

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041049**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.08.31

(21) Номер заявки
202191752

(22) Дата подачи заявки
2019.01.11

(51) Int. Cl. **B04C 5/107** (2006.01)
B04C 11/00 (2006.01)
G01N 27/10 (2006.01)

**(54) ГИДРОЦИКЛОН ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
УПЛОТНЕНИЯ ПОТОКА**

(43) **2021.11.02**

(86) **PCT/FI2019/050020**

(87) **WO 2020/144394 2020.07.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**МЕТСО ОТОТЕК ФИНЛАНД ОЙ
(FI)**

(72) Изобретатель:
**Сакаранахо Матти, Сойни Тему,
Коурунен Яри, Каартинен Яни, Лойми
Янне, Хейсканен Кари (FI)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(56) BOND, J. Industrial Monitoring of Hydrocyclone Operation using Electrical Resistance Tomography. In: 1st World Congress on Industrial Process Tomography, April 14-17, 1999, International Society for Industrial Process Tomography, 1999, pages 102-107, ISBN 978-0-85316-317-6 abstract; 2. sensor installation; 3.1 Discharge fault detection; Figures 1, 2, 4a

GNECCHI, J. A. G. ET AL. Evaluation of Methods for ON-line Image Analysis of Electrical Impedance Tomography Images. In: Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2007, NJ, USA: IEEE, 2007-09-01, pages 283-288, ISBN 978-0-7695-2974-5, abstract; 1. Introduction; 2. Selection of the measurement variable; 5. Conclusions and future work; Figures 1, 2A, 2B
AU-A1-2015202405

(57) Гидроциклон для разделения исходного потока на верхний продукт и нижний продукт содержит впускное отверстие для исходного потока, выпускное отверстие для верхнего продукта, нижнее разгрузочное отверстие для разгрузки нижнего продукта, верхнюю часть, соединенную с впускным отверстием для исходного потока и с выпускным отверстием для верхнего продукта, коническую часть, расположенную между верхней частью и нижним разгрузочным отверстием, и электроды для измерения электропроводности внутри гидроциклона для обнаружения образования состояния уплотнения потока в гидроциклоне. Электроды расположены по окружности в конической части на осевом расстоянии (d_{meas}) от нижнего разгрузочного отверстия, где d_{meas} составляет не менее 5% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью и не более 50% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью.

B1**041049****041049****B1**

Область изобретения

Настоящее изобретение относится к гидроциклонам. В частности, изобретение относится к устройству и способу обнаружения образования состояния "веревочного" уплотнения потока (roping state) в гидроциклоне путем измерения электропроводности внутри гидроциклона.

Уровень техники

Гидроциклоны - это сортирующие устройства, используемые для разделения исходного потока, такого как смеси минералов. Они часто используются группами, так что большие количества загружаемого материала можно разделить на несколько гидроциклонов для сортировки. Гидроциклоны используют центробежную силу для ускорения скорости осаждения частиц, вызывая образование воздушного сердечника, который имеет важное значение для работы гидроциклона. Однако гидроциклоны страдают от состояния, известного как уплотнение потока, когда воздушный сердечник разрушается при превышении пропускной способности отдельного гидроциклона.

Несовершенное обнаружение уплотнения потока затрудняет работу гидроциклонов, например, из-за сокращения времени работы отдельного гидроциклона и увеличения количества гидроциклонов, необходимых для поддержания любой заданной пропускной способности для группы гидроциклонов.

Цель изобретения

Цель состоит в том, чтобы устранить или смягчить, по меньшей мере, некоторые из упомянутых выше недостатков.

В частности, цель состоит в создании гидроциклона и способа, которые можно использовать для более точного обнаружения образования состояния уплотнения потока в гидроциклоне. Еще одной целью является создание гидроциклона, конструкция которого позволяет обнаруживать образование состояния уплотнения потока до того, как это состояние возникнет, так что работу гидроциклона можно регулировать для предотвращения возникновения состояния уплотнения потока.

Сущность изобретения

Гидроциклон (ниже также "циклон") представляет собой сортирующее устройство для разделения загружаемого материала, например, на основании различий в размере и/или удельном весе частиц в загружаемом материале. В качестве альтернативы или дополнительно, разделение также может происходить в зависимости от формы частиц. Скорость подачи - это скорость, с которой загружаемый материал вводится в гидроциклон. Исходный материал (ниже также "исходный поток") может представлять собой, например, пульпу. Исходный поток может содержать твердые вещества, такие как минеральные частицы. Оно также может содержать жидкость-носитель, такую как вода. Например, было обнаружено, что, когда вес твердого вещества в исходном потоке соответствует от 10 до 85% от общего веса исходного потока, то есть исходный поток имеет твердое вещество, содержание которого составляет от 10 до 85%, представленное изобретение может обеспечить улучшенное обнаружение уплотнения потока. В качестве другого примера было обнаружено, что настоящее изобретение может обеспечить улучшенное обнаружение уплотнения потока, когда удельный вес твердого вещества составляет от 1,5 до 7,0 т на кубический метр.

