

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035575**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.07.09**

(51) Int. Cl. **C25C 3/20 (2006.01)**  
**C25C 3/16 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201791722**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.02.05**

---

(54) **УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ И СПОСОБ  
КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ПРИ ПРОТЕКАНИИ  
ТОКА ЭЛЕКТРОЛИЗА В ЭТОЙ УСТАНОВКЕ**

---

(31) **15 00251**

(56) **US-20080041718**  
**WO-2015017924**  
**US-20140138240**  
**US-4397728**

(32) **2015.02.09**

(33) **FR**

(43) **2017.11.30**

(86) **PCT/IB2016/000120**

(87) **WO 2016/128824 2016.08.18**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**РИО ТИНТО АЛКАН**  
**ИНТЕРНЭШНЛ ЛИМИТЕД (СА)**

(72) Изобретатель:  
**Барде Бенуа, Ренодье Стив (FR)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к установке (1) получения алюминия электролизом, которая содержит ряд (2) электролизеров, расположенных поперек относительно ряда (2), причем один из электролизеров содержит анодные узлы и подъемные и соединительные электрические проводники для соединения с анодными узлами. Подъемные и соединительные электрические проводники проходят вверх вдоль двух противоположных продольных бортов электролизера. Кроме того, установка (1) получения алюминия электролизом содержит проходящую под электролизерами первую электрическую цепь компенсации (4), по которой может течь первый ток компенсации (IC1) в обратном направлении, противоположном току электролиза (IE), и вторую электрическую цепь компенсации (6), проходящую с одной стороны ряда (2), по которой может течь второй ток компенсации (IC2) в том же направлении, что и ток электролиза (IE).

---

**B1**

**035575**

**035575**  
**B1**

Настоящее изобретение относится к установке получения алюминия электролизом, предназначенной для производства алюминия электролизом, и к способу компенсации вертикальной и горизонтальных составляющих магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза в этой установке.

Как известно, алюминий получают в промышленности из глинозема электролизом по способу Холла-Эру. Для этого предусмотрен электролизер, содержащий стальной кожух, внутри которого находится футеровка из огнеупорных материалов, катод из углеродного материала, через который проходят катодные проводники, предназначенные для отвода тока электролиза с катода, чтобы довести его до катодных выводов, пересекающих днище или боковые стенки кожуха, токопроводы, проходящие практически горизонтально от катодных выводов до следующего электролизера, ванна электролита, в которой растворен глинозем, по меньшей мере один анодный узел, содержащий по меньшей мере один анод, погруженный в ванну электролита, анодная рама, на которой подвешен анодный узел, и проходящие снизу вверх подъемные проводники (стояки) для подъема тока электролиза, соединенные с токопроводами (шинами) предыдущего электролизера для подачи тока электролиза от катодных выводов до анодной рамы и к анодному узлу и аноду следующего электролизера. В частности, аноды являются обожженными анодами с предварительно обожженными угольными блоками, то есть обожженными до введения в электролизер.

Установки по производству алюминия, или установки получения алюминия электролизом, традиционно содержат несколько сотен электролизеров, установленных поперек параллельными рядами и соединенных последовательно.

Через эти электролизеры течет ток электролиза порядка нескольких сотен тысяч ампер, что создает сильное магнитное поле. Вертикальная составляющая этого магнитного поля, создаваемая в основном токопроводами, несущими этот ток от одного электролизера к следующему, вызывает, как известно, нестабильность, называемую магнитогидродинамической (МГД) нестабильностью.

Известно, что такие МГД-нестабильности ухудшают КПД процесса. Чем больше нестабильность электролизера, тем больше должно быть межполюсное расстояние между анодом и слоем металла. Однако чем больше межполюсное расстояние, тем больше энергопотребление в процессе, так как в результате эффекта Джоуля энергия рассеивается в межполюсное пространство.

С другой стороны, горизонтальные составляющие магнитного поля, создаваемые всеми путями электрического тока, как в проводниках, находящихся внутри электролизной ванны, так и расположенных снаружи, взаимодействуют с проходящим через жидкости электрическим током, что вызывает стационарную деформацию слоя металла. Возможный перепад уровня слоя металла должен оставаться достаточно малым, чтобы аноды расходовались равномерно, оставляя мало отходов. Чтобы достичь малого перепада уровня, необходимо, чтобы горизонтальные составляющие магнитного поля были максимально антисимметричными в жидкостях (ванне электролита и слое металла). Для продольных и поперечных компонент магнитного поля, образующих горизонтальные составляющие, под антисимметричностью понимается то, что при смещении перпендикулярно центральной оси электролизера, параллельной рассматриваемой составляющей поля, и при нахождении на равном расстоянии с обеих сторон от этой центральной оси, значения рассматриваемых составляющих являются противоположными. Антисимметричность горизонтальных составляющих магнитного поля является конфигурацией, обеспечивающей наиболее симметричную и как можно более плоскую деформацию в электролизной ванне.

Известно, в частности из патентных документов FR 1079131 и FR 2469475, о борьбе с МГД-нестабильностями путем компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза, благодаря особому расположению проводников, проводящих ток электролиза. Например, согласно патентному документу FR 2469475 токопроводы обходят сбоку по контуру борта или верхние части каждого электролизера. В таком случае говорят об автокомпенсации. Этот принцип основан на локальном уравнивании магнитного поля в масштабе одного электролизера.

Основное преимущество автокомпенсации заключается в использовании самого тока электролиза для компенсации МГД-нестабильностей.

Однако автокомпенсация может приводить к значительным поперечным габаритам, так как токопроводы обходят по контуру верхние части электролизеров.

Самое главное, большая длина токопроводов для реализации этого решения приводит к электрическим потерям на линии из-за резистивного эффекта проводников, а значит к повышению эксплуатационных расходов, и требует много исходных материалов, то есть ведет к повышенным расходам на их изготовление. Эти недостатки выражены тем сильнее, чем больше размеры электролизеров и чем с большими силами тока они работают.

Кроме того, конструкция установки получения алюминия электролизом с автокомпенсированной электрической цепью является неизменной. Однако со временем может оказаться необходимым повысить силу тока электролиза выше предусмотренных при проектировании значений. Это фактически изменяет также распределение магнитного поля автокомпенсированной электрической цепи, не предполагаемого для этого нового распределения, что больше не позволяет оптимально компенсировать это магнитное поле. Существуют решения, направленные на преодоление такого отсутствия адаптируемости и на восстановление магнитной компенсации, близкой к оптимальной, но эти решения являются очень сложными и дорогими в осуществлении.

Другой подход к уменьшению МГД-нестабильностей, известный, в частности, из патентного документа FR 2425482, состоит в использовании вторичной электрической цепи, или внешнего контура, простирающегося вдоль рядов электролизеров по их боковым сторонам. Через эту вторичную электрическую цепь течет ток, сила которого составляет заданную долю от силы тока электролиза. Таким образом, внешний контур создает магнитное поле, компенсирующее эффекты магнитного поля, создаваемого током электролиза соседнего ряда электролизеров.

Из патентного документа EP 0204647 также известно о применении вторичной цепи, проходящей вдоль рядов электролизеров по боковым сторонам, чтобы снизить эффект создаваемого токопроводами магнитного поля, причем сила тока, текущего через электрические проводники этой вторичной цепи, составляет порядка 5-80% от силы тока электролиза, и этот ток течет в том же направлении, что и ток электролиза.

Преимуществом решения с компенсацией внешним контуром является наличие вторичной цепи, независимой от основной цепи, по которой течет ток электролиза.

Размещение вторичной цепи, расположенной по бокам от рядов электролизеров вблизи малых сторон кожухов, на высоте границы раздела электролит-металл позволяет компенсировать вертикальную составляющую, не влияя на горизонтальные составляющие магнитного поля.

Решение с компенсацией внешним контуром значительно уменьшает длину, массу и электрические потери токопроводов, но требует дополнительной подстанции электроснабжения и вспомогательной независимой вторичной электрической цепи.

Отметим также, что решение с компенсацией внешним контуром влечет сложение магнитных полей с током в серии, что создает очень сильное суммарное окружающее поле, так что это приводит к ограничениям на действия и оборудование (например, требуется экранирование транспортных средств), и к тому, что магнитное поле одного ряда влияет на стабильность электролизеров соседнего ряда. Чтобы ограничить влияние одного ряда на соседний, необходимо отодвинуть их друг от друга, что создает значительные пространственные ограничения и, как следствие, предполагает размещение каждого ряда электролизеров в отдельном помещении.

Кроме того, участок сопряжения цепи электролиза и вторичной цепи, соединяющий концы двух соседних рядов электролизеров, имеет тенденцию дестабилизировать электролизеры в конце ряда. Чтобы избежать нестабильности электролизеров в конце ряда, можно спроектировать этот участок вторичной цепи в соответствии с заданной траекторией, как это известно из патента FR 2868436, чтобы скорректировать магнитное поле так, чтобы влияние на электролизеры конца ряда стало приемлемым. Однако эти траектории увеличивают, в частности, длину вторичной цепи и тем самым расходы на материалы. Следует отметить, что обычное решение состоит в удлинении участка сопряжения вторичной цепи и цепи электролиза для электролизеров, находящихся на краю ряда, но это увеличивает занимаемые площади в дополнение к увеличению длины электрических проводников и таким образом ведет к повышению расходов на материалы и энергию.

Поэтому можно сделать вывод, что известные решения по компенсации внешним контуром создают довольно значительные затраты на строительство.

Таким образом, настоящее изобретение направлено на устранение всех или части этих недостатков, предлагая установку получения алюминия электролизом с магнитной конфигурацией, позволяющей достичь очень высокой магнитной стабильности электролизеров и обеспечить улучшенную компактность. Настоящее изобретение относится также к способу компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза в этой установке получения алюминия электролизом.

С этой целью объектом настоящего изобретения является установка получения алюминия электролизом, содержащая по меньшей мере один ряд электролизеров, размещенных поперек относительно длины упомянутого по меньшей мере одного ряда, причем один из электролизеров содержит анодные узлы и подъемные и соединительные электрические проводники к анодным узлам, отличающаяся тем, что подъемные и соединительные электрические проводники проходят вверх вдоль двух противоположных продольных бортов электролизера для проведения тока электролиза к анодным узлам, и тем, что установка получения алюминия электролизом содержит

по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации, проходящую под электролизерами, причем через упомянутую по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации может протекать первый ток компенсации, предназначенный для протекания под электролизерами в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза;

по меньшей мере одну вторую электрическую цепь компенсации, проходящую по меньшей мере с одной стороны упомянутого по меньшей мере одного ряда электролизеров, причем через упомянутую по меньшей мере одну вторую электрическую цепь компенсации может течь второй ток компенсации, предназначенный для протекания в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза.

Таким образом, преимущество установки получения алюминия электролизом по изобретению состоит в обеспечении очень магнитно стабильных электролизеров в результате компенсации сразу и горизонтальных, и вертикальных составляющих магнитного поля, создаваемого при протекании тока элек-

тролиза, что позволяет повысить общие эксплуатационные характеристики, причем без негативного влияния на площади, занимаемые установкой получения алюминия электролизом по изобретению, так как первая электрическая цепь компенсации проходит под электролизерами.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления подъемные и соединительные электрические проводники включают входные подъемные и соединительные электрические проводники, смежные с входным продольным бортом электролизера, и выходные подъемные и соединительные электрические проводники, смежные с выходным продольным бортом электролизера, а установка получения алюминия электролизом выполнена так, чтобы распределение тока электролиза между входными и выходными подъемными и соединительными электрическими проводниками было асимметричным, причем сила входного тока электролиза, предназначенного протекать через все входные подъемные и соединительные электрические проводники электролизера, равна 50-100% силы тока электролиза, а сила выходного тока электролиза, предназначенного протекать через все выходные подъемные и соединительные электрические проводники электролизера, равна 0-50% силы тока электролиза, причем сумма сил входного и выходного токов электролиза равна силе тока электролиза.

