовому тиглю 230 и обеспечивает прямое подключение всего графитового тигля 230 к источнику энергии.

Графитовый тигель 230 футерован футеровкой 290 из окиси алюминия. Футеровка 290 из окиси алюминия обеспечивает электрическую изоляцию между боковыми стенками графитового тигля 230 и любым подвижным электродным модулем 10, введенным в контакт с камерой 220 электролиза. Несмотря на то, что футеровка выполнена из окиси алюминия, она может быть выполнена из любого электроизолирующего керамического материала, который является, по существу, инертным в условиях обработки в камере 220 электролиза.



Верхняя часть электролизного аппарата содержит затвор 300 типа шиберной задвижки, что обеспечивает выполнение внешнего доступа в камеру 220 электролиза. Затвор 300 типа шиберной задвижки включает шлюз 310, выполненный из материала, создающего термический барьер, например керамического материала. Управляющее устройство 320 позволяет шлюзу 310 перемещаться назад и вперед для открывания и закрывания шиберной задвижки 300, таким образом, обеспечивая доступ к камере 220 электролиза в электролизном аппарате 200.

На фиг. 6 показан подвижный электродный модуль в соответствии с первым вариантом, описанным ранее со ссылками на фиг. 1-4, введенный в контакт с электролизным аппаратом типа, показанного на фиг. 5.

Нижняя внутренняя поверхность графитового тигля 230 приподнята, образуя пьедестал 232. При введении в контакт с камерой электролиза 220 подвижный электродный модуль 10 устанавливается на приподнятый пьедестал 232 в графитовом тигле 230. Таким образом, нижняя поверхность контактного катода 30 подвижного электродного модуля находится в физическом и электрическом контакте с внутренней поверхностью графитового тигля 230.

Биполярные электроды 40-46 и анод 20 подвижного электродного модуля 10 расположены в части камеры электролиза таким образом, что они электрически изолированы от боковой стенки тигля 230 керамической футеровкой 290. Нижняя поверхность 102 крышки 100 подвижного электродного модуля 10 создает контакт с верхним ободом 231 графитового тигля 230. Когда крышка входит в контакт с ободом 231, материал гибкого графитового уплотнения, установленного на верхнем ободе, деформируется, обеспечивая выполнение герметизации. Следует отметить, что материал графитового уплотнения может, как вариант, быть расположен на нижней поверхности 102 крышки 100.

При эксплуатации температура внутри камеры электролиза может значительно изменяться. Поэтому размеры некоторых компонентов подвижного электродного модуля, например, подвешенного стержня 110, могут изменяться на несколько миллиметров. Упругий материал, установленный на верхнем ободе графитового тигля 230, предпочтительно обладает достаточной упругостью и деформируемостью, чтобы приспособляться к любым таким термическим деформациям, и поддерживать работоспособное уплотнение с нижней стороной 102 крышки 100.

Анодные стояки 21, 22 подвижного электродного модуля проходят вверх через крышку 100. Электрический контакт с этими стояками может выполняться с помощью управляемых анодных шин 250 постоянного тока, которые приводятся в контакт с анодными стояками, и таким образом, обеспечивается электрическое соединение между анодом и источником энергии.

При эксплуатации камера 220 электролиза заполнена расплавленной солью, и подвижный электродный модуль, загруженный восстанавливаемым сырьем, введен в контакт с камерой электролиза. Анодные шины приводятся в контакт с анодными стояками 21, 22, и создается потенциал между анодом 20 (посредством анодных стояков и управляемых анодных шин 250) и контактным катодом 30 (посредством графитового тигля 230 и катодной шины 280 постоянного тока). Приложенный потенциал является достаточным для восстановления сырья. Необходимый потенциал может изменяться в зависимости от типа сырья и состава расплавленной соли.