Исходный поток может быть разделен, по меньшей мере, на верхний продукт и нижний продукт, первый из которых соответствует мелкодисперсному продукту, а второй - крупнозернистому продукту. Мелкодисперсный продукт может содержать, по меньшей мере, в среднем, более мелкие частицы и/или частицы, имеющие меньший удельный вес, чем частицы в крупнодисперсном продукте. Размер отсека определяется с помощью частиц размера отсека, имеющих равную вероятность попадания либо в мелкодисперсный, либо в крупнодисперсный продукт. Осевой размер гидроциклона определяется как размер, соответствующий высоте цикла. Соответственно, осевой размер может быть выражен также как вертикальный размер. Под наступлением состояния уплотнения потока здесь понимается момент, когда гидроциклон переходит в состояние уплотнения потока. Под формированием состояния уплотнения потока здесь подразумевается любой из процессов, связанных с переходом гидроциклона в состояние уплотнения потока. По определению их можно идентифицировать до и/или после наступления состояния уплотнения потока. По определению формирования состояния уплотнения потока здесь подразумевается определение того, что переход в состояние уплотнения потока произошел или его следует ожидать.

В соответствии с первым аспектом, гидроциклон для разделения исходного потока на верхний продукт и нижний продукт содержит впускное отверстие для исходного потока. Это обеспечивает возможность подачи исходного потока в циклон. Гидроциклон также содержит выпускное отверстие для верхнего продукта, обеспечивающее возможность удаления верхнего продукта из циклона, и нижнее разгрузочное отверстие для выпуска нижнего продукта из циклона. Гидроциклон дополнительно содержит верхнюю часть, соединенную с впускным отверстием для исходного потока и выпускным отверстием для верхнего продукта, и коническую часть между верхней частью и нижним разгрузочным отверстием. Эта конструкция позволяет центробежной силе разделять исходный поток внутри циклона. Гидроциклон может работать как часть группы гидроциклонов. Это позволяет разделять большие количества исходного потока на несколько гидроциклонов для сортировки.

Для измерения электропроводности внутри гидроциклона с целью обнаружения образования уплотнения потока в гидроциклоне гидроциклон содержит электроды. Однако, хотя для обнаружения уплотнения потока после наступления этого состояния может использоваться простое включение измери-

тельных электродов и измерение электропроводности внутри гидроциклона в подходящих местах, было обнаружено, что точность обнаружения может быть значительно улучшена при избирательном расположении электродов. Следовательно, в описанном гидроциклоне электроды расположены по окружности в конической части на осевом расстоянии (d_{meas}) от нижнего разгрузочного отверстия, где d_{meas} составляет не менее 5% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью, и d_{meas} составляет не более 50% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью. Фактически, расстояние по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью может соответствовать высоте конической части. Было обнаружено, что размещение электродов, как определено выше, позволяет заметно повысить точность измерения, особенно для обнаружения уплотнения потока, что может дополнительно обеспечить возможность заблаговременного определения наступления состояния уплотнения потока или ожидания перехода в состояние уплотнения потока. Следует отметить, что повышенная точность может соответствовать повышенной вероятности для обеспечения правильного определения в любой момент времени, до или после наступления состояния уплотнения потока, действительно ли возникло состояние уплотнения потока. В качестве альтернативы или дополнительно, повышенная точность может соответствовать способности определять с полной или пороговой достоверностью в более ранний момент, когда возникло или будет возникать состояние уплотнения потока во время работы циклона.

Подчеркивается, что, хотя появление уплотнения потока также можно наблюдать с помощью других устройств, включенных в гидроциклон, для обнаружения уплотнения потока и/или даже непосредственно путем визуального осмотра, обнаружение уплотнения потока в соответствии с настоящим изобретением может быть упреждающим. Это контрастирует со способами и устройствами, которые могут определять возникновение состояния уплотнения потока только после того, как оно уже возникло, или когда уже слишком поздно, чтобы предотвратить его появление. В контексте настоящего изобретения следует отметить, что уплотнение потока не является легко обратимым явлением, а имеет большой гистерезис. При неупреждающем обнаружении, после того, как было обнаружено состояние уплотнения потока, может потребоваться вывести гидроциклон из эксплуатации на продолжительный период времени, чтобы восстановить воздушный сердечник. Хотя этот недостаток можно обойти, включив один или несколько резервных гидроциклонов в группу гидроциклонов, упреждающее обнаружение может как уменьшить количество требуемых гидроциклонов в группе, так и увеличить время работы группы. Хотя для поддержания общей пропускной способности группы может использоваться один или несколько резервных гидроциклонов, даже если один или несколько гидроциклонов временно не работают после того, как в них было обнаружено уплотнение потока, прерывание нормального хода работы может сократить время работы группы, например, из-за обязательного перенаправления исходного потока.

Для упреждающего обнаружения уплотнения потока в соответствии с настоящим изобретением предстоящий переход в состояние уплотнения потока может быть определен до наступления состояния уплотнения потока. Это также может означать, что предстоящий переход в состояние уплотнения потока определяется пороговым временем реакции перед наступлением состояния уплотнения потока, когда пороговое время реакции достаточно велико для того, чтобы работа гидроциклона могла быть отрегулирована для предотвращения перехода в состояние уплотнения потока, например, уменьшив скорость подачи исходного потока в циклон.

Гидроциклон может содержать один или несколько контроллеров, выполненных с возможностью выполнения измерения и/или определения формирования состояния уплотнения потока. Измерение и/или обнаружение могут выполняться автоматически.

В одном варианте выполнения электроды включают по меньшей мере девять электродов. Было обнаружено, что это минимальное количество электродов, которое можно использовать для построения результатов двух или более измерений, которое годится для обнаружения уплотнения потока и, таким образом, позволяет еще больше повысить точность обнаружения, в частности, для обнаружения уплотнения потока. Электроды могут быть выполнены с возможностью построения результатов томографии электрического сопротивления (ERT) и/или томографии электрического импеданса (EIT).