Одним из преимуществ этих признаков является то, что можно эффективно компенсировать магнитное поле у электролизеров больших размеров, в частности большой ширины, без повышения расходов на исходные материалы.

Действительно, если распределение входного тока электролиза является симметричным, то есть если это распределение 50% на входе и 50% на выходе, и если ширина электролизеров увеличена для достижения лучших эксплуатационных характеристик, то из-за увеличения расстояния, проходимого токопроводами под электролизером для питания выходных подъемных и соединительных электрических проводников, создается дисбаланс, вредный для надлежащей работы электролизера. Чтобы восстановить равновесие, необходимо увеличить сечение этих токопроводов под электролизером. Однако такое увеличение сечения влечет за собой значительное повышение расходов на материалы. Напротив, заявитель обнаружил, что установка получения алюминия электролизом согласно настоящему изобретению позволяет ввести несимметричность в распределение тока электролиза между входом и выходом электролизеров без неблагоприятного увеличения сечения токопроводов, получая очень магнитно стабильные электролизеры.

Выбор распределения между силами входного и выходного токов электролиза осуществляют на основе экономического исследования. Этот выбор зависит главным образом от расстояния между двумя электролизерами и от высоты электролизеров. Это распределение реализуют, подбирая сечения электрических проводников входной и выходной электрических цепей с учетом их длины.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления установка получения алюминия электролизом содержит подстанцию электроснабжения, выполненную с возможностью вызывать протекание через упомянутую по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации первого тока компенсации, сила которого вдвое больше силы выходного тока электролиза, с точностью  $\pm 20\%$ , предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$ .

Преимуществом этого признака является то, что для этого значения силы первого тока компенсации, которая напрямую зависит от распределения тока электролиза между входом и выходом электролизеров, заявитель установил, что горизонтальное магнитное поле, создаваемое первой электрической цепью компенсации, точно устраняет несимметричность горизонтального магнитного поля, являющуюся следствием асимметрии между входным и выходным токами электролиза, с тем, чтобы иметь антисимметричное распределение горизонтальных составляющих магнитного поля. Кроме того, этот первый ток компенсации позволяет частично скорректировать вертикальное магнитное поле в зависимости от распределения между входным и выходным током электролиза в электролизере, с тем, чтобы ослабить МГД-нестабильность в электролизере.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления установка получения алюминия электролизом содержит подстанцию электроснабжения, выполненную с возможностью вызывать протекание через упомянутую по меньшей мере одну вторую электрическую цепь компенсации второго тока компенсации, сила которого составляет от 50 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза, а предпочтительно от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза.

Под силой второго тока компенсации понимается сумма сил токов, протекающих в проводниках, образующих вторую цепь компенсации, в частности когда вторая цепь компенсации состоит из двух проводников (или контуров), расположенных по обе стороны электролизера.

Заявитель установил, что для этого значения силы второго тока компенсации, которая также напрямую зависит от распределения тока электролиза между входом и выходом электролизеров, вертикальное магнитное поле, создаваемое второй электрической цепью компенсации, корректирует вертикальное магнитное поле, создаваемое током электролиза, протекающим в основной электрической цепи (цепи от одного электролизера к другому), уже частично скорректированное током, протекающим в первой цепи компенсации.

Следует отметить, что этот признак является особенно предпочтительным при его использовании в сочетании с предыдущим.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления подъемные и соединительные электрические проводники распределены с равными интервалами вдоль продольного борта электролизера, с которым смежны эти подъемные и соединительные электрические проводники.

Преимуществом этого признака является наличие однородного распределения по всей длине электролизера продольной горизонтальной составляющей магнитного поля (то есть параллельной длине электролизера), что позволяет облегчить ее компенсацию за счет первой цепи компенсации.

Подъемные и соединительные электрические проводники предпочтительно расположены симметрично относительно поперечной медианной плоскости XZ электролизера, что позволяет получить антисимметричное распределение поперечной составляющей магнитного поля по оси X.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления входные подъемные и соединительные электрические проводники и выходные подъемные и соединительные электрические проводники находятся на равном расстоянии от продольной медианной плоскости YZ электролизера.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления входные подъемные и соединительные электрические проводники и выходные подъемные и соединительные электрические проводники расположены практически симметрично относительно упомянутой продольной медианной плоскости YZ электролизера.

Эта конфигурация в сочетании с первой цепью компенсации обеспечивает полную антисимметричность продольной составляющей магнитного поля по оси Y.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления упомянутая по меньшей мере одна первая электрическая цепь компенсации содержит проходящие под электролизерами электрические проводники, образующие вместе пакет (слой), состоящий из множества параллельных электрических проводников, обычно от двух до двенадцати, предпочтительно от трех до десяти параллельных электрических проводников.

Число необходимых параллельных проводников зависит отчасти от расстояния между жидкостями и этими самыми проводниками. Чем больше это расстояние, тем меньше должно быть число проводников, и чем короче расстояние, тем число проводников должно быть больше.

Преимуществом этого признака является компенсация, распределенная по всей длине электролизера, что дает лучшие результаты. Отметим, что первая электрическая цепь компенсации предназначена для того, чтобы первый ток компенсации протекал в одном и том же направлении через все электрические проводники пакета.

Сила первого тока компенсации соответствует сумме сил токов, протекающих в каждом из параллельных электрических проводников пакета, проходящего под электролизерами.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электрические проводники упомянутого пакета находятся на равном расстоянии друг от друга в продольном направлении Y электролизера.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электрические проводники упомянутого пакета расположены практически симметрично относительно поперечной медианной плоскости XZ электролизера.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электрические проводники упомянутого пакета расположены в одной и той же горизонтальной плоскости XY.

Преимущество этих признаков заключается в еще большем улучшении компенсации вредного магнитного поля.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации содержит электрические проводники, проходящие с каждой стороны упомянутого по меньшей мере одного ряда электролизера, и второй ток компенсации протекает в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза с каждой стороны электролизера.

Таким образом, электрические проводники упомянутой по меньшей мере одной второй электрической цепи компенсации образуют внутренний контур и внешний контур и в результате обеспечивают улучшенную компенсацию магнитного поля. Под внутренним контуром понимается контур, наиболее близкий к соседнему ряду, а под внешним контуром понимается наиболее удаленный контур.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления сила второго тока компенсации, протекающего во внутреннем контуре упомянутой по меньшей мере одной второй цепи компенсации, отличается от силы второго тока компенсации, протекающего во внешнем контуре упомянутой по меньшей мере одной второй цепи компенсации.

Этот признак позволяет компенсировать остаточное вертикальное магнитное поле соседнего ряда.

Сила второго тока компенсации соответствует сумме сил токов, протекающих в каждом из контуров.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления, сила второго тока компенсации, протекающего во внутреннем контуре, больше силы второго тока компенсации, протекающего во внешнем контуре.

Это позволяет скорректировать магнитное поле, создаваемое соседним рядом. Этот соседний ряд

создает магнитное поле, пропорциональное току в серии, из которого вычтен удвоенный выходной ток электролиза, тогда как "обычная" электролизная серия испытывает действие магнитного поля, прямо пропорционального полному току электролиза. Таким образом, благодаря первой цепи компенсации возмущающее поле, создаваемое соседним рядом, намного слабее и требует намного меньшей коррекции. Следовательно, что касается второй цепи компенсации, разница между силой тока во внутреннем контуре и силой тока во внешнем контуре будет намного меньше, чем в случае патента EP 0204647, и разница между двумя рядами электролизеров может быть сведена к минимуму.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электрические проводники, образующую вторую электрическую цепь компенсации, расположены практически симметрично относительно поперечной медианной плоскости XZ электролизеров.

Это улучшает компенсацию вредного магнитного поля.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электрические проводники второй электрической цепи компенсации проходят в одной и той же горизонтальной плоскости XY, предпочтительно на высоте слоя жидкого алюминия, образующегося в электролизерах в ходе реакции электролиза.

Такое расположение улучшает компенсацию вертикального магнитного поля, не влияя на горизонтальную составляющую поля, уже скомпенсированную первой цепью компенсации.

Предпочтительно установка получения алюминия электролизом содержит два последовательных и параллельных ряда электролизеров, и цепь внутреннего контура образует на конце ряда средства компенсации эффектов "конца ряда", вызываемых соединительными проводниками между рядами, что дополнительно обеспечивает магнитную стабильность и тем самым улучшает эксплуатационные характеристики электролизеров в конце ряда.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления упомянутая по меньшей мере одна первая электрическая цепь компенсации является независимой от основной электрической цепи, по которой течет ток электролиза.

Этот признак обладает тем преимуществом, что ограничиваются последствия аварии, такой как протечка из электролизера жидкостей, содержащихся в этом электролизере. Кроме того, этот признак выгоден с точки зрения приспособляемости, так как он позволяет менять силу первого тока компенсации для регулировки магнитной компенсации. Регулировка магнитной компенсации полезна, когда электролизеры модифицируют, так как магнитная конфигурация этих электролизеров изменяется, или для адаптации перемешивания глинозема к качеству этого глинозема (что позволяет сохранить оптимальные эксплуатационные характеристики, несмотря на разное качество глинозема).

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации является независимой от основной электрической цепи, по которой течет ток электролиза.

Как пояснялось выше, это дает преимущество в отношении приспособляемости, позволяя менять силу первого тока компенсации для регулировки магнитной компенсации.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления электролизер имеет модульную электрическую конструкцию из N модулей, повторяющихся в направлении его длины, причем каждый модуль содержит электрические проводники, выполненные с возможностью создавать заранее заданную одинаковую магнитную конфигурацию.

Этот признак выгоден с точки зрения приспособляемости: он позволяет проводить модификации электролизера, например делать его больше, добавляя один или несколько модулей, без изменения принципа магнитного равновесия электролизера.

Чтобы получить одинаковую магнитную конфигурацию, каждый электрический модуль имеет одинаковое расположение электрических проводников, причем через каждый электрический проводник электрического модуля протекает ток такой же силы и в таком же направлении, что и через электрический проводник, соответствующий соседнему электрическому модулю. Электрические проводники каждого модуля представляют собой, в частности, подъемные и соединительные электрические проводники, анодные узлы, катоды, катодные проводники, катодные выводы, токопроводы и электрические проводники пакета электрических проводников первой электрической цепи компенсации. Таким образом, эти электрические проводники расположены относительно друг друга в одном модуле так же, как и в другом. В частности, каждый электрический модуль содержит одинаковое число электрических проводников в пакете электрических проводников первой электрической цепи компенсации.

Следует подчеркнуть, что электролизеры установки получения алюминия электролизом имеют все или часть упомянутых выше признаков электролизера.

Изобретение относится также к способу компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза во множестве электролизеров установки получения алюминия электролизом, имеющей указанные выше признаки, включающему

протекание в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза, первого тока компенсации через упомянутую по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации,

протекание в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза, второго

тока компенсации через упомянутую по меньшей мере одну вторую электрическую цепь компенсации.

Таким образом, упомянутый способ обеспечивает эффективную магнитную компенсацию магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза в серии электролизеров установки получения алюминия электролизом, при этом ограничивая занимаемую площадь.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления способ включает асимметричное распределение тока электролиза между входом и выходом электролизеров, причем через комплект подъемных и соединительных электрических проводников на входе электролизеров протекает входной ток электролиза, сила которого составляет 50-100% силы тока электролиза, а через комплект подъемных и соединительных электрических проводников на выходе электролизеров протекает выходной ток электролиза, сила которого составляет 0-50% силы тока электролиза, причем сумма сил входного и выходного токов электролиза равна силе тока электролиза.