Во многих случаях, в частности, для восстановления твердого сырья в расплавленном солевом электролите, может оказаться преимуществом иметь возможность ввода подвижного электродного модуля в камеру электролиза электролизного аппарата при рабочей температуре или при температуре, близкой к ней. Для многих расплавленных солевых электролитов это означает, что камера электролиза содержит расплавленную соль с температурой от 500 до 1200°C. Если бы подвижный электродный модуль при комнатной температуре был введен в камеру электролиза, содержащую расплавленную соль при температуре, например, 1000°C, компоненты подвижного электродного модуля, вероятно, были бы подвергнуты жесткой и быстрой тепловой деформации. В частности, керамические компоненты подвижного электродного модуля могут быть подвергнуты жесткому тепловому удару и, в результате - разрушению. Как осложнение, если подвижный электродный модуль, описанный ранее со ссылками на первый вариант подвижного электродного модуля, был предварительно нагрет до температуры 1000°C на воздухе, графитовые компоненты подвижного электродного модуля воспламенятся.

Может оказаться особенно желательным иметь возможность удалять подвижный электродный модуль из камеры электролиза немедленно после окончания электролиза, не ожидая, пока камера электролиза остынет. Следует принимать меры предосторожности для гарантии, что кислород, содержащийся в атмосфере, такой как воздух, не войдет в контакт с подвижным электродным модулем при высоких температурах. Отсутствие защиты от этого может привести к воспламенению графитовых компонентов электродного модуля, воспламенению или окислению восстановленных металлических продуктов, расположенных в подвижном электродном модуле, и жесткой тепловой деформации и разрушению, происходящему из-за быстрого охлаждения модуля.

Чтобы обеспечить введение подвижного электродного модуля в контакт с камерой электролиза электролизного аппарата при температуре, близкой к рабочей, и чтобы обеспечить выведение подвижного электродного модуля из контакта с камерой электролиза при температуре, близкой к рабочей, желательно, чтобы подвижный электродный модуль мог быть извлечен в переходный отсек перед передачей

или транспортированием в электролизный аппарат. Переходный отсек может включать нагревающие и/или охлаждающие элементы. Переходный отсек может быть обычным кожухом, в котором может поддерживаться инертная атмосфера, изолирующая предварительно нагретый электродный модуль перед загрузкой в камеру электролиза, или изолирующая электродный модуль, недавно выведенный из контакта с камерой электролиза, перед транспортированием в отдельное место для контролируемого охлаждения.

На фиг. 7 показан подвижный электродный модуль, описанный ранее со ссылками на фиг. 1-4, расположенный в варианте подвижного переходного отсека 400. Подвижный переходный отсек 400 включает корпус 410, выполненный из нержавеющей стали марки 310 и футерованный огнеупорной футеровкой. Огнеупорная футеровка может быть футеровкой из керамических кирпичей или любого другого подходящего материала, такого как асбестоволокнистая плита, которая создает теплоизоляцию внутренней части переходного отсека. Внутренняя часть переходного отсека включает переходную полость 420, в которой может располагаться подвижный электродный модуль 10.

Переходный отсек может включать устройства для соединения с байонетным пазом на вершине подвижного переходного отсека, и устройства для извлечения подвижного электродного модуля в переходную камеру 420. Например, переходный отсек 400 может содержать лебедку для подъема подвижного электродного модуля.

Верхняя часть переходного отсека 400 включает устройства для подъема переходного отсека, такие как скоба или скобы 430. Такие подъемные устройства дают возможность поднимать переходный отсек целиком и перемещать его в электролизный аппарат 200 и из него.

Нижняя часть переходного отсека 400 закрыта шиберной задвижкой 440. Шиберная задвижка содержит термостойкий шлюз 450, который приводится в действие для открывания и закрывания отверстия в камере 420 переходного отсека. Переходный отсек, включающий шиберную задвижку, может с легкостью устанавливаться поверх шиберной задвижки электролизного аппарата 200, как описано ранее, со ссылками на фиг. 5. Благодаря открыванию шиберных задвижек, взаимодействующих с переходным отсеком 440 и электролизным аппаратом 200, может быть обеспечен доступ к отверстию камеры 220 электролиза. Подвижный электродный модуль 10 затем может опускаться из переходной камеры 420 через отверстие в обеих шиберных задвижках, задвижке, взаимодействующей с переходным отсеком и задвижке, взаимодействующей с электролизным аппаратом, для возможности размещения электродного модуля в камере 220 электролиза. Затем соответствующие шиберные задвижки могут быть закрыты, как показано на фиг. 8, и переходный отсек 400 может быть удален.