В одном варианте выполнения толщина электродов составляет по меньшей мере 2,5 мм. Было обнаружено, что это повышает точность обнаружения, особенно при обнаружении уплотнения потока.

В одном варианте выполнения электроды расположены внутри кольцеобразной прокладки. Это обеспечивает различные эффекты, такие как более простой и надежный монтаж, улучшенную защиту электродов и, следовательно, также потенциально улучшенную точность и надежность обнаружения. В другом варианте выполнения прокладка выполнена из резины или изоляционного полимера, что обеспечивает как электрическую изоляцию, так и упругое соединение с конической частью гидроциклона для обеспечения контакта с жидкостью. В другом дополнительном варианте выполнения коническая часть разделена в осевом направлении на отдельные верхнюю часть и нижнюю часть, причем прокладка зажата между верхней частью и нижней частью. Это позволяет точно и легко позиционировать электроды. В еще одном дополнительном варианте выполнения толщина прокладки составляет по меньшей мере 5 мм. Это позволяет устанавливать в прокладке электроды толщиной около 3 мм, например, 3 мм плюс-минус 0-1 мм при сохранении надежного изоляционного слоя на электродах. В еще одном дополнительном ва-

рианте выполнения на наружной периферии каждого электрода выполнен выступ. Это позволяет закрепить прокладку в гидроциклоне между электродами, одновременно расширяя защиту электродов, обеспечиваемую прокладкой. Выступы могут быть выполнены индивидуальными для каждого электрода, или же два или большее количество электродов могут иметь выступ.

В соответствии со вторым аспектом, предложен способ измерения электропроводности внутри гидроциклона для обнаружения образования состояния уплотнения потока в гидроциклоне. Гидроциклон содержит впускное отверстие для исходного потока, выпускное отверстие для верхнего продукта, нижнее разгрузочное отверстие для выпуска нижнего продукта, верхнюю часть, соединенную с впускным отверстием для исходного потока и выпускным отверстием для верхнего продукта, и коническую часть, расположенную между верхней частью и нижним разгрузочным отверстием. Любые или все признаки, описанные выше в отношении первого аспекта, можно рассматривать как относящиеся также к гидроциклону второго аспекта. Способ включает измерение электропроводности внутри гидроциклона с помощью электродов, расположенных по окружности в конической части на осевом расстоянии (d_{meas}) от нижнего разгрузочного отверстия, при этом d_{meas} составляет не менее 5% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью, и d_{meas} составляет не более 50% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью. Измерение выполняют для обнаружения образования уплотнения потока в гидроциклоне. Обнаружение формирования состояния уплотнения потока также может выполняться на отдельном этапе, например, с помощью отдельного устройства. Измерение и/или обнаружение может быть определено контроллером, который является частью гидроциклона. Однако любой или оба этапа также могут выполняться контроллером, отдельным от гидроциклона, тогда как циклон может быть выполнен с возможностью подсоединения или соединения с таким контроллером. Измерение и/или обнаружение могут выполняться автоматически. Обнаружение может выполняться упреждающе, как описано выше.

Когда обнаружено формирование состояния уплотнения потока до и/или после наступления этого состояния, может быть сгенерирован сигнал тревоги. В качестве альтернативы или дополнительно, работой гидроциклона можно управлять для предотвращения или устранения состояния уплотнения потока, например, путем снижения скорости подачи исходного потока в гидроциклон.

Исходный поток вводят в гидроциклон через одно или несколько впускных отверстий для исходного потока. Исходный поток может состоять из твердого вещества и жидкости-носителя. Во время работы гидроциклона материал, соответствующий исходному потоку, отделяется, например, на основании различий в размере и/или в удельном весе частиц в исходном потоке. Когда внутри гидроциклона измеряется электропроводность, материал, соответствующий исходному потоку, электропроводность которого измеряется, уже может быть полностью или частично отделен.

В одном варианте выполнения вес твердого вещества в исходном потоке, вводимом в гидроциклон, соответствует от 10 до 85% от общего веса исходного потока. Соответственно, вес жидкости-носителя в исходном потоке может составлять от 15 до 90% от общего веса исходного потока.

В одном варианте выполнения твердое вещество в исходном потоке, подаваемом в гидроциклон, имеет удельный вес от 1,5 до 7,0 т на кубический метр.

Следует понимать, что аспекты и варианты выполнения, описанные выше, могут использоваться в любой комбинации друг с другом. Некоторые аспекты и варианты выполнения могут быть объединены вместе, чтобы сформировать дополнительный вариант выполнения.

Краткое описание чертежей

Сопроводительные чертежи, которые включены для обеспечения дальнейшего понимания и составляют часть этого описания, иллюстрируют варианты выполнения и вместе с описанием помогают объяснить принципы изобретения. На чертежах:

фиг. 1 изображает на виде сбоку схематическую иллюстрацию гидроциклона, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения,

фиг. 2a и 2b изображают, соответственно, в аксонометрии и на виде сбоку нижнюю часть гидроциклона, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения,

фиг. 2c изображает на виде сбоку поперечный разрез нижней части гидроциклона, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения,

фиг. 3 изображает на виде сбоку струбину гидроциклона, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения, и

фиг. 4a и 4b изображают прокладку гидроциклона, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения.