Этот способ позволяет получить магнитно стабильные электролизеры, в том числе когда электролизеры имеют большие размеры, в частности большую ширину. Таким образом, можно существенно повысить эксплуатационные характеристики.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления сила первого тока компенсации равна удвоенной силе выходного тока электролиза с точностью  $\pm 20\%$ , предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$ .

Преимуществом этого признака является то, что для этого значения силы первого тока компенсации, которое напрямую зависит от распределения тока электролиза между входом и выходом электролизеров, заявитель обнаружил, что горизонтальное магнитное поле, создаваемое первой электрической цепью компенсации, точно корректирует асимметричность между входным и выходным токами с тем, чтобы получить антисимметричное распределение горизонтальных составляющих магнитного поля. Этот первый ток компенсации позволяет также скорректировать все вертикальное магнитное поле или его часть в соответствии с распределением между током электролиза на входе и выходе электролизера, чтобы ослабить МГД-нестабильности в электролизере. Вертикальное магнитное поле корректируется в полном объеме, если распределение между входным и выходным токами составляет 50%.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления сила второго тока компенсации составляет от 50 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза, предпочтительно от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза.

Аналогично заявитель обнаружил, что для таких значений силы второго тока компенсации, которые также напрямую зависят от распределения тока электролиза между входом и выходом электролизеров, вертикальное магнитное поле, создаваемое второй электрической цепью компенсации, точно корректирует остаточное вертикальное магнитное поле, получаемое в результате суммирования вертикального магнитного поля от тока электролиза (цепи от электролизера к электролизеру) и от первой цепи компенсации.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации содержит внутренний контур и внешний контур, причем сила второго тока компенсации, протекающего во внутреннем контуре, отличается от силы второго тока компенсации, протекающего во внешнем контуре.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления сила второго тока компенсации, протекающего во внутреннем контуре, больше силы второго тока компенсации, протекающего во внешнем контуре.

Согласно одному предпочтительному варианту осуществления способ включает этап анализа по меньшей мере одной характеристики глинозема по меньшей мере в одном из электролизеров упомянутой установки получения алюминия электролизом и определение значений силы первого тока компенсации и второго тока компенсации, подлежащих пропуску в зависимости от упомянутой по меньшей мере одной проанализированной характеристики.

Таким образом, способ позволяет поменять магнитную компенсацию, чтобы намеренно вызывать в особых случаях модификацию течения в жидкостях и скорость течения, контролируя при этом (мало ухудшая) МГД-нестабильности на границе раздела электролит/металл. Действительно, течение жидкостей (электролита+алюминия) способствует эффекту перемешивания глинозема, что, в зависимости от скоростей и формы течения, а также в зависимости от качества глинозема позволяет улучшить эксплуатационные характеристики. Таким образом, этот предпочтительный вариант осуществления позволяет повысить эксплуатационные характеристики за счет оптимизации течения для растворения глинозема, одновременно контролируя уровень "ухудшения" МГД-стабильности на границе раздела электролит/металл.

Другие признаки и преимущества настоящего изобретения выявятся более четко из нижеследующего описания частного варианта его осуществления, приводимого в качестве неограничивающего примера с обращением к приложенным чертежам, на которых

фиг. 1 показывает схематический вид установки получения алюминия электролизом согласно уровню техники;

фиг. 2 показывает схематический вид сбоку двух последовательных электролизеров согласно уровню техники;

фиг. 3 показывает линейную схему электрической цепи, по которой течет ток электролиза в двух

электролизерах с фиг. 2;

фиг. 4 показывает схематический вид в разрезе по продольной вертикальной плоскости электролизера согласно уровню техники;

фиг. 5 показывает схематический вид установки получения алюминия электролизом согласно одному варианту осуществления изобретения;

фиг. 6 показывает схематический вид сбоку двух последовательных электролизеров установки получения алюминия электролизом согласно одному варианту осуществления изобретения;

фиг. 7 показывает схематический вид в разрезе по продольной плоскости YZ электролизера установки получения алюминия электролизом согласно одному варианту осуществления изобретения;

фиг. 8 показывает линейную схему электрической цепи, по которой течет ток электролиза в электролизере установки получения алюминия электролизом согласно одному варианту осуществления изобретения;

фиг. 9 представляет собой таблицу, показывающую силу тока электролиза, текущего через каждый сегмент с фиг. 8;

фиг. 10-12 показывают линейные схемы электрической цепи, по которой течет ток электролиза в электролизере установки получения алюминия электролизом согласно одному варианту осуществления изобретения, показывая для этого электролизера зоны, генерирующие значительное магнитное поле;

фиг. 13 представляет собой таблицу, показывающую вклад каждого сегмента с фиг. 10-12 в расчет вертикальной составляющей магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза;

фиг. 14 представляет собой таблицу, показывающую вклад каждого сегмента с фиг. 10-12 в расчет продольной горизонтальной составляющей магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза.

Фиг. 1 показывает установку 100 получения алюминия электролизом согласно уровню техники. Установка 100 получения алюминия электролизом содержит электролизеры, размещенные поперек длины ряда, который они образуют. В данном примере электролизеры размещены в два параллельных ряда 101, 102. Через эти электролизеры течет ток электролиза  $I_{100}$ . По бокам рядов 101, 102 проходят две электрические цепи 104, 106 компенсации, чтобы компенсировать магнитное поле, создаваемое при протекании тока электролиза  $I_{100}$  от одного электролизера к другому и в соседнем ряду. По электрическим цепям 104, 106 компенсации текут соответственно токи  $I_{104}$ ,  $I_{106}$ , протекающие в том же направлении, что и ток электролиза  $I_{100}$ . Подстанции 108 электроснабжения питают серию электролизеров и электрические цепи 104, 106 компенсации. Согласно этому примеру при токе электролиза силой 500 кА и с учетом магнитных возмущений "конца ряда", расстояние  $D_{100}$  между ближайшими к подстанциям 108 электроснабжения электролизерами и подстанциями 108 электроснабжения составляет порядка 45 м, и расстояние  $D_{300}$ , на которое электрические цепи 104, 106 компенсации выходят за пределы ряда, составляет порядка 45 м, тогда как расстояние  $D_{200}$  между двумя рядами 101, 102 составляет порядка 85 м, чтобы ограничить магнитные возмущения одного ряда другим.

Фиг. 2 показывает два последовательных традиционных электролизера 110 того же ряда электролизеров. Как можно видеть на фиг. 2, электролизер 110 содержит кожух 112, футерованный огнеупорными материалами 114, катод 116 и аноды 118, погруженные в ванну электролита, на дне которой образуется слой 122 алюминия. Катод 116 электрически соединен с катодными проводниками 124, которые проходят через боковые стенки кожуха 112 на уровне катодных выводов 126. Катодные выводы 126 соединены с токопроводами 128, которые проводят ток электролиза до подъемных и соединительных электрических проводников 130 следующего электролизера. Как можно видеть на фиг. 2, эти подъемные и соединительные электрические проводники 130 проходят наклонно с одной, входной стороны электролизеров 110 и простираются выше анодов 118 до центральной продольной части электролизеров 110.

Электролизер имеет надстройку 132, которая проходит продольно над кожухом 112 и анодами 118. Надстройка 132 содержит, в частности, балку, опирающуюся на опоры (не показаны) на каждом из своих продольных концов. Балка несет анодную раму 134, и анодная рама 134 также проходит продольно выше кожуха 112 и анодов 118. Анодная рама 134 несет анодные узлы, которые электрически соединены с анодной рамой 134.

Фиг. 3 схематически показывает путь, проходимый током электролиза  $I_{100}$  в каждом из электролизеров 110 и между двумя такими соседними электролизерами 110, какие показаны на фиг. 2. Отметим, в частности, что подъем тока электролиза  $I_{100}$  до анодного узла электролизера 110 является асимметричным, поскольку этот подъем осуществляется только на входе электролизеров 110 в общем направлении протекания тока электролиза  $I_{100}$  в ряду (слева от электролизеров на фиг. 2 и 3).

Фиг. 4 показывает расположение по бокам электролизеров 110 согласно уровню техники электрических проводников, образующих электрические цепи 104, 106 компенсации, причем по этим электрическим проводникам протекают соответственно токи компенсации  $I_{104}$ ,  $I_{106}$ , текущие в том же направлении, что и ток электролиза  $I_{100}$ , в данном примере текущий по токопроводам 128, размещенным под электролизером.

Фиг. 5 показывает установку 1 получения алюминия электролизом в соответствии с одним вариантом осуществления изобретения. Установка 1 получения алюминия электролизом предназначена для по-



лучения алюминия электролизом по способу Холла-Эру.

Установка 1 получения алюминия электролизом содержит множество практически прямоугольных электролизеров, предназначенных для получения алюминия электролизом, причем эти электролизеры могут быть выстроены в один или несколько рядов 2, которые могут быть практически параллельными. При необходимости ряды 2 электрически соединены последовательно и питаются током электролиза IE. Установка 1 получения алюминия электролизом содержит также первую электрическую цепь 4 компенсации, которая проходит под рядом или рядами электролизеров, и вторую электрическую цепь 6 компенсации, которая проходит по меньшей мере с одной стороны ряда или рядов 2 электролизеров. Согласно примеру с фиг. 5, вторая электрическая цепь 6 компенсации проходит с обеих сторон каждого ряда 2 электролизеров. Также согласно примеру с фиг. 5, установка получения алюминия электролизом содержит два ряда электролизеров, расположенных параллельно друг другу, запитываемых током от одной и той же подстанции 8 электроснабжения и электрически соединенных последовательно, так что ток электролиза IE, протекающий в первом из двух рядов 2 электролизеров, протекал затем во втором из двух рядов 2 электролизеров. Электролизеры расположены поперек относительно каждого ряда 2, который эти электролизеры образуют. Отметим, что под поперечным расположением электролизера 2 понимается, что наибольший размер электролизера 2, т.е. его длина, практически перпендикулярен общему направлению течения тока IE электролиза.

В настоящем описании термины "входной" и "выходной" определяются относительно общего направления протекания тока электролиза IE, то есть направления протекания тока электролиза IE в масштабе ряда 2 электролизеров.

Следует уточнить также, что описание проводится с привязкой к декартовой системе координат, связанной с электролизером, при этом ось X ориентирована в поперечном направлении электролизера, ось Y ориентирована в продольном направлении электролизера, а ось Z ориентирована в вертикальном направлении электролизера. Таким образом, ориентации, направления, плоскости и продольные, поперечные и вертикальные перемещения определяются относительно этой системы координат.

Отметим, что электролизеры установки получения алюминия электролизом предпочтительно являются электролизерами с большими размерами, причем применение электролизеров с большими размерами стало возможным благодаря особой конфигурации электролизеров установки получения алюминия электролизом по изобретению, как более подробно будет описано ниже. Размеры электролизера определяют по площади поверхности на земле, которую занимает этот электролизер. При этом считается, что размеры электролизера задаются наружными размерами его кожуха. Под электролизером больших размеров понимается электролизер, ширина которого больше 4 м, предпочтительно больше или равна 5 м, в частности больше или равна 6 м, и/или длина которого больше 15 м, предпочтительно больше или равна 20 м, в частности больше или равна 25 м.

Фиг. 6 детально показывает электролизеры 10 установки 1 получения алюминия электролизом в соответствии с одним вариантом осуществления. Как показано на этой фигуре, электролизеры 10 установки 1 получения алюминия электролизом содержат кожух 12, анодные узлы 14, катод 16, пересекаемый катодными электрическими проводниками 18, предназначенными для отвода тока электролиза IE от катода 16, чтобы провести его до других электрических проводников, называемых катодными выводами 20 наружу кожуха 12, подъемные и соединительные электрические проводники 22 для подъема и соединения с анодными узлами 14 для подвода тока электролиза IE к анодным узлам 14 и токопроводы 24, соединенные с катодными выводами 20 и предназначенные для проведения тока электролиза IE от катодных выводов 20 до подъемных и соединительных электрических проводников 22 следующего электролизера 10.