Первый вариант подвижного переходного отсека, описанный выше и показанный на фиг. 1-4, включает восемь эффективно действующих электродов, на которых может восстанавливаться твердое сырье (т.е., верхняя часть контактного катода 30 и верхняя часть каждого из биполярных электродов 40-46). Для некоторых реакций может потребоваться восстановить меньший объем твердого сырья. С этой целью может потребоваться, чтобы подвижный электродный модуль имел меньшую площадь катодно-электродной поверхности. Второй вариант подвижного электродного модуля в соответствии с одним или несколькими аспектами изобретения показан на фиг. 12.

Габаритные размеры подвижного электродного модуля, показанного на фиг. 12, те же, что у подвижного электродного модуля, показанного на фиг. 1-4 и, таким образом, второй вариант подвижного электродного модуля может использоваться в сочетании с тем же электролизным аппаратом, что и первый вариант. Однако подвижный электродный модуль 1200 по второму варианту изобретения включает контактный катод 1230 и контактный анод 1220, с лишь одним биполярным электродом 1240, расположенным между контактным анодом 1220 и контактным катодом 1230. Контактный анод, контактный катод и биполярный электрод идентичны конструкции аналогичных структур, описанных ранее, со ссылками на первый вариант изобретения. Поскольку здесь меньше биполярных электродов расположено между контактным анодом 1220 и контактным катодом 1230, графитовые электродные стояки 1221 и 1222, по существу, длиннее, чем те, которые описаны ранее со ссылками на первый аспект изобретения. При необходимости несколько секций графитовых стояков могут быть соединены внутренними резьбовыми шпильками 1226. Крышка 1201 удерживается прямо над верхней поверхностью анода 1220 с помощью ряда электроизолирующих керамических распорок 1268.

Помимо этих специальных приспособлений, необходимых для обеспечения внешних размеров такого подвижного электродного модуля по первому варианту изобретения, все другие элементы подвижного электродного модуля в соответствии со вторым вариантом изобретения такие же, как описано ранее.

Согласно некоторым аспектам изобретения не существенно, что подвижный электродный модуль содержит биполярный электрод. На фиг. 13 приведен третий конкретный вариант подвижного электродного модуля в соответствии с одним или несколькими аспектами изобретения. Третий вариант включает контактный анод 1320 и контактный катод 1330, но не включает биполярный электрод. Контактный катод 1330 и контактный анод 1320 выполнены таким же образом, как контактный анод 20 и контактный катод 30, описанные ранее со ссылками на первый вариант изобретения. Наружные размеры подвижного электродного модуля 1300 по третьему варианту такие же, как размеры по первому и второму вариантам

подвижного электродного модуля. Все другие детали третьего варианта подвижного электродного модуля, как показано на фиг. 13, описаны выше со ссылками на первый вариант или второй вариант подвижного электродного модуля.

В вариантах, описанных ранее, подвесной стержень 110 соединен с разъемом 130 с байонетным пазом посредством фиксации конца стержня 110 в разьеме 130 посредством шайб и болтов 111. Все допуски, необходимые для формирования уплотнения между нижней стороной крышки 100 и ободом 231 тигля 230, образующим отверстие в камере 220 электролиза, достигнуты, благодаря использованию упругого герметизирующего материала на ободе. На фиг. 14 показано альтернативное соединение, которое может использоваться в варианте подвижного электродного модуля. Для удобства ссылок компонентам, идентичным тем, которые присутствуют в первом варианте, описанном ранее, присвоены те же самые ссылочные номера.

В альтернативном варианте, показанном на фиг. 14, подвесной стержень 110 электродного модуля соединен с разъемом 130 с байонетным пазом посредством фланца 1410, который передает нагрузку через ряд тарельчатых пружин 1400 на разъем с байонетным пазом. Фланец 1410 прикреплен к пружине 1400 посредством гаек 1420.

Когда модуль поднят, вес модуля передается через подвесной стержень 110, и сжимает пружину 1400. Пружина прижимается вверх, к нижней поверхности фланца 1410. Пружина 1400 может быть любым подходящим пружинным устройством. Например, пружина может включать спиральную пружину.