Подобные номера позиций используются для обозначения эквивалентных или, по меньшей мере, функционально эквивалентных частей на прилагаемых чертежах.

Подробное описание

Подробное описание, представленное ниже в сочетании с прилагаемыми чертежами, предназначено как описание вариантов выполнения и не предназначено для представления единственных форм, в которых этот вариант выполнения может быть сконструирован или использован. Однако одни и те же или эквивалентные функции и конструкции могут выполняться в разных вариантах выполнения.

Гидроциклон (далее также "циклон") - это часть технологического оборудования, выполненная с возможностью сортировки исходного потока, такого как пульпа, в больших объемах. В зависимости от размера циклона, скорость потока может даже превышать кубический метр исходного потока в секунду, тогда как типичные значения колеблются от 25 кубических сантиметров в секунду до 2 кубических метров в секунду. Примеры конструкции и работы гидроциклона раскрыты, например, в 8-м издании Wills' Mineral Processing Technology (глава 9.4).

На фиг. 1 схематично показан гидроциклон 100, выполненный в соответствии с одним вариантом выполнения. Циклон 100 выполнен с возможностью сортировки исходного потока путем разделения его на нижний продукт и верхний продукт, и он может быть дополнительно выполнен с возможностью осуществления конкретных целей, таких как переработка полезных ископаемых. Для подачи исходного потока в циклон 100 циклон содержит впускное отверстие 102 для исходного потока которое может быть выполнено извилистым. Впускное отверстие 102 для исходного потока может быть выполнено с возможностью минимизации турбулентности исходного потока, например, благодаря наклонному направлению потока и/или отсутствию острых углов.

Для удаления верхнего продукта из циклона 100 циклон 100 содержит выпускное отверстие 104 для верхнего продукта, которое может содержать трубу или быть выполнено из нее. Выпускное отверстие для верхнего продукта может содержать сливную насадку 106, проходящую в циклон 100. Сливная насадка 106 может быть съемной. Выпускное отверстие 104 для верхнего продукта и, в частности, сливная насадка 106, может быть расположена на центральной оси циклона 100. Выпускное отверстие 104 для верхнего продукта и, в частности, сливная насадка 106, может проходить в циклон 100 в осевом направлении за нижний край впускного отверстия 102 для исходного потока.

Для выгрузки нижнего продукта из циклона 100 циклон содержит нижнее разгрузочное отверстие 130 (также известное как разгрузочную трубу). Нижнее разгрузочное отверстие 130 обычно обращено вниз, так что нижний продукт выгружается из циклона 100 вниз. Нижнее разгрузочное отверстие 130 может быть расположено на центральной оси циклона 100. Как правило, гидроциклон 100 содержит ровно одно нижнее разгрузочное отверстие 130 и ровно одно выпускное отверстие 104 для верхнего продукта, но также существуют конструкции с большим количеством нижних разгрузочных отверстий 130. Для таких конструкций одно впускное отверстие 102 для исходного потока и/или выпускное отверстие 104 для верхнего продукта могут соответствовать большому количеству нижних разгрузочных отверстий 130.

Гидроциклон 100 содержит верхнюю часть 110, которая может быть цилиндрической или по существу цилиндрической. Однако в некоторых вариантах выполнения она может быть, по меньшей мере, слегка наклонена так, что ее форму, в целом, можно считать конической. Гидроциклоны 100 производятся для большого количества различных применений, и, соответственно, их размеры и длины, такие как высота (h_{up}) верхней части 110, могут варьироваться. Хотя диаметр (D) верхней части также может варьироваться, в одном варианте выполнения, особенно подходящем для обработки минералов, диаметр может составлять от 50 до 1400 мм. Как правило, меньший диаметр соответствует меньшему размеру отсечения. Важным параметром для определения формы верхней части 110 является коэффициент формы (h_{up}/D), который может составлять, например, 0,6-2. Верхняя часть 110 проходит вниз до уровня d_{up} дна верхней части 110. На этом уровне в плоскости, перпендикулярной осевой длине, верхняя часть 110 может иметь кольцеобразное внутреннее поперечное сечение.

Гидроциклон 100 также имеет коническую часть 120, расположенную между верхней частью 110 и нижним разгрузочным отверстием 130. Высота (h_{con}) конической части 120 может изменяться. Коническая часть 120 выполнена с возможностью образования пространства для оседания исходного потока, вводимого в циклон 100. В частности, циклон 100 выполнен с возможностью обеспечения оседания нижнего продукта в конической части 120, чтобы его можно было выгружать из нижнего разгрузочного отверстия 130. Для этого коническая часть 120 сужается к нижнему разгрузочному отверстию 130, при этом сужение может быть непрерывным. Коническая часть 120 может иметь один или несколько сегментов в форме усеченного конуса. Каждый из них также может сужаться к нижнему разгрузочному отверстию 130. Коническая часть 120 имеет угол наклона (α) по отношению к осевому направлению, который может быть фиксированным или по существу фиксированным. Однако в некоторых вариантах выполнения угол наклона может изменяться непрерывно или с разрывами, в осевом направлении конической части 120. В любом случае угол может составлять, например, от 10 до 30°. Большие углы могут использоваться для размеров отсечения, соответствующих более крупнодисперсным частицам, тогда как меньшие углы могут использоваться для размеров отсечения, соответствующих более мелкодисперсным частицам. Когда угол наклона изменяется, гидроциклон может быть выполнен так, что он всегда имеет больший угол над меньшим углом. Следует отметить, что угол наклона относится к уклону на внутренней поверхности циклона 100 и конической части 120, поскольку это наклон, определяющий рабочие характеристики циклона 100. Коническая часть 120 соединена с верхней частью 110, чтобы обеспечить исходному потоку, подаваемому в гидроциклон, возможность перемещаться между двумя частями. Для этого коническая часть 120 и верхняя часть могут быть соединены непосредственно, так что коническая часть