Кожух 12 имеет внутреннюю футеровку 26 из огнеупорных материалов. Как показано на фиг. 6 и 7, кожух 12 предпочтительно содержит усиливающие контрфорсы 28. Кожух 12 может быть металлическим, например из стали.

Анодные узлы 14 содержат анододержатель 30 и по меньшей мере один анод 32. Анод или аноды 32 выполнены, в частности, из углеродного материала и, более конкретно, являются предварительно обожженными анодами. Что касается анододержателя 30, он имеет первую электропроводящую часть 34, например поперечину, простирающуюся практически в поперечном направлении X электролизеров 10, и вторую электропроводящую часть 36, образованную из нескольких электропроводящих элементов, которые можно назвать "ниппелями", причем ниппели имеют дальний конец, электрически соединенный с первой частью 34 анододержателя 30, и ближний конец, электрически соединенный с анодом или анодами 32, чтобы проводить ток электролиза IE от первой части 34 анододержателя 30 к этому аноду или анодам 32. Анодные узлы 14 предназначены периодически удаляться и заменяться, когда анод или аноды 32 израсходуются.

Катод 16 может быть образован из нескольких катодных блоков из углеродного материала. Катод 16 пересекает катодные проводники 18, предназначенные для отвода тока электролиза IE с катода 16, чтобы провести его до катодных выводов 20, предпочтительно выходящих через днище кожуха 12, как показано на фиг. 6.

Подъемные и соединительные электрические проводники 22 проходят вверх вдоль двух противопо-

ложных продольных бортов 38 каждого электролизера 10 для проведения тока электролиза ИЕ к анодным узлам 14. Уточним, что продольные борта 38 электролизеров 10 соответствуют бортам наибольшего размера, то есть бортам электролизеров 10, практически параллельным продольному направлению Y. Например, электролизер 10, работающий при силе тока 400-1000 кА, может, например, предпочтительно содержать от 4 до 40 подъемных и соединительных проводников 22, равномерно распределенных по всей длине каждого из этих двух продольных бортов 38. Подъемные и соединительные электрические проводники 22 содержат входные подъемные и соединительные электрические проводники 22А, то есть смежные с входным продольным бортом 38 электролизера 10, и выходные подъемные и соединительные электрические проводники 22В, то есть смежные с выходным продольным бортом 38 электролизера 10. Входные подъемные и соединительные электрические проводники 22А электрически соединены с входным концом первой части 34 анододержателя 30, а выходные подъемные и соединительные электрические проводники 22В электрически соединены с выходным концом этой первой части 34 анододержателя 30.

Токопроводы 24 соединены с катодными выводами 20 и предназначены проводить ток электролиза ИЕ от этих катодных выводов 20 до подъемных и соединительных электрических проводников 22 следующего в серии электролизера 10.

Катодные проводники 18, катодные выводы 20 и/или токопроводы 24 могут представлять собой металлические стержни, возможно, композитные (составные), например из алюминия, меди и/или стали.

В ходе реакции электролиза образуется слой жидкого алюминия 40.

Отметим, что электролизеры 10 установки 1 получения алюминия электролизом по изобретению предпочтительно являются электролизерами 10 того типа, где замена анодов происходит путем вытягивания по вертикали вверх анодных узлов 14 выше электролизера 10, как это показано на примере правого электролизера 10 на фиг. 6. Подъемные и соединительные проводники 22 проходят с обеих сторон от кожуха 12, не заходя вровень с анодами 32, то есть не заходя в объем, полученный вертикальной проекцией поверхности анодов 32 на горизонтальную плоскость. Помимо выгоды, получаемой от того, что это позволяет производить замену анода 32 путем вертикального вытягивания вверх, это позволяет также уменьшить длину подъемных и соединительных проводников 22 по сравнению с использованием подъемных и соединительных проводников 130 классического типа, какие можно видеть на фиг. 2, которые обычно проходят над электролизером 110 до центральной продольной части электролизера 110. Это способствует снижению стоимости изготовления. Отметим также, что горизонтальная часть 34 анододержателя 30 поддерживается и подсоединяется на каждом из двух продольных бортов 38 каждого электролизера 10.

Итак, анодный узел больше не поддерживается и электрически не подсоединяется выше кожуха и анодов посредством надстройки 132, как это имеет место у электролизеров уровня техники, показанных на фиг. 2. Следовательно, электролизеры 10 установки 1 получения алюминия электролизом в этом варианте осуществления изобретения не имеют надстройки. Отсутствие надстройки позволяет увеличить ширину и/или длину электролизеров 10, чтобы извлечь выгоду от электролизеров 10 больших размеров, как указывалось выше. Такое расширение или удлинение электролизеров 110 уровня техники не возможно из-за наличия надстройки 132, так как это расширение и/или удлинение повлекло бы расширение и/или удлинение самой надстройки 132, то есть пролета балки между поддерживающими балку опорами, и увеличение веса, несомого этой надстройкой 132. Существуют надстройки, содержащие одну или несколько промежуточных арок для поддержки балки, но такие промежуточные арки, простирающиеся поперек над кожухом 112 и анодами 118, занимают много места и усложняют операции на электролизерах, в частности по замене анодов.

Тот факт, что можно увеличивать размеры электролизеров, в сочетании с повышением силы тока электролиза ИЕ, не создавая при этом МГД-нестабильностей вследствие особой магнитной конфигурации установки 1 получения алюминия электролизом по изобретению, описываемой более подробно ниже, позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики установки 1 получения алюминия электролизом по сравнению с уровнем техники.

Действительно, электрические проводники установки 1 получения алюминия электролизом (в частности, подъемные и соединительные электрические проводники 22, анододержатель 30, катодные выводы 20, токопроводы 24, электрические проводники первой и второй электрических цепей 4, 6 компенсации) выполнены с возможностью получения эффективной компенсации горизонтальных и вертикальной составляющих магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза ИЕ, и в результате снижения МГД-нестабильностей, то есть улучшенных эксплуатационных характеристик.

Более конкретно распределение тока электролиза ИЕ, текущего через подъемные и соединительные электрические проводники 22, является асимметричным между входными 22А и выходными 22В подъемными и соединительными электрическими проводниками. Ток электролиза ИЕ разделяется на входной ток электролиза ИЕА, который течет через весь комплект входных подъемных и соединительных электрических проводников 22А электролизеров 10, и выходной ток электролиза ИЕВ, который течет через весь комплект выходных подъемных и соединительных электрических проводников 22В электролизеров 10. Сила входного тока электролиза ИЕА равна 50-100% силы тока электролиза ИЕ, тогда как сила выходного тока электролиза ИЕВ равна 0-50% силы тока электролиза ИЕ, причем следует уточнить, что входной

IEA и выходной IEВ токи электролиза являются взаимодополняющими, то есть сумма сил входного IEA и выходного IEВ токов электролиза равна силе тока электролиза IE.

Это асимметричное распределение с преобладанием входного тока по сравнению с выходным особенно выгодно, когда электролизеры 10 установки получения алюминия электролизом являются электролизерами больших размеров. Действительно, асимметричность входного/выходного тока электролиза IE позволяет избежать необходимости в слишком большом увеличении сечения токопроводов 24 под электролизером 10, так что достигается экономия материалов и пространства, причем без вреда для магнитной стабильности электролизера 10.

Выбор распределения между силами входного IEA и выходного IEВ токов электролиза осуществляют на основе экономического исследования. Этот выбор зависит главным образом от расстояния между двумя электролизерами и от высоты электролизеров. Это распределение реализуют, подбирая сечения электрических проводников входной и выходной электрических цепей с учетом их длины.

Подъемные и соединительные проводники 22 проходят практически вертикально, предпочтительно только вертикально, чтобы протекание тока электролиза IE через подъемные и соединительные проводники 22 создавало магнитное поле только с горизонтальными составляющими, но без вертикальной составляющей.

Аналогично вторая часть 36 анододержателя 30 анодного узла 14 и/или катодные выводы 20 проходят преимущественно в вертикальном направлении, а предпочтительно исключительно вертикально, чтобы протекание тока электролиза IE через эту вторую часть 36 и/или через катодные выводы 20 создавало магнитное поле, имеющее только горизонтальные составляющие, но не вертикальную составляющую.

Отметим, что катодные выводы 20 предпочтительно пересекают днище кожуха 12. То, что катодные выводы 20 размещены проходящими через дно, а не расположены по бокам электролизера, как в уровне техники (фиг. 2), позволяет уменьшить длину токопроводов 24. Уменьшение длины токопроводов 24 позволяет, помимо экономии на исходных материалах, существенно снизить горизонтальные токи в жидкостях и, таким образом, достичь лучшей МГД-стабильности.

Кроме того, в целях эффективной компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза IE, первая часть 34 анододержателя 30 анодного узла 14 проходит, предпочтительно исключительно, практически горизонтально и параллельно поперечному направлению X электролизеров 10.

Аналогично токопроводы 24 преимущественно проходят практически по прямой линии и параллельно поперечному направлению X электролизеров 10 до подъемных и соединительных проводников 22 следующего электролизера 10. Тем самым снижаются расходы на токопроводы 24 в результате уменьшения их длины. Ослабляются также создаваемые этими токопроводами 24 магнитные поля по сравнению с уровнем техники, в частности по сравнению с электролизерами с автокомпенсацией уровня техники.

Подъемные и соединительные электрические проводники 22 предпочтительно размещены через равные интервалы практически по всей длине смежного с ними продольного борта 38. Иными словами, одинаковое расстояние разделяет два последовательных подъемных и соединительных электрических проводника 22 в продольном направлении Y. Это позволяет улучшить баланс продольной горизонтальной составляющей магнитного поля (то есть параллельной длине электролизера 10).

Входные подъемные и соединительные электрические проводники 22A и выходные подъемные и соединительные электрические проводники 22B могут находиться на одинаковом расстоянии от продольной медианной плоскости YZ каждого электролизера 10, то есть плоскости, практически перпендикулярной поперечному направлению X и разделяющей каждый электролизер 10 на две практически равные части. Другими словами, входные подъемные и соединительные электрические проводники 22A находятся на таком же расстоянии от продольной медианной плоскости YZ, что и выходные подъемные и соединительные электрические проводники 22B. Кроме того, входные подъемные и соединительные электрические проводники 22A предпочтительно расположены практически симметрично выходным подъемным и соединительным электрическим проводникам 22B относительно этой продольной медианной плоскости YZ. В результате еще больше улучшается выгодная, практически антисимметричная характеристика распределения горизонтального магнитного поля в жидкостях.

Чтобы ослабить магнитное поле, создаваемое при протекании тока электролиза через подъемные и соединительные электрические проводники 22, эти подъемные и соединительные электрические проводники предпочтительно проходят над жидкостями (ванной электролита) на высоте  $h$ , составляющей от 0 до 1,5 м. Таким образом, длина подъемных и соединительных проводников 22 значительно уменьшена по сравнению с подъемными и соединительными проводниками 130 классического типа, которые проходят на высоте более двух метров в случае электролизеров 130 уровня техники.

Для большей компактности установки 1 получения алюминия электролизом и снижения расходов на исходные материалы входные подъемные и соединительные проводники 22A электролизеров 10 могут быть расположены в шахматном порядке относительно выходных подъемных и соединительных проводников 22B предшествующего электролизера 10 в ряду 2. Действительно, это позволяет максимально приблизить электролизеры 10 друг к другу, чтобы либо разместить больше электролизеров 10 в серии при одинаковой длине, что повышает производительность, либо уменьшить длину ряда 2 электролизеров 10, то есть выиграть на площадях и достичь экономии на конструкции.