Соединение электродного модуля с подъемным устройством, таким как разъем с байонетным пазом, с упругой пружиной, расположенной между ними, может давать преимущества при использовании. Например, когда электродный модуль опускается в камеру электролиза, как описано ранее, выполняется контакт между ободом, окружающим отверстие камеры, и нижней поверхностью 102 крышки 100, для образования уплотнения. В вариантах, описанных ранее, чтобы обеспечить катодное соединение, пластина 30а основания модуля должна быть установлена в физическом контакте с внутренней стенкой тигля. Использование подпружиненных устройств, таких как тарельчатая пружина 1400, расположенная между подъемными устройствами и подвесным стержнем, может обеспечить дополнительный ход электродного модуля после того, как крышкой 100 образовано уплотнение. Кроме того, такие подпружиненные устройства могут преимущественно приспосабливаться к изменению размеров подвесного стержня, вызванному тепловыми флуктуациями.

Вариант подвижного электродного модуля, который включает подпружиненные устройства, расположенные между подвесным стержнем или стержнями, поддерживающими электроды, и подъемными устройствами, могут использоваться в качестве альтернативы использованию упругого герметизирующего материала, окружающего отверстие камеры электролиза, или в дополнение к нему.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Подвижный электродный модуль (10), предназначенный для восстановления твердого сырья, предпочтительно для восстановления металлического соединения, такого как оксид металла, для введения в контакт с камерой электролиза, содержащий

первый электрод (30), в котором твердое сырье удерживается в контакте с первой поверхностью первого электрода для возможности его восстановления с помощью электролиза,

второй электрод (20) и

подвесную конструкцию, содержащую подвесной стержень (110), соединенный предпочтительно на одном конце стержня с первым электродом,

в котором второй электрод подвешен или поддерживается подвесной конструкцией и в котором подвесная конструкция содержит по меньшей мере одну электроизолирующую распорку (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67) для удержания второго электрода в пространственном разделении с первым электродом,

причем подвижный электродный модуль дополнительно содержит по меньшей мере один биполярный электрод (40, 41, 42, 43, 44, 45, 46), имеющий составную конструкцию, причем по меньшей мере один биполярный электрод имеет первую часть (40b, 41b, 42b, 43b, 44b, 45b, 46b) или катодную часть, выполненную из металлического материала, и вторую часть (40a, 41a, 42a, 43a, 44a, 45a, 46a) или анодную часть, выполненную из материала, выбранного из следующих материалов: инертный материал анода для выделения кислорода, пространственно стабилизированный материал анода или углеродистый материал,

причем первая часть и/или вторая часть по меньшей мере одного биполярного электрода выполнена из пористого или перфорированного, или имеющего отверстия материала, чтобы расплавленная соль могла протекать через первую и/или вторую часть по меньшей мере одного биполярного электрода.

2. Электродный модуль (10) по п.1, в котором первый электрод (30) является контактным катодом, а второй электрод (20) является контактным анодом, при этом контактный катод и контактный анод могут соединяться с источником энергии для создания потенциала между контактным катодом и контактным анодом.

3. Электродный модуль (10) по п.1 или 2, в котором по меньшей мере один биполярный электрод

(40, 41, 42, 43, 44, 45, 46) поддерживается в пространственном разделении между первым (30) и вторым (20) электродами посредством одной или большего количества из указанной по меньшей мере одной электроизолирующей распорки (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67).

4. Электродный модуль (10) по п.3, в котором, когда между первым (30) и вторым (20) электродами создан потенциал, первая поверхность по меньшей мере одного биполярного электрода (40, 41, 42, 43, 44, 45, 46) становится катодной и в котором твердое сырье может удерживаться в контакте с первой поверхностью по меньшей мере одного биполярного электрода таким образом, что твердое сырье может быть восстановлено с помощью электролиза.

5. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-4, в котором подвесной стержень (110) проходит через второй электрод (20).

6. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-5, в котором подвесная конструкция содержит более одного подвесного стержня (110), причем каждый подвесной стержень соединен с первым электродом (30).

7. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-6, который дополнительно содержит крышку (100) для закрывания отверстия камеры электролиза, когда модуль введен в контакт с камерой электролиза.

8. Электродный модуль (10) по п.7, в котором первая поверхность крышки (100) взаимодействует с поверхностью, окружающей отверстие камеры электролиза, для герметизации отверстия камеры электролиза и/или для поддержки по меньшей мере части веса электродного модуля.