120 продолжается прямо вниз от верхней части 110. В этом случае общая высота (H) циклона 100 может быть выражена как $H=h_{up}+h_{cone}$

Как коническая часть 120, так и нижнее разгрузочное отверстие 130 могут содержаться в нижней части 150 гидроциклона 100. Нижняя часть 150 может быть соединена с верхней частью 110 снизу и может быть напрямую соединена с верхней частью 110. Верхняя часть и/или нижняя часть 150 могут быть выполнены из металла. Аналогичным образом, коническая часть 120 может быть выполнена из металла.

Верхняя часть 110 соединена с впускным отверстием 102 для исходного потока, так что исходный поток может подаваться в циклон 100 и, в частности, в верхнюю часть 110. Впускное отверстие 102 для исходного потока может быть соединено с верхней частью 110 по касательной, обеспечивая возможность подачи исходного потока по касательной, придавая исходному потоку завихренное движение внутри циклона 100. Циклон 100 выполнен с возможностью подачи исходного потока под давлением через впускное отверстие 102 для исходного потока, а скорость (v_{in}) исходного потока во впускном отверстии для исходного потока может составлять, например, от 2 до 10 м/с или от 6 до 10 м/с для циклонов 100 меньшего размера.

Верхняя часть 110 также соединена с выпускным отверстием 104 для верхнего продукта для удаления верхнего продукта из циклона 110 и, в частности, из верхней части 110. Поскольку выпускное отверстие 104 для верхнего продукта обычно проходит в верхнюю часть 110, например, в качестве сливной насадки 106, свободная высота (H_f) циклона 100 может быть меньше, чем общая высота (H) циклона 100. Для вариантов выполнения изобретения свободная высота может быть преимущественно выражена по отношению к диаметру верхней части 110, и в этом случае параметр H_f/D может составлять, например, от 3 до 10. Следует отметить, что общая высота измеряется от нижнего разгрузочного отверстия 130 до верха верхней части 110, как показано. Соответственно, свободная высота измеряется от нижнего разгрузочного отверстия 130 до низа выпускного отверстия 104 для верхнего продукта. Также следует отметить, что для направления выпуска нижнего продукта циклон 100 может также проходить ниже нижнего разгрузочного отверстия 130, например, в качестве юбки. Кроме того, хотя нижнее разгрузочное отверстие 130 может быть расположено в самом узком отверстии для выгрузки нижнего продукта из циклона 100 под конической частью 120, также это самое узкое отверстие может проходить вертикально с постоянной шириной. Следовательно, все измерения, выполняемые с нижним разгрузочным отверстием, 130 здесь определены на уровне $d_{арех}$, соответствующем верху нижнего разгрузочного отверстия 130.

Работа циклона 100 может быть описана следующим образом. По сути, циклон 100 может быть выполнен с возможностью разделения исходного потока путем использования центробежной силы, которая создается исходным потоком, входящим в циклон 100 под давлением. Центробежная сила заставляет крупные частицы "отбрасываться" к внутренней стенке циклона 100, тогда как мелкие частицы остаются ближе к центру циклона. Выпускное отверстие 104 для верхнего продукта или сливная насадка 106 втягивает воду и/или мелкий материал в верхний продукт, тогда как крупный материал выходит через нижнее разгрузочное отверстие 130 в нижней части циклона 100.

Исходный поток формирует сложную схему потока, состоящую из двух спиральных путей и радиального пути. Внешний спиральный путь на внутренней стенке циклона 100 идет по спирали к конической части 120 циклона 100, а внутренний спиральный путь - к выпускному отверстию 104 для верхнего продукта, например, к сливной насадке 106. Когда исходный поток подается в циклон 100, образуется тангенциальный поток, направленный вовнутрь. В этом потоке вовнутрь соотношение тангенциальной силы и силы сопротивления, действующих на частицы в исходном потоке, будет определять, в каком из спиральных потоков окажутся частицы. Тангенциальная сила пропорциональна третьей степени характеристической меры частицы (например, массе частицы), а сила сопротивления пропорциональна только второй степени (например, площади поперечного сечения частицы). Из-за этого только мелкие частицы будут перемещаться вовнутрь спиралевидного потока, который направляет их к выпускному отверстию 104 для верхнего продукта или к сливной насадке 106. Крупные частицы остаются в нисходящем потоке и будут направлены к нижнему разгрузочному отверстию 130. Внутренний вращающийся поток имеет две важные особенности. Самая внутренняя часть потока сохраняет угловую скорость. Это приводит к образованию границы свободного газа и жидкости (например, воздушного сердечника). Следовательно, циклон 100 выполнен с возможностью формирования воздушного сердечника в осевом направлении циклона 100. Этот воздушный сердечник важен для работы циклона 100. Пока воздушный сердечник проникает во весь циклон 100 от выпускного отверстия 104 для верхнего продукта или сливной насадки 106 до нижнего разгрузочного отверстия 130, циклон 100 может работать стабильно. Тогда воздушный сердечник также может быть открыт к нижнему разгрузочному отверстию 130. Скорости потока у нижнего разгрузочного отверстия 130 относительно высоки, и нижний продукт может быть сформирован в виде конической струи.