Для эффективной компенсации горизонтальных составляющих магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза  $I_E$ , то есть чтобы иметь антисимметричные горизонтальные составляющие, первый участок 34 анододержателя 30 анодного узла 14 и второй участок 36 анододержателя 30 анодного узла 14 выполнены так, чтобы сила доли тока электролиза, текущей через входную половину этого второго участка 36, была практически равна силе доли тока электролиза, текущей через выходную половину этого второго участка 36. Другими словами, и как это показано на фиг. 8, сила доли тока электролиза, текущей через все ниппели, находящиеся с входной стороны от продольной медианной плоскости  $YZ$  электролизера 10, практически равна силе доли тока электролиза, текущей через все ниппели, находящиеся с выходной стороны от этой продольной медианной плоскости  $YZ$ . В частности, как следует из сегмента S9 фиг. 8, рассматриваемого в сочетании с таблицей фиг. 9, часть входного тока электролиза  $I_{EA}$  доходит до ниппелей, находящихся с выходной стороны от центральной плоскости  $YZ$  электролизера 10. Это получается благодаря глобальной электрической балансировке различных секций проводников.

Принцип магнитной компенсации или балансировки установки 1 получения алюминия электролизом по изобретению позволяет получить для такого установки 1 получения алюминия электролизом цепь проводников, которую можно реализовать в виде модулей, как это показано на фиг. 7. Каждый модуль  $M$  может содержать, например, один электрический проводник первой электрической цепи 4 компенсации, некоторое число токопроводов 24 и подъемных и соединительных проводников 22, относящихся к каждому электролизеру 10. Фактически, электрические проводники, содержащиеся в каждом модуле  $M$  (подъемные и соединительные проводники 22, анодный узел 14, катод 16, катодные проводники 18, катодные выводы 20, токопроводы 24, электрические проводники первой цепи 4 компенсации) выполнены с возможностью создавать одинаковую, заранее заданную магнитную конфигурацию. Другими словами, электрические проводники каждого модуля  $M$  расположены так и несут такие токи, чтобы каждый модуль  $M$  создавал одинаковые вертикальную и горизонтальные составляющие магнитного поля.

Цепь проводников и, следовательно, каждый электролизер 10 могут состоять из некоторого числа  $N$  модулей  $M$ , определяющих длину электролизеров 10 и силу текущего через электролизеры 10 тока (причем сила тока электролиза  $I_E$ , протекающего в серии электролизеров, равна силе доли тока электролиза, текущей через каждый модуль  $M$ , умноженной на число  $N$  модулей  $M$ ).

Важно подчеркнуть, что, учитывая магнитную конфигурацию каждого модуля  $M$ , выбор числа  $N$  модулей  $M$  в расчете на электролизер 10, компенсируемый вторичной цепью 6 компенсации на концах электролизера, мало возмущает магнитное равновесие электролизеров 10. Это позволяет получить оптимальную магнитную конфигурацию, причем для силы тока выше 1000 кА и даже 2000 кА при проектировании или увеличении длины электролизеров 10 путем добавления таких модулей. Напротив, удлинение электролизеров автокомпенсируемого типа или электролизеров с компенсацией цепями магнитной компенсации, расположенными по бокам известных из уровня техники электролизеров, вынуждает полностью переработать цепи проводников. Аналогично количество материала, образующего цепь проводников, отнесенное к производственной площади электролизеров 10, не ухудшается при увеличении длины электролизеров 10, оно увеличивается пропорционально числу  $N$  модулей  $M$  и силе протекающего через электролизеры 10 тока. Таким образом, электролизеры 10 можно просто удлинять в зависимости от потребности, и сила протекающего через них тока не ограничена. Таким образом, модульная конструкция электрических проводников электролизеров 10 выгодна с точки зрения приспособляемости, так как эта модульная конструкция, в сочетании с простой корректировкой силы тока вторичной цепи компенсации, позволяет модифицировать электролизеры 10, не нарушая их магнитного и электрического равновесия.

Таблица фиг. 9 в сочетании с фиг. 8 показывает для одного модуля значения силы тока, текущего через различные электропроводящие элементы электролизеров 10, причем эти проводящие элементы символически обозначены сегментами: S1 для входных подъемных и соединительных проводников 22A; S2, S5 и S8 для первой части 34 анододержателя 30; S3 и S9 для второй части 36 анододержателя 30, анода или анодов 32, ванны электролита, слоя алюминия 40, катода 16, катодных проводников 18 и катодных выводов 20; S4, S6 и S10 для токопроводов 24; S7 для выходных подъемных и соединительных проводников 22B.

Уточним, что сумма сил токов  $i$  и  $i_a$ , указанных в таблицах на фиг. 9, 13 и 14, равна силе входного тока электролиза  $I_{EA}$ , деленной на число  $N$  модулей в электролизере 10; сила  $i_b$  равна силе выходного тока электролиза  $I_{EB}$ , деленной на число  $N$  модулей в электролизере 10; сумма  $i_a$  и  $i_b$  равна  $i$ ; а значит, сумма входного  $I_{EA}$  и выходного  $I_{EB}$  токов электролиза равна  $2i$ , умноженному на число  $N$  модулей; а сила тока электролиза  $I_E$ , протекающего через серию электролизеров, равна сумме силы входного тока электролиза  $I_{EA}$ , протекающего через всю входную часть электролизера, и силы выходного тока электролиза  $I_{EB}$ , протекающего через всю выходную часть электролизера, то есть равна произведению  $2i$  на число  $N$  модулей в электролизере.

Фиг. 10-12 показывают линейные схемы электрической цепи, по которой течет ток электролиза в модуле электролизера 10 установки 1 получения алюминия электролизом, демонстрируя для этого электролизера 10 три основные зоны P1, P2, P3, создающие значительное возмущающее магнитное поле: входная зона P1, промежуточная центральная зона P2 и выходная зона P3, симметричная входной зоне

P1 относительно продольной медианной плоскости YZ электролизеров 10.

Таблица на фиг. 13, рассматриваемая в сочетании с фиг. 10, 11 и 12, схематически показывает вертикальную составляющую магнитного поля, создаваемого электрическими проводниками (схематически представленными сегментами) электролизера 10, соответственно в трех зонах P1, P2, P3 электролизеров 10, первой и второй цепями 4, 6 компенсации. Просуммировав вклады каждого из этих электрических проводников и вклады первой и второй цепи 4, 6 компенсации, установили, что вертикальная составляющая  $B_z$  магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза, равна нулю, то есть полностью компенсирована. Таким образом, МГД-нестабильности снижены до минимума, что дает возможность существенно повысить эксплуатационные характеристики.

Кроме того, таблица на фиг. 14, рассматриваемая в сочетании с фиг. 10, 11 и 12, схематически показывает продольную горизонтальную составляющую магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза через электрические проводники (символически обозначенные сегментами) электролизера 10, зона за зоной, и через первую и вторую цепи 4, 6 компенсации. Что касается поперечной горизонтальной составляющей магнитного поля, то она является сильно антисимметричной, так как проводники симметричны относительно плоскости XZ. Просуммировав вклады каждого сегмента и вклады первой и второй цепей 4, 6 компенсации, установили, что продольная горизонтальная составляющая  $B_y$  магнитного поля является антисимметричной (противоположна во входной и выходной зонах P1, P3 и равна нулю в центральной зоне P2). Эта антисимметричность подавляет вредные эффекты, связанные с горизонтальными составляющими магнитного поля.

Ниже подробнее описывается первая электрическая цепь 4 компенсации.

Первая электрическая цепь 4 компенсации проходит под электролизерами 10. Эта первая электрическая цепь 4 компенсации предназначена для протекания по ней первого тока компенсации IC1 в обратном направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза IE, как это можно видеть на фиг. 5 и 7. Напомним, что под общим направлением протекания тока электролиза IE понимается направление протекания тока электролиза IE в масштабе установки 1 получения алюминия электролизом или ряда или рядов 2 электролизеров 10.

Первая электрическая цепь 4 компенсации содержит электрические проводники, которые могут представлять собой металлические стержни, например из алюминия, меди или стали, или, предпочтительно, электрические проводники из сверхпроводящего материала, причем последние позволяют снизить потребление энергии и, благодаря их меньшей массе, чем у эквивалентных проводников из металла, уменьшить затраты на конструкции, требующиеся для их поддержки или для их защиты от возможных разливов металла с помощью металлических экранов 42 (фиг. 7), или на их заглубление. Предпочтительно электрические проводники из сверхпроводящего материала могут быть размещены так, чтобы образовывать несколько последовательных витков под рядом или рядами 2 электролизеров 10, как это описано в патентной заявке WO 2013007893 на имя заявителя.

Установка 1 получения алюминия электролизом имеет подстанцию 44 электроснабжения, выполненную с возможностью вызвать протекание через первую электрическую цепь 4 компенсации тока IC1 с силой, равной удвоенной силе выходного тока электролиза IEB, с точностью  $\pm 20\%$ , а предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$ .

Подстанция 44 электроснабжения может быть собственной подстанцией электроснабжения, то есть отличной от подстанции 8 электроснабжения, питающей электролизеры 10 током электролиза IE. Следовательно, подстанция 44 электроснабжения первой цепи 4 компенсации предназначена исключительно для питания первой цепи 4 компенсации.

Таким образом, первая электрическая цепь 4 компенсации также независима от основной электрической цепи, по которой течет ток электролиза IE, включая, в частности, ряд или ряды 2 электролизеров 10. Если на первой электрической цепи 4 компенсации произойдет авария, например протечка из электролизеров 10 содержащихся в них жидкостей, температура которых близка к  $1000^\circ\text{C}$ , реакция электролиза может продолжаться, однако с меньшим выходом, так как магнитная компенсация ухудшилась. Кроме того, сила первого тока компенсации IC1 может меняться независимо от тока электролиза IE. Это является первостепенно важным с точки зрения приспособляемости и адаптируемости. Действительно, с одной стороны, это позволяет в случае повышения силы тока электролиза IE в ходе эксплуатации установки 1 получения алюминия электролизом адаптировать магнитную компенсацию к этому изменению, меняя по мере необходимости силу первого тока компенсации IC1. С другой стороны, это позволяет адаптировать силу первого тока компенсации IC1 к характеристикам и качеству имеющегося глинозема. Это позволяет контролировать скорость МГД-потоков для облегчения или ограничения перемешивания жидкостей и растворения глинозема в ванне электролита в зависимости от характеристик имеющегося глинозема, что в конечном счете ведет к максимально возможным эксплуатационным характеристикам с учетом поставок глинозема.

Электрические проводники первой электрической цепи 4 компенсации проходят под электролизерами, образуя вместе пакет (слой) из параллельных электрических проводников, преимущественно от двух до двенадцати, предпочтительно от трех до десяти параллельных электрических проводников. Дру-

гими словами, в продольном сечении электролизера 10, то есть в продольной плоскости YZ электролизера 10, как это показано на фиг. 7, первая электрическая цепь 4 компенсации проходит под несколькими местами электролизера 10. Отметим, что первый ток компенсации IC1 протекает в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза IE, через все электрические проводники, образующие пакет. Пакет может быть образован одной и той же электрической цепью, образующей несколько последовательных витков или контуров под электролизерами 10, причем каждый контур соответствует одному электрическому проводнику пакета. Альтернативно пакет может быть образован путем разделения на пучок параллельных электрических проводников первой электрической цепи 4 компенсации, причем последняя при необходимости может образовать единственный виток под электролизерами 10.

Сила первого тока компенсации IC1 равна сумме сил тока компенсации, протекающего через каждый электрический проводник пакета. Предпочтительно сила первого тока компенсации IC1 в каждом электрическом проводнике пакета равна силе первого тока компенсации IC1, деленной на число электрических проводников в этом пакете.