9. Электродный модуль (10) по п.7 или 8, в котором по меньшей мере один подвесной стержень (110) проходит через отверстие, выполненное в крышке (100), таким образом, что часть по меньшей мере одного подвесного стержня является наружной относительно камеры электролиза, когда модуль введен в контакт с камерой электролиза, предпочтительно таким образом, что модуль может быть поднят с помощью по меньшей мере одного подвесного стержня, и/или в котором электрическое соединение для второго электрода (20) проходит через отверстие, выполненное в крышке.

10. Электродный модуль (10) по п.2, в котором по меньшей мере один биполярный электрод (40, 41, 42, 43, 44, 45, 46) расположен между контактными катодом и контактными анодом, причем электродный модуль (10) предпочтительно содержит от 1 до 20 биполярных электродов и более предпочтительно от 2 до 10 биполярных электродов.

11. Электродный модуль (10) по п.7 или 8, в котором крышка (100) содержит теплоизоляционный материал или множество теплоизоляционных материалов и создает термический барьер.

12. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-11, который используется для электрического восстановления твердого сырья в расплавленном солевом электролите, причем твердое сырье предпочтительно содержит оксид металла, например металлическое соединение или оксид металла, такой как оксид титана или оксид тантала, или смесь металлических соединений или оксидов металла.

13. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-12, в котором подвесной стержень (110) выполнен из металлического сплава, предпочтительно из металлического сплава, который сохраняет прочность при высокой температуре, например из никелевого сплава.

14. Электродный модуль (10) по п.13, в котором по меньшей мере часть подвесного стержня (110) облицована электроизолирующим материалом, например облицована высокотемпературным изолирующим материалом, таким как оксид алюминия или нитрид бора.

15. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-14, в котором по меньшей мере одна электроизолирующая распорка (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67) выполнена из керамического материала, например материала, выбранного из группы, включающей оксид алюминия, оксид иттрия и нитрид бора.

16. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-15, в котором электроды включают в себя катод, электрическое соединение, выполненное между катодом и источником энергии с помощью физического контакта между катодом и электрическим проводником в камере электролиза.

17. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-16, который может быть подвешен к подъемному элементу на верхнем конце модуля, например, при опускании в камеру электролиза или поднимании из камеры электролиза, может быть установлен на первом электроде (30) на нижнем конце модуля, например, при введении в контакт с камерой электролиза, и/или может быть подвешен к крышке (100), например, при введении в контакт с камерой электролиза.

18. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-17, который содержит устройство для соединения модуля с подъемным механизмом для подъема и опускания модуля, например устройство для соединения содержит разъем с байонетным пазом, расположенный на верхнем конце модуля, причем весь модуль может быть подвешен с помощью разъема с байонетным пазом.

19. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-18, в котором электроды включают в себя анод и имеют электрическое соединение между анодом и источником энергии в более чем одной точке анода.

20. Электродный модуль (10) по любому из пп.1-19, в котором по меньшей мере часть по меньшей мере одного из электродов является извлекаемой из модуля для загрузки сырьем.

21. Система электролиза, содержащая камеру электролиза и подвижный электродный модуль (10) по любому из пп.1-20.

22. Система по п.21, в которой восстановление твердого сырья в расплавленном солевом электроли-

те происходит в камере электролиза.

23. Система по п.21 или 22, в которой камера электролиза содержит электрический контакт для контакта с электродом подвижного электродного модуля (10), когда модуль введен в контакт с камерой.

24. Система по пп.21-23, в которой камера электролиза содержит электропроводный тигель, чтобы вмещать расплавленную соль.

25. Система по п.24, в которой электропроводный тигель содержит электрический контакт для контакта с электродом подвижного электродного модуля (10), когда модуль введен в контакт с камерой.

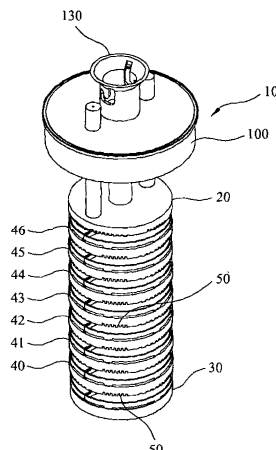
26. Система по любому из пп.21-25, которая содержит множество подвижных электродных модулей, причем каждый модуль (10) может вводиться в контакт с камерой электролиза с возможностью извлечения.