Когда в циклон 100 подается чрезмерное количество крупнодисперсного материала, он может перегрузиться. Поддержание постоянной угловой скорости требует все больше и больше энергии, поскольку масса вращающегося потока увеличивается. В результате угловая скорость уменьшается, что приводит к нестабильному воздушному сердечнику, который начинает колебаться. Если перегрузка сохраняется, т.е. чрезмерное количество крупнодисперсного материала продолжает поступать в циклон 100, воздушный сердечник может исчезнуть из нижней части циклона 100. В этот момент в циклоне 100 зарождается уп-

лотнение потока. Уплотнение потока - это состояние, при котором скорости потока частиц очень сильно замедляются, а пропускная способность для нижнего продукта уменьшается. Это изменяет структуру вращающегося и радиального потока. В результате крупнодисперсные частицы попадают во внутренний вращающийся поток, а затем попадают в верхний продукт. Размер отсекающего циклона 100 становится намного больше, чем при нормальной работе. Рабочий размер отсекающего может увеличиваться от менее 100 мкм до более 200 мкм, если в исходном потоке содержится высокий процент твердых частиц. Поскольку скорости сильно замедлены, уплотнение потока не является легко обратимым явлением, а имеет большой гистерезис. Следовательно, возврат циклона 100 к нормальной работе может потребовать значительного сокращения подачи исходного потока.

Одной из характеристик уплотнения потока является низкая скорость вращения и высокий процент твердого материала в нижнем продукте. Это приводит к тому, что нижний продукт выглядит как веревка, выходящая из нижнего разгрузочного отверстия 130. Другой характеристикой уплотнения потока является увеличение размера разделения и уменьшение количества мелкодисперсного материала в нижнем продукте. Нижнее разгрузочное отверстие 130 может иметь пороговую пропускную способность, так что при превышении пороговой пропускной способности может возникнуть состояние уплотнения потока. При нормальной работе циклона 100 нижний продукт разбрызгивается из нижнего разгрузочного отверстия, как правило, коническим образом. Однако в начале зарождения уплотнения потока воздушный сердечник внутри нижнего разгрузочного отверстия 130 сжимается, так что спиралевидное движение нижнего продукта в значительной степени или полностью теряется. Уплотнение потока может даже привести к закупориванию циклона 100. Хотя закупоривание циклона случается редко, это может произойти, если крупные частицы, мелкие мелющие тела или какой-либо другой посторонний предмет закупоривают нижнее разгрузочное отверстие.

Гидроциклон 100 содержит электроды 140, которые выполнены с возможностью подачи измерительного сигнала. Для обнаружения уплотнения потока электроды 140 специально выполнены с возможностью измерения электропроводности внутри циклона 100 с целью обнаружения зарождения состояния уплотнения потока в циклоне 100. Для этой цели все электроды 140 могут быть расположены в осевом направлении циклона 100 по существу на одном уровне. Например, они могут быть расположены в осевом направлении в пределах от 1 до 5 см друг от друга. Кроме того, электроды 140 расположены в конической части 120 по окружности. Электроды 140 могут быть расположены по существу на равном расстоянии по окружности конической части 120. Электроды могут проходить через стенку гидроциклона 100, например, от внутренней поверхности конической части 120 к внешней поверхности гидроциклона 100. Электроды 140 могут содержать токопроводящие болты или состоять из них. Электроды 140 могут содержать металл или быть выполненными из него. Электроды 140 могут быть жесткими. Было обнаружено, что, когда каждый электрод имеет толщину от 2 до 3 мм или более, точность и надежность измерения могут быть заметно улучшены. Электроды 140 можно расположить по существу горизонтально, то есть перпендикулярно по отношению к осевому направлению. Электроды 140 могут содержать резьбу, например, для крепления электродов 140. Дополнительно или в качестве альтернативы, резьба может использоваться для крепления проводников к электродам 140 для передачи измерительного сигнала от электродов 140. В качестве примера, проводник может быть закреплен между двумя резьбовыми гайками на резьбовом электроде 140.

Важно отметить, что электроды 140 необходимо располагать в осевом направлении специально так, чтобы их осевое расстояние (d_{meas}) от нижнего разгрузочного отверстия 130 составляло по меньшей мере 5% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием 130 и верхней частью 110, т.е. значения $d_{\text{up}} - d_{\text{apex}}$. В то же время d_{meas} не должно превышать 50% от значения $d_{\text{up}} - d_{\text{apex}}$. Когда верхняя часть 110 и коническая часть 120 соединены непосредственно, значение $d_{\text{up}} - d_{\text{apex}}$ соответствует высоте конической части 120. Было обнаружено, что размещение электродов в вышеупомянутых пределах дает заметное улучшение точности обнаружения уплотнения потока, причем даже в такой степени, что электроды 140 могут использоваться для упреждающего определения перехода в состояние уплотнения потока. Как только электроды 140 расположены выше нижнего уровня, как описано выше, было обнаружено, что воздушный сердечник в типичных ситуациях измерения становится заметно более устойчивым для точного измерения, чтобы обнаружить зарождение состояния уплотнения потока. С другой стороны, было обнаружено, что как только электроды 140 расположены выше верхнего уровня, как описано выше, в типичных ситуациях измерения прогнозирующий эффект быстро уменьшается. Соответственно, размещение электродов 140, как описано выше, позволяет адаптировать гидроциклон 100 для упреждающего обнаружения зарождения состояния уплотнения потока.