Электрические проводники пакета предпочтительно находятся на одинаковом расстоянии друг от друга (т.е. эквидистантны). Таким образом, два соседних электрических проводника пакета разделяет равное расстояние. В результате дополнительно улучшается компенсация вредного магнитного поля.

Электрические проводники пакета могут располагаться параллельно друг другу. Предпочтительно они проходят параллельно поперечному направлению X электролизеров 10. Кроме того, все образующие пакет электрические проводники могут быть расположены в одной и той же горизонтальной плоскости XY. Это также позволяет улучшить компенсацию магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза.

Кроме того, электрические проводники пакета могут проходить практически симметрично относительно поперечной медианной плоскости XZ электролизеров, то есть относительно плоскости, перпендикулярной продольному направлению Y, причем эта плоскость разделяет электролизеры 10 на две практически равные половины.

Согласно примеру с фиг. 7 первая электрическая цепь 4 компенсации образует пакет из трех практически эквидистантных проводников, расположенных в одной и той же практически горизонтальной плоскости XY. Этот пакет содержит столько электрических проводников, сколько модулей M содержит электролизер 10.

Действительно, пакет предпочтительно выполнен так, чтобы каждый модуль M электролизера 10 содержал одинаковое число электрических проводников первой электрической цепи 4 компенсации. Это позволяет достичь компенсации магнитного поля в масштабе модуля, что обеспечивает лучшие эффекты и дополнительно предлагает значительное преимущество с точки зрения внедрения и приспособляемости.

Ниже подробнее описывается вторая электрическая цепь 6 компенсации.

Вторая электрическая цепь 6 компенсации проходит с по меньшей мере одной поперечной стороны электролизеров 10, практически параллельно поперечному направлению X электролизеров 10, то есть параллельно ряду или рядам 2 электролизеров 10. Вторая электрическая цепь 6 компенсации предназначена для протекания по ней второго тока компенсации IC2 в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза IE.

Предпочтительно вторая электрическая цепь 6 компенсации проходит вдоль двух поперечных сторон электролизеров 10, как показано на фиг. 5. В этом случае внутренним контуром 61 обозначаются те электрические проводники второй электрической цепи 6 компенсации, которые расположены между двумя первыми соседними рядами 2 электролизеров 10, а внешним контуром 62 обозначаются те электрические проводники второй электрической цепи 6 компенсации, которые расположены с внешней стороны рядов 2 электролизеров 10, то есть которые находятся с другой стороны электролизеров 10 по отношению к электрическим проводникам, образующим внутренний контур 61. По внутреннему контуру 61 течет второй ток компенсации IC21, а по внешнему контуру 62 течет второй ток компенсации IC22. Вторые токи компенсации IC21 и IC22 текут в одном и том же направлении. Сумма токов IC21 и IC22, протекающих соответственно во внутреннем контуре 61 и во внешнем контуре 62, равна току компенсации IC2. Внутренний контур 61 и/или внешний контур 62 могут необязательно делать несколько последовательных витков; если это применимо, сила тока IC21, IC22 соответственно является произведением числа последовательных витков на силу тока, протекающего в каждом последовательном витке.

Установка 1 получения алюминия электролизом имеет подстанцию 46 электроснабжения, которая предпочтительно выполнена с возможностью вызывать протекание через вторую электрическую цепь 6 компенсации (внутренний контур 61 и/или внешний контур 62) тока компенсации IC2 с суммарной силой (если это применимо, внутренний контур 61 плюс внешний контур 62), составляющей от 50 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза, а предпочтительно от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза. Это значение силы тока, устанавливаемое в зависимости от асимметричного распределения тока электролиза IE в каждом электролизере 10, обеспечивает, при синергии с выбором степени асимметричности распределения IEA, IEВ и силы первого тока компенсации IC1, наилучшие результаты компенсации магнитного поля, эффективно применимые к электролизерам 10 больших размеров.

Предпочтительно сила тока  $IC_{21}$ , протекающего во внутреннем контуре 61, отличается от силы тока  $IC_{22}$ , протекающего во внешнем контуре 62. Более конкретно, сила тока  $IC_{21}$ , протекающего во внутреннем контуре 61, предпочтительно больше, чем сила тока  $IC_{22}$ , протекающего во внешнем контуре 62.

Ток, текущий по внутреннему контуру 61, можно увеличить, чтобы компенсировать влияние соседнего ряда на вертикальное магнитное поле. Это увеличение будет близко (с точностью 50%) к значению  $IE_2 \times D_{61} / DP_2$ , где  $IE_2 = IE - IC_1 + IC_2 = IE + IE_A - 3IE_B$ , и  $DP_2$  есть расстояние от соседнего ряда до центра электролизера, а  $D_{61}$  есть расстояние от внутреннего контура 61 до центра электролизера. Для классической электролизной серии ток  $IE_2$  больше или равен  $IE$ . Можно отметить, что  $IE + IE_A - 3IE_B$  намного меньше  $IE$ . В этом состоит выгода такой конструкции, которая позволяет приблизить соседний ряд, так как создаваемое соседним рядом магнитное поле будет намного слабее, без дополнительных затрат по сравнению с тем, что известно специалистам в данной области техники.

Подстанция 46 электроснабжения, питающая вторую цепь 6 компенсации, может быть собственной подстанцией электроснабжения, то есть отличной от подстанции 8 электроснабжения, питающей электролизеры 10 током электролиза  $IE$ , и отличной от подстанции 44 электроснабжения, питающей первую электрическую цепь 4 компенсации. Следовательно, подстанция 46 электроснабжения второй цепи 6 компенсации предназначена исключительно для питания этой второй цепи 6 компенсации. Таким образом, вторая электрическая цепь 6 компенсации также независима от основной электрической цепи, по которой течет ток электролиза  $IE$ . Силу второго тока компенсации  $IC_2$  можно изменять независимо от тока электролиза  $IE$ , что дает существенные преимущества с точки зрения способности к приспособляемости и адаптируемости установки 1 получения алюминия электролизом, как объяснялось ранее в отношении первой электрической цепи 4 компенсации. Преимущественно вторая цепь 6 компенсации также может быть отличающейся от первой цепи 4 компенсации.

Когда вторая электрическая цепь 6 компенсации проходит по обеим боковым сторонам электролизеров 10, электрические проводники, образующие эту вторую электрическую цепь 6 компенсации, предпочтительно могут быть симметричными относительно поперечной медианной плоскости  $XZ$  электролизеров 10. Это улучшает компенсацию вредного магнитного поля.

Кроме того, с целью эффективной компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза  $IE$ , электрические проводники второй электрической цепи 6 компенсации предпочтительно проходят в одной и той же горизонтальной плоскости  $XY$ . Предпочтительно эта горизонтальная плоскость  $XY$  находится на высоте слоя жидкого алюминия 40, образующегося внутри электролизеров 10 в ходе реакции электролиза.

Следует отметить, что электрические проводники, образующие вторую электрическую цепь 6 компенсации, предпочтительно могут быть выполнены таким образом, чтобы снизить эффекты "конца ряда", как это показано на фиг. 5.

Электрические проводники, образующие вторую электрическую цепь 6 компенсации, могут представлять собой металлические стержни, например из алюминия, меди или стали, или предпочтительно электрические проводники из сверхпроводящего материала, причем последние позволяют снизить потребление энергии и, благодаря их меньшей массе, чем у эквивалентных проводников из металла, уменьшить затраты на поддерживающую их конструкцию. Предпочтительно электрические проводники из сверхпроводящего материала могут быть размещены так, чтобы образовать несколько последовательных витков на одной или обеих боковых сторонах рядов 2 электролизеров 10, как это описано в патентной заявке WO 2013007893 на имя заявителя.

Изобретение относится также к способу компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза  $IE$  в электролизерах 10 вышеописанной установки 1 получения алюминия электролизом. Этот способ включает в себя

пропускание в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза  $IE$ , первого тока компенсации  $IC_1$  через первую электрическую цепь 4 компенсации,

пропускание в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза  $IE$ , второго тока компенсации  $IC_2$  через вторую электрическую цепь 6 компенсации.

Способ предпочтительно включает также асимметричное распределение тока электролиза  $IE$  между входными подъемными и соединительными электрическими проводниками 22А и выходными подъемными и соединительными электрическими проводниками 22В.

Этот этап асимметричного распределения тока электролиза между входом и выходом электролизеров 10 включает в себя разделение тока электролиза  $IE$  на входной ток электролиза  $IE_A$ , который течет через все входные подъемные и соединительные электрические проводники 22А каждого электролизера 10, так, чтобы сила входного тока электролиза  $IE_A$  составляла 50-100% силы тока электролиза  $IE$ , и на выходной ток электролиза  $IE_B$ , который течет через все выходные подъемные и соединительные электрические проводники 22В каждого электролизера 10, так, чтобы сила выходного тока электролиза  $IE_B$  составляла 0-50% силы тока электролиза  $IE$ , причем сумма сил входного и выходного токов электролиза  $IE_A$ ,  $IE_B$  равна силе тока электролиза  $IE$ .

Этап пропускания первого тока компенсации  $IC_1$  предпочтительно таков, чтобы сила первого тока компенсации  $IC_1$  была равна удвоенной силе выходного тока электролиза  $IE_B$  с точностью  $\pm 20\%$ , а

предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$ .

Этап пропускания второго тока компенсации IC2 предпочтительно таков, чтобы суммарная сила (внутренний контур 61 + внешний контур 62) второго тока компенсации IC2 составляла от 50 до 100% разности между силами входного IEA и выходного IEВ токов электролиза, а предпочтительно от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза.

Для таких значений сил входного тока электролиза IEА, выходного тока электролиза IEВ, первого тока компенсации IC1 и второго тока компенсации IC2 заявитель установил, что магнитное поле, создаваемое при протекании тока электролиза, компенсируется наиболее эффективно.

Далее сила тока IC21, протекающего во внутреннем контуре 61, может отличаться от силы тока IC22, протекающего во внешнем контуре 62. Более конкретно, сила тока IC21, протекающего во внутреннем контуре 61, предпочтительно больше, чем сила тока IC22, протекающего во внешнем контуре 62.

Кроме того, способ предпочтительно может включать этап анализа по меньшей мере одной характеристики глинозема по меньшей мере в одном из электролизеров 10 вышеописанной установки 1 получения алюминия электролизом и определение распределения значений силы входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ, подлежащих пропусканию в зависимости от указанной проанализированной характеристики, что при необходимости задает также значения силы первого и второго токов компенсации IC1, IC2 и при необходимости входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ. Затем значения сил первого и второго токов компенсации IC1, IC2 и при необходимости входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ можно поменять на ранее определенные значения, если исходные значения сил первого и второго токов компенсации IC1, IC2 и входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ отличаются от определенных таким образом значений. А значит, способ позволяет изменять магнитную компенсацию, чтобы усилить или уменьшить перемешивание жидкостей при контроле МГД-нестабильностей. Обычно чем сильнее перемешивание (или течение) жидкостей, тем эффективнее будет растворение глинозема, но тем нестабильнее будет граница раздела электролит/металл (= МГД-нестабильность), что может ухудшить эксплуатационные характеристики электролизеров. Такой способ особенно выгоден с вышеописанной конфигурацией электрических проводников, так как он делает электролизеры 10 очень стабильными в магнитном отношении и, следовательно, предлагает более широкий диапазон для модулирования/оптимизации перемешивания в зависимости от качества глинозема. Анализируемыми характеристиками глинозема могут быть, в частности, способность глинозема растворяться в ванне электролита, текучесть глинозема, его растворимость, содержание в нем фтора, его влажность и т.д.