27. Система по любому из пп.21-26, которая дополнительно содержит переходный отсек для размещения подвижного электродного модуля (10) или одного из подвижных электродных модулей перед введением в контакт с камерой электролиза и/или после выведения из контакта с камерой электролиза.

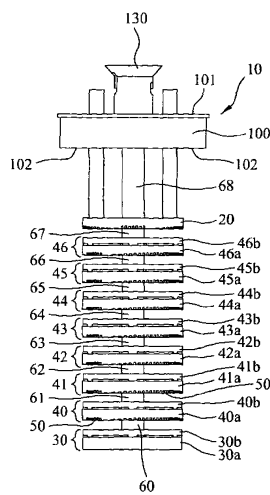
28. Система по п.27, в которой переходный отсек содержит открываемый запорный элемент, причем запорный элемент может открываться для осуществления прохода электрода модуля (10) в переходный отсек, при этом переходный отсек предпочтительно является герметизируемым с возможностью содержания контролируемой среды в переходном отсеке.

29. Система по пп.21-28, в которой отверстие камеры электролиза может закрываться посредством открываемого запорного элемента, выполненного с возможностью открытия для обеспечения прохода через него электродного модуля (10) или одного из электродных модулей.

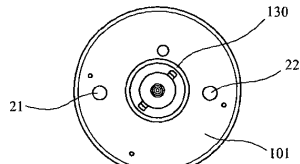
30. Система по любому из пп.21-29, в которой отверстие камеры электролиза окружено упругим материалом, так что между упругим материалом и крышкой подвижного электродного модуля (10) может образовываться уплотнение, причем упругий материал предпочтительно представляет собой упругий графитовый материал.