Следует отметить, что циклон 100 может содержать один или несколько наборов электродов 140, например, два, три и даже больше наборов. Каждый набор может быть расположен по окружности конической части 120. Наборы могут быть расположены на расстоянии друг от друга в осевом направлении. Однако все наборы могут быть расположены в пределах от 5 до 50% от значения $d_{\text{up}} - d_{\text{apex}}$ от нижнего разгрузочного отверстия 130, измеренного в осевом направлении. Электроды 140 в одном наборе могут быть расположены по существу на одном уровне в осевом направлении циклона 100. Например, в осевом направлении они могут быть расположены в пределах от 1 до 5 см друг от друга.

Формирование состояния уплотнения потока может быть определено путем измерения электропроводности с помощью оборудования, описанного в настоящем документе, и сопоставления измеренных значений с формированием состояния уплотнения потока. Например, с помощью описанного оборудования могут быть выполнены повторные измерения для выявления закономерностей, соответствующих формированию состояния уплотнения потока. Формирование состояния уплотнения потока может быть определено из измерений электропроводности на основании того факта, что присутствие воздушного сердечника создает область внутри циклона 100, в которой электропроводность незначительна или заметно снижена. Используя описанный циклон 100, можно идентифицировать закономерности, соответствующие исчезновению воздушного сердечника. Кроме того, было обнаружено, что, когда электроды 140 содержат девять или большее количество электродов, может быть получено достаточное разрешение для построения двумерного изображения воздушного сердечника, чтобы обнаружить зарождение состояния уплотнения потока. Кроме того, было обнаружено, что с двенадцатью или большим количеством электродов 140 разрешающая способность может быть дополнительно улучшена, так что может быть получено заметное улучшение как точности, так и надежности измерения.

В качестве примера для определения формирования состояния уплотнения потока можно использовать томографию электрического сопротивления (ERT) и/или томографию электрического импеданса (EIT). Это способы томографии процесса, которые можно использовать для надежных оперативных измерений многофазной среды. В ERT оценка электропроводности объекта как функции местоположения может быть рассчитана на основе измеренных напряжений и известных подаваемых токов (или наоборот). Расчеты основаны на математической модели, определяющей отношения между токами, распределением электропроводности внутри гидроциклона 100 и напряжениями на электродах. Преимущества ERT заключаются в том, что она основана на математической модели, которая также учитывает импедансы электродов, при этом измерения могут выполняться очень быстро. Следовательно, электроды могут быть выполнены так, чтобы нижний продукт циклона 100 мог быть визуализирован в режиме реального времени.

EIT в значительной степени соответствует ERT, за исключением того, что она использует как активное сопротивление, так и реактивное сопротивление измеряемого сигнала, и, таким образом, вышеуказанное также применимо к EIT. Для обнаружения зарождения состояния уплотнения потока в гидроциклоне 100 гидроциклон 100, в частности электроды 140, могут быть выполнены с возможностью осуществления любого из измерений, ERT и EIT, или обоих измерений.

Независимо от используемых способов анализа, электроды 140 могут быть выполнены с возможностью обеспечения измерительного сигнала для обнаружения зарождения состояния уплотнения потока, например, путем обнаружения наличия воздушного сердечника между электродами 140 или путем измерения размера воздушного сердечника между электродами 140. В качестве альтернативы или дополнительно, электроды 140 могут быть выполнены с возможностью обеспечения измерительного сигнала для определения того, собирается ли воздушный сердечник исчезнуть, так что возникновение воздушного сердечника и, таким образом, состояние уплотнения потока может быть обнаружено заранее. Электроды 140 могут быть выполнены с возможностью обеспечения измерительного сигнала для создания двух- (или более) мерного изображения нижнего продукта. Электроды 140 также могут быть выполнены с возможностью обеспечения измерительного сигнала, по которому можно идентифицировать характеристики нижнего разгрузочного отверстия 130 или по которому можно визуализировать воздушный сердечник в режиме реального времени.

Измерительный сигнал может использоваться для управления работой гидроциклона 100. Измерительный сигнал может, например, использоваться для создания оперативного предупреждения для операторов циклона 100 даже до того, как возникнет состояние уплотнения потока. Измерительный сигнал может использоваться для автоматического управления циклоном 100, например, для автоматического снижения скорости подачи исходного потока, когда обнаружено зарождение состояния уплотнения потока. Это может быть сделано, например, когда обнаружено, что устойчивость воздушного сердечника потеряна еще до того, как происходит уплотнение потока, и стабильность может быть восстановлена без перехода в состояние уплотнения потока. Для анализа измерительного сигнала и/или управления циклоном 100 на основе измерительного сигнала циклон 100 может быть выполнен с возможностью подключения к контроллеру. В некоторых вариантах выполнения сам циклон 100 может даже содержать контроллер для анализа измерительного сигнала и/или управления циклоном 100 на основании измерительного сигнала. Контроллер также может быть выполнен с возможностью подачи сигнала тревоги на основе измерительного сигнала, например, когда формирование состояния уплотнения потока обнаруживается до и/или после начала формирования состояния уплотнения потока.