Определение распределения значений сил входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ и/или значений сил первого и второго токов компенсации IC1, IC2 в зависимости от проанализированных характеристик глинозема можно осуществить, в частности, используя номограмму, например, созданную специалистом в результате расчетов, экспериментирования и установления оптимальных соответствий между силами входного и выходного токов электролиза IEА, IEВ и характеристиками глинозема. Речь здесь идет о том, чтобы количественно определить желательную интенсивность перемешивания жидкости с точки зрения уровня МГД-нестабильности.

Может случиться, что глинозем, доступный для непрерывной работы установки получения алюминия электролизом, будет разного качества, в частности более или менее пастообразным и, следовательно, имеющим разную способность растворяться в электролизной ванне. В этом случае перемещение жидкостей в электролизерах 10 является преимуществом, так как оно позволяет перемешивать глинозем, способствуя его растворению. Однако в случае, в частности, автокомпенсации (применяющейся в уровне техники) магнитное поле, лежащее в основе движения жидкостей, непосредственно компенсируется самим током электролиза, и распределение магнитного поля задается и фиксируется траекторией расположения токопроводов. Поэтому на установках получения алюминия электролизом с автокомпенсацией невозможно произвольно и временно вводить дисбаланс в компенсацию магнитного поля, чтобы повысить интенсивность перемешивания глинозема в электролизерах для повышения эффективности растворения. Таким образом, когда имеется только глинозем, растворяющийся хуже, чем обычно, это может существенно сказаться на эксплуатационных характеристиках установок получения алюминия электролизом с автокомпенсацией.

Разумеется, изобретение никоим образом не ограничено описанными выше вариантами осуществления, которые приведены исключительно в качестве примера. Возможны модификации, не выходящие за объем охраны изобретения, в частности с точки зрения конструкции различных элементов или замены техническими эквивалентами. Так, настоящее изобретение совместимо, например, с использованием анодов "инертного" типа, на которых в ходе реакции электролиза образуется кислород.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка (1) получения алюминия электролизом, содержащая по меньшей мере один ряд (2) электролизеров (10), расположенных поперек упомянутого по меньшей мере одного ряда (2), причем электролизеры (10) содержат анодные узлы (14) и подъемные и соединительные электрические проводники (22) к анодным узлам (14), отличающаяся тем, что подъемные и соединительные электрические



проводники (22) по меньшей мере одного из электролизеров (10) проходят вверх вдоль двух противоположных продольных входного и выходного бортов (38) электролизера (10) для проведения тока электролиза (IE) к анодным узлам (14), и тем, что установка (1) получения алюминия электролизом содержит

по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации (4), проходящую под электролизерами (10), причем упомянутая по меньшей мере одна первая электрическая цепь компенсации (4) выполнена с возможностью протекания по ней первого тока компенсации (IC1), предназначенного для протекания под электролизерами (10) в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза (IE),

вторую электрическую цепь компенсации (6), проходящую по меньшей мере с одной стороны упомянутого по меньшей мере одного ряда (2) электролизеров (10), причем упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации (6) выполнена с возможностью протекания по ней второго тока компенсации (IC2), предназначенного для протекания в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза (IE).

2. Установка (1) получения алюминия электролизом по п.1, в которой подъемные и соединительные электрические проводники (22) содержат входные подъемные и соединительные электрические проводники (22А), смежные с входным продольным бортом (38) электролизера (10), и выходные подъемные и соединительные электрические проводники (22В), смежные с выходным продольным бортом (38) электролизера (10), и установка (1) получения алюминия электролизом выполнена так, чтобы распределение тока электролиза (IE) между входными (22А) и выходными (22В) подъемными и соединительными электрическими проводниками было асимметричным, причем сила входного тока электролиза (IEА), предназначенного протекать через все входные подъемные и соединительные электрические проводники (22А) электролизера (10), равна 50-100% силы тока электролиза (IE), а сила выходного тока электролиза (IEВ), предназначенного протекать через все выходные подъемные и соединительные электрические проводники (22В) электролизера (10), равна 0-50% силы тока электролиза (IE), при этом сумма сил входного и выходного токов электролиза (IEА), (IEВ) равна силе тока электролиза (IE).

3. Установка (1) получения алюминия электролизом по п.2, причем установка получения алюминия электролизом содержит подстанцию электроснабжения (44), выполненную с возможностью подачи тока по меньшей мере на одну первую электрическую цепь компенсации (4) первого тока компенсации (IC1), сила которого вдвое больше силы выходного тока электролиза (IEВ), с точностью  $\pm 20\%$  силы выходного тока электролиза (IEВ), а предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$  силы выходного тока электролиза (IEВ).

4. Установка (1) получения алюминия электролизом по п.2 или 3, причем установка (1) получения алюминия электролизом содержит подстанцию электроснабжения (46), выполненную с возможностью подачи тока по меньшей мере на одну вторую электрическую цепь компенсации (6) второго тока компенсации (IC2), сила которого составляет от 50 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза (IEА, IEВ), а предпочтительно от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза (IEА, IEВ).

5. Установка (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.1-4, в которой подъемные и соединительные электрические проводники (22) расположены через равные интервалы вдоль продольного борта (38) электролизера (10), с которым смежны эти подъемные и соединительные электрические проводники (22).

6. Установка (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.1-5, в которой упомянутая по меньшей мере одна первая электрическая цепь компенсации (4) содержит электрические проводники, проходящие под электролизерами (10), образуя вместе пакет, состоящий из множества параллельных электрических проводников, обычно от двух до двенадцати, а предпочтительно от трех до десяти параллельных электрических проводников.

7. Установка (1) получения алюминия электролизом по п.6, в которой электрические проводники упомянутого пакета расположены с равными интервалами друг от друга в продольном направлении (Y) электролизеров (10).

8. Установка (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.6-7, в которой электрические проводники упомянутого пакета расположены в одной и той же горизонтальной плоскости (XY).

9. Установка (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.1-8, в которой упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации (6) содержит электрические проводники, проходящие с каждой стороны упомянутого по меньшей мере одного ряда (2) электролизеров (10), и выполненная с возможностью подачи второго тока компенсации (IC2) с каждой стороны электролизеров (10) в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза (IE).

10. Установка (1) получения алюминия электролизом по п.9, в которой электрические проводники второй электрической цепи компенсации (6) проходят в одной и той же горизонтальной плоскости (XY), предпочтительно на высоте слоя жидкого алюминия (40), образующегося внутри электролизеров (10) в ходе реакции электролиза.

11. Установка (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.1-10, в которой упомянутая по меньшей мере одна первая электрическая цепь компенсации (4) и/или упомянутая по меньшей мере

одна вторая электрическая цепь компенсации (6) являются независимыми от основной электрической цепи, по которой течет ток электролиза (IE).

12. Способ компенсации магнитного поля, создаваемого при протекании тока электролиза (IE) во множестве электролизеров (10) установки (1) получения алюминия электролизом по любому из пп.1-11, включающий

подачу тока в направлении, противоположном общему направлению протекания тока электролиза (IE), первого тока компенсации (IC1) через упомянутую по меньшей мере одну первую электрическую цепь компенсации (4),

подачу тока в том же направлении, что и общее направление протекания тока электролиза (IE), второго тока компенсации (IC2) через упомянутую по меньшей мере одну вторую электрическую цепь компенсации (6).

13. Способ по п.12, причем способ включает асимметричное распределение тока электролиза (IE) между входом и выходом электролизеров (10), причем через все подъемные и соединительные электрические проводники (22) на входе электролизеров (10) протекает входной ток электролиза (IEA), сила которого составляет 50-100% силы тока электролиза (IE), а через все подъемные и соединительные электрические проводники (22) на выходе электролизеров (10) протекает выходной ток электролиза (IEB), сила которого составляет 0-50% силы тока электролиза (IE), причем сумма сил входного и выходного токов электролиза (IEA), (IEB) равна силе тока электролиза (IE).

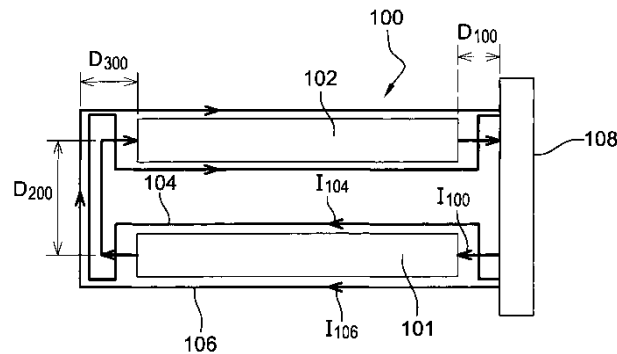
14. Способ по п.13, в котором сила первого тока компенсации (IC1) равна удвоенной силе выходного тока электролиза (IEB) с точностью  $\pm 20\%$  силы выходного тока электролиза (IEB), предпочтительно с точностью  $\pm 10\%$  силы выходного тока электролиза (IEB).

15. Способ по п.12 или 13, в котором сила второго тока компенсации (IC2) составляет от 50 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза (IEA, IEB), а предпочтительно составляет от 80 до 100% разности между силами входного и выходного токов электролиза (IEA, IEB).

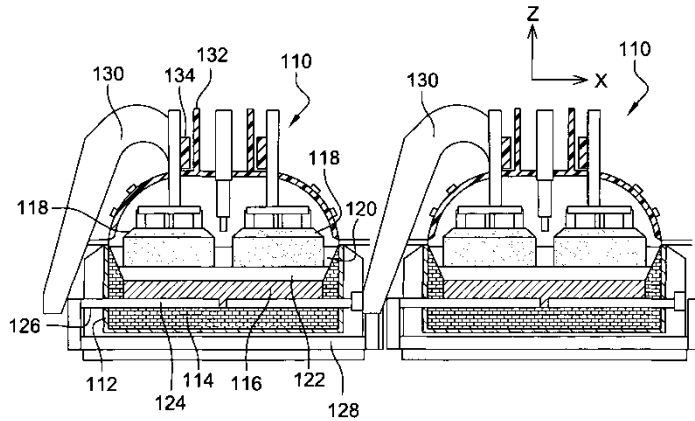
16. Способ по любому из пп.12-15, в котором упомянутая по меньшей мере одна вторая электрическая цепь компенсации (6) содержит внутренний контур и внешний контур, и при этом сила второго тока компенсации (IC21), протекающего во внутреннем контуре, отличается от силы второго тока компенсации (IC22), протекающего во внешнем контуре.

17. Способ по п.16, в котором сила второго тока компенсации (IC21), протекающего во внутреннем контуре, больше силы второго тока компенсации (IC22), протекающего во внешнем контуре.

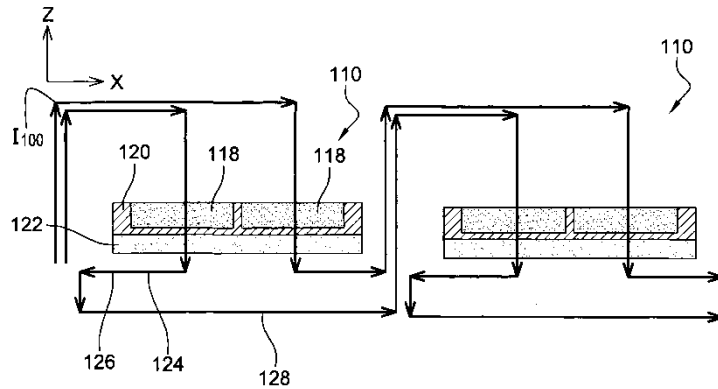
18. Способ по любому из пп.12-17, причем способ включает этап анализа по меньшей мере одной характеристики глинозема по меньшей мере в одном из электролизеров (10) упомянутой установки (1) получения алюминия электролизом и определение значений силы первого тока компенсации (IC1) и второго тока компенсации (IC2), подлежащих пропуску в зависимости от упомянутой по меньшей мере одной проанализированной характеристики.