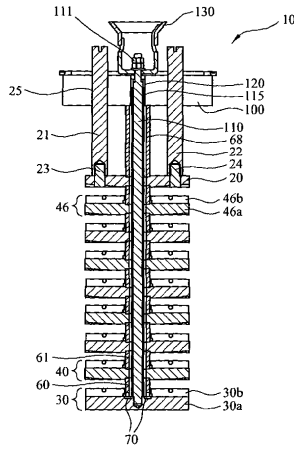
Фиг. 1



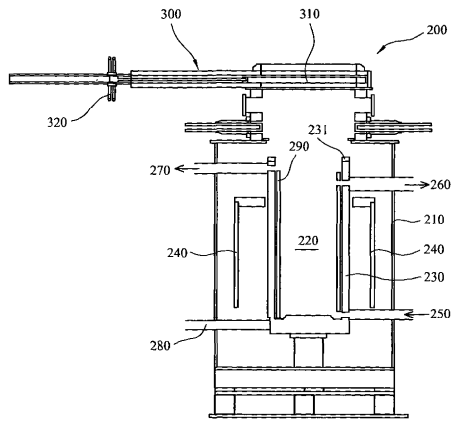
Фиг. 2



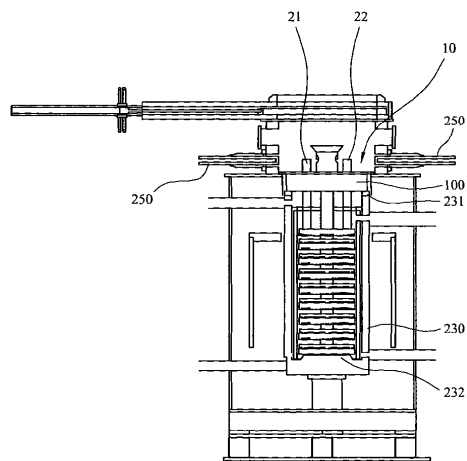
Фиг. 3



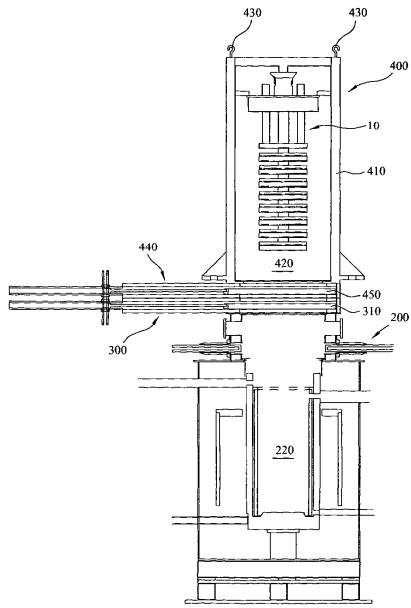
Фиг. 4



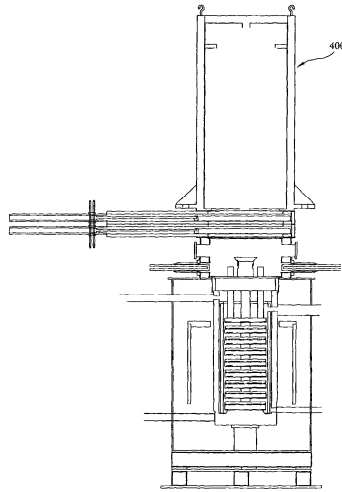
Фиг. 5



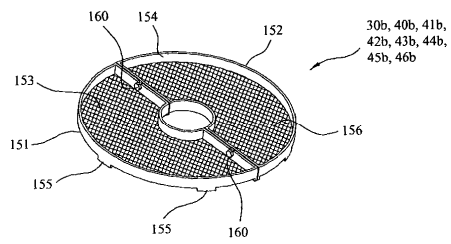
Фиг. 6



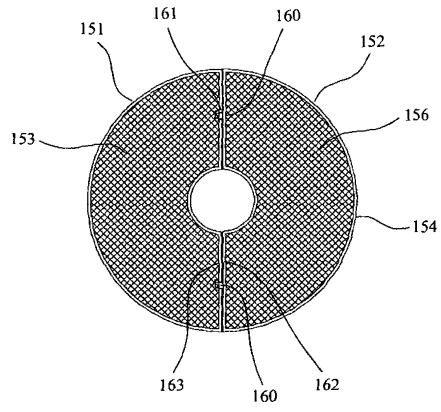
Фиг. 7



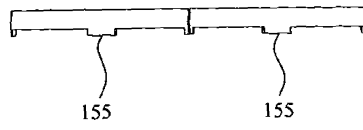
Фиг. 8



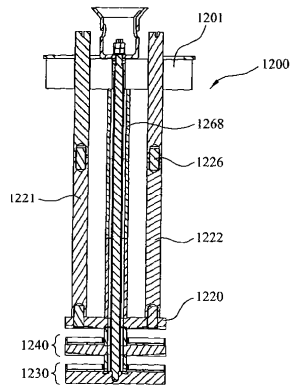
Фиг. 9



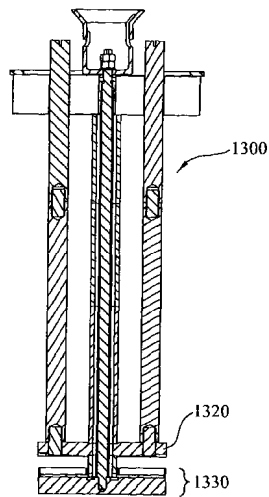
Фиг. 10



Фиг. 11



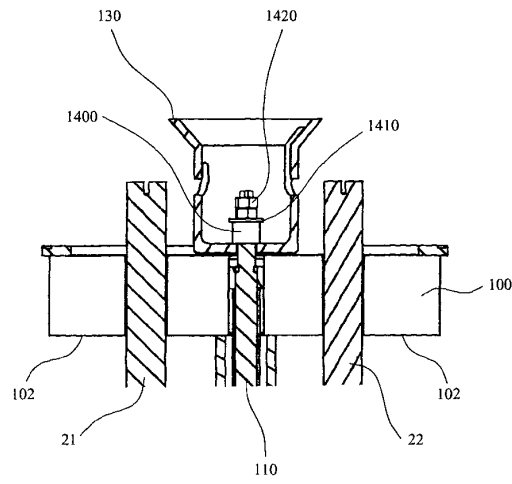
Фиг. 12



Фиг. 13



034483



Фиг. 14



Евразийская патентная организация, ЕАПВ  
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2