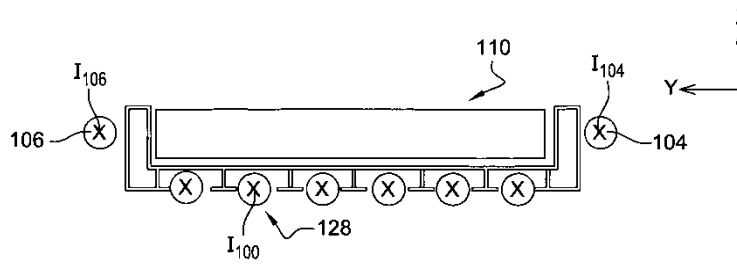
Фиг. 1



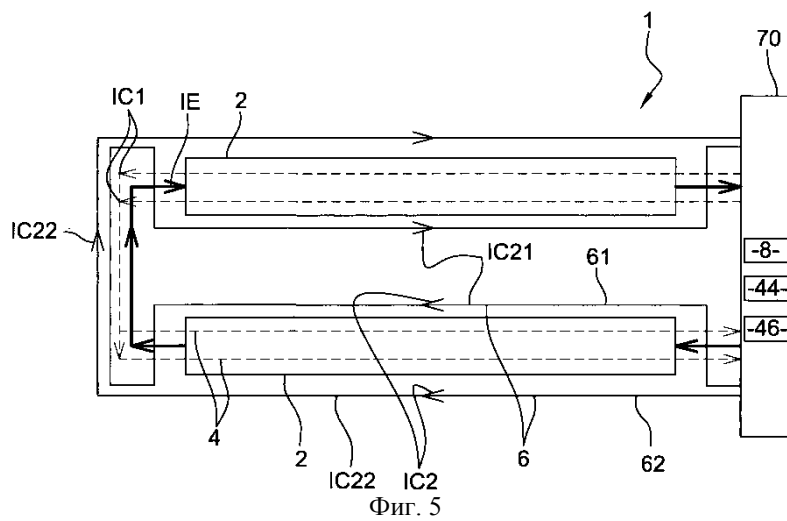
Фиг. 2



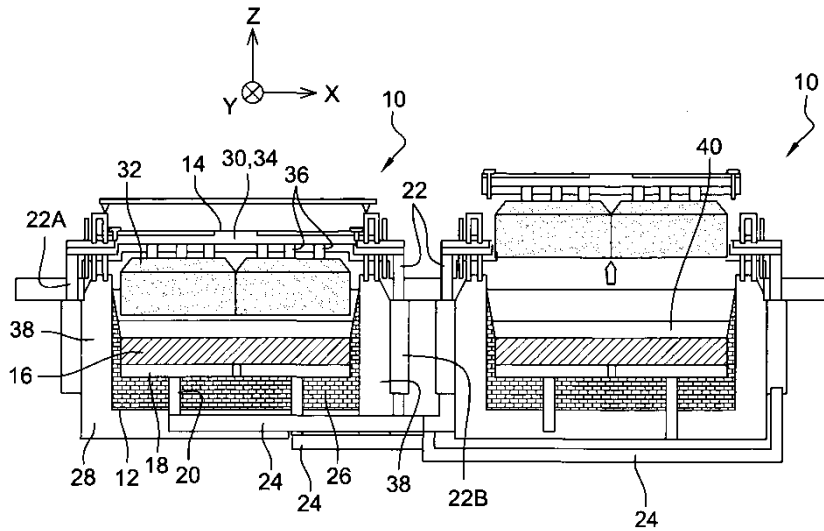
Фиг. 3



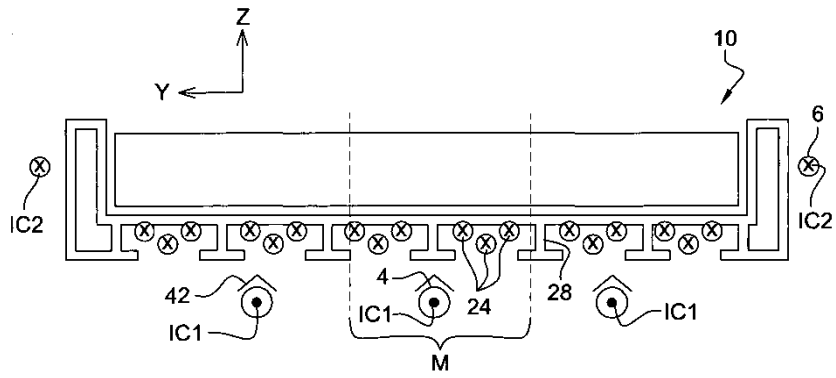
Фиг. 4



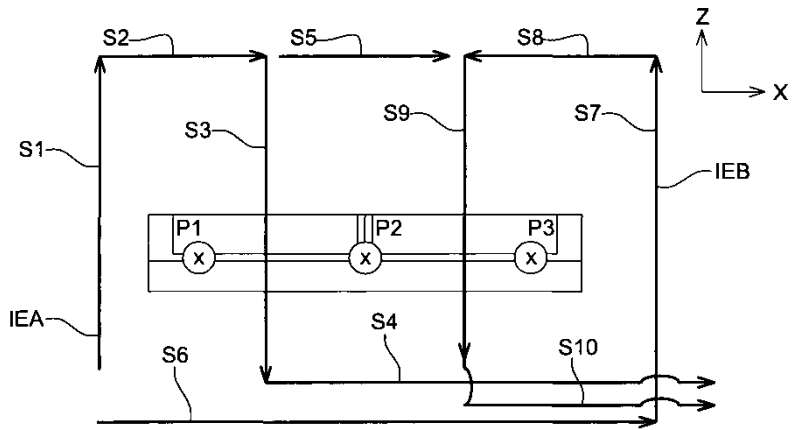
Фиг. 5



Фиг. 6



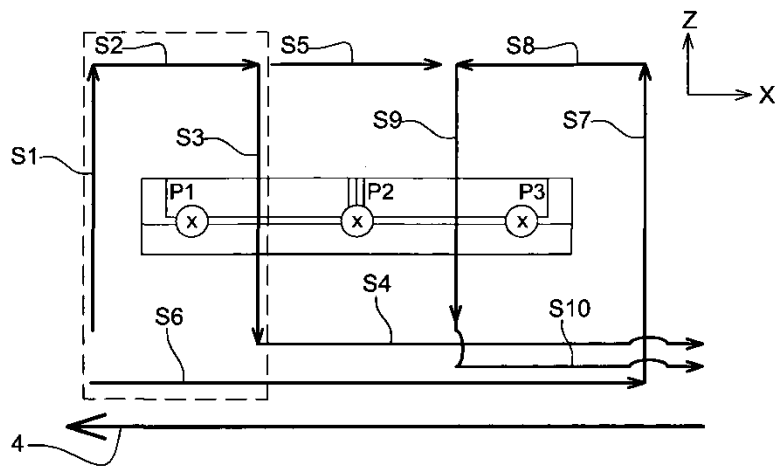
Фиг. 7



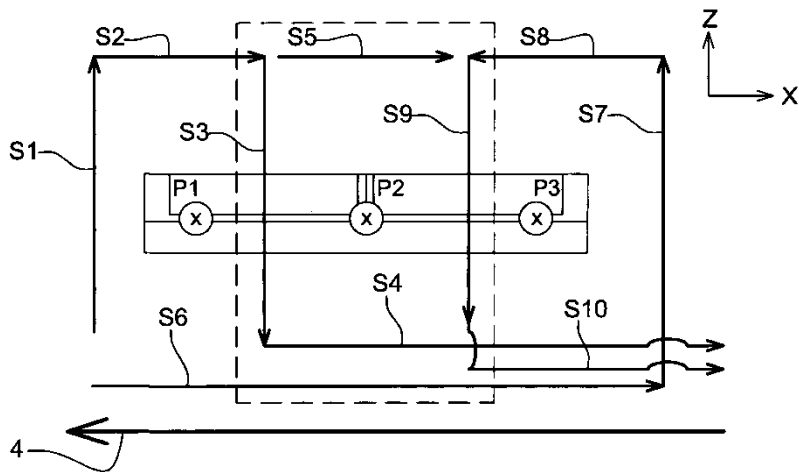
Фиг. 8

СЕКМЕНТ	ТОК
S1	$i + ia$
S2	$i + ia$
S3	$i$
S4	$i$
S5	$ia$
S6	$ib$
S7	$ib$
S8	$ib$
S9	$i$
S10	$i$

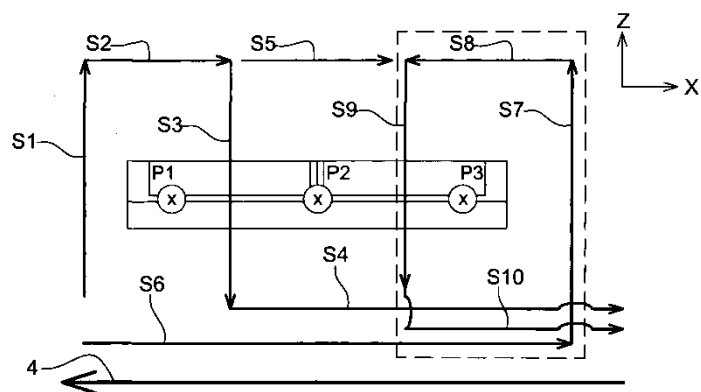
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

УЧАСТКИ	ЗОНА №1	ЗОНА №2	ЗОНА №2
S1	0	0	0
S2	$i+ia$	$\approx 0$	$\approx 0$
S3	0	0	0
S4	$\approx 0$	$+i$	$+i$
S5	$\approx 0$	$+ia$	$\approx 0$
S6	$+ib$	$+ib$	$+ib$
S7	0	0	0
S8	$\approx 0$	$\approx 0$	$-ib$
S9	0	0	0
S10	$\approx 0$	$\approx 0$	$+i$
ВСЕЬ ЭЛЕКТРОЛИЗЕР	$i + ia + ib = 2i$	$i + ia + ib = 2i$	$2i = 2i$
1-АЯ ЦЕПЬ КОМПЕНСАЦИИ	$-2ib$	$-2ib$	$-2ib$
2-АЯ ЦЕПЬ КОМПЕНСАЦИИ	$-(i + ia - ib)$	$-(i + ia - ib)$	$-(i + ia - ib)$
ВСЕГО	0	0	0

Фиг. 13

УЧАСТКИ	ЗОНА №1	ЗОНА №2	ЗОНА №2
S1	$i + ia$	$\approx 0$	$-i - ia$
S2	$i+ia$	$\approx 0$	$\approx 0$
S3	$i$	$-i$	$\approx 0$
S4	$\approx 0$	$-i$	$-i$
S5	$\approx 0$	$+ia$	$\approx 0$
S6	$-ib$	$-ib$	$-ib$
S7	$+ib$	$\approx 0$	$-ib$
S8	$\approx 0$	$\approx 0$	$-ib$
S9	$\approx 0$	$+i$	$-i$
S10	$\approx 0$	$\approx 0$	$-i$
ВСЕЬ ЭЛЕКТРОЛИЗЕР	$3i + 2ia$	$-i + ia - ib$	$-4i - ia - 3ib$
1-АЯ ЦЕПЬ КОМПЕНСАЦИИ	$+2ib$	$+2ib$	$+2ib$
2-АЯ ЦЕПЬ КОМПЕНСАЦИИ	0 (НЕТ ВЛИЯНИЯ НА $V_y$ )	0 (НЕТ ВЛИЯНИЯ НА $V_y$ )	0 (НЕТ ВЛИЯНИЯ НА $V_y$ )
ВСЕГО	$5i$	0	$-5i$

Фиг. 14



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

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