Фиг. 2а-с изображают нижнюю часть 150 гидроциклона 100, выполненного в соответствии с одним вариантом выполнения. Нижняя часть 150 содержит коническую часть 120 и внешнюю поверхность 152. Внешняя поверхность 152 также обычно имеет коническую форму, поскольку она может содержать один или несколько сегментов в форме усеченного конуса. Однако, естественно, возможны и другие формы. Коническая часть 120 имеет внутреннюю поверхность 122. Угол (а) наклона конической части 120, как описано выше, соответствует углу наклона внутренней поверхности 122. Как указано выше, этот угол

может изменяться вдоль длины конической части 120 или может быть фиксированным. Коническая часть 120 может быть разделена на две или более отдельных частей 126, 128, содержащих одну или несколько верхних частей 126 и одну или несколько нижних частей 128 конической части 120. Подобным образом, вся нижняя часть 150 может быть разделена на две или большее количество отдельных частей, соответствующих отдельным частям 126, 128 конической части 120. Электроды 140 могут быть расположены между соседней парой, состоящей из верхней части 126 и нижней части 128. Для крепления верхней части 126 и нижней части 128 друг к другу циклон 100 может содержать одну или несколько трубцин 300. Нижняя часть 150 может содержать один или несколько фланцев 154, 156 для поддержки трубки 300, чтобы прикреплять верхнюю часть 126 и нижнюю часть 128 друг к другу. Например, нижняя часть 150 может содержать один или несколько фланцев 154, соответствующих верхней части 126, и/или один или несколько фланцев 156, соответствующих нижней части 128. Указанный один или несколько фланцев 154, 156 могут отслеживать внешнюю поверхность 152 нижней части 150 в плоскости, перпендикулярной осевому направлению. Указанный один или несколько фланцев 154, 156 могут иметь кольцеобразную форму. Указанный один или несколько фланцев 154, 156 могут проходить, непрерывно или с разрывами, по окружности нижней части 150. Для каждой пары, состоящей из верхней части 126 и нижней части 128, циклон 100 может содержать отдельную трубку 300. Кроме того, электроды 140 между соседней парой, состоящей из верхней части 126 и нижней части 128, могут быть расположены внутри прокладки 400. Прокладка 400 может быть зажата между соседней парой, состоящей из верхней части 126 и нижней части 128, с помощью трубки 300.

Как показано, нижнее разгрузочное отверстие 130 может иметь ненулевую длину в осевом направлении. Ширина нижнего разгрузочного отверстия 130 может оставаться постоянной по всей длине. Циклон 100 может содержать юбку 160, расположенную ниже нижнего разгрузочного отверстия 130. Юбка 160 может быть частью нижней части 150. Юбка 160 выполнена с возможностью направления выпуска нижнего продукта. Юбка 160 может быть конической и может содержать один или несколько сегментов в форме усеченного конуса. Юбка 160 может быть выполнена так, что она становится шире, непрерывно или с разрывами, при удалении от нижнего разгрузочного отверстия 130 в осевом направлении.

Фиг. 3 изображает один пример трубки 300 для крепления друг к другу верхней части 126 и нижней части 128 конической части 120. Трубка 300 может содержать металл или быть выполнен из металла. Трубка 300 может иметь кольцеобразную форму. Трубка 300 может содержать хомут 310, 312 для приложения зажимного усилия к нижней части 150 циклона 100, например, к фланцу 154, 156. В качестве примера, хомут 300 может содержать один или несколько хомутов 310 для приложения зажимного усилия на сторону нижней части 150, соответствующей верхней части 126 конической части 120, и/или один или несколько хомутов 312 для приложения зажимного усилия на сторону нижней части 150, соответствующей нижней части 128 конической части 120. Указанный один или несколько хомутов 310, 312 могут иметь кольцеобразную форму. Указанный один или несколько хомутов 310, 312 могут быть выполнены с возможностью прохождения, непрерывно или с разрывами, по окружности нижней части 150. Трубка 300 может содержать один или несколько крепежных элементов 320, например, четыре или большее количество, таких как болты, для крепления трубки 320. Указанный один или несколько крепежных элементов 320 могут быть выполнены с возможностью, например, крепления двух хомутов 310, 312 друг к другу. Указанный один или несколько крепежных элементов 300 могут быть выполнены с возможностью приложения зажимного усилия по существу в осевом направлении циклона 100. Трубка 300 может быть выполнена с возможностью водонепроницаемого крепления конической части 120.

Фиг. 4а и 4б изображают пример прокладки 400 для защиты электродов 140, например, посредством механической и/или электрической изоляции. Тогда как фиг. 4а иллюстрирует пример в аксонометрии, фиг. 4б иллюстрирует тот же пример в аксонометрии, где контуры электродов 140 внутри прокладки 400 показаны пунктирными линиями.

Прокладка 400 может быть упругой для обеспечения герметичного контакта. Прокладка 400 может быть выполнена из изоляционного материала, например, из резины или полиуретана. Прокладка 400 может быть плоской. Его можно приспособить для размещения по горизонтали. Прокладка 400 может иметь кольцеобразную форму. Она имеет внутреннюю границу 410, выполненную с возможностью контакта с исходным потоком после того, как оно было подано в циклон 100, и внешнюю границу 412, которая может быть выполнена с возможностью быть обращенной наружу от нижней части 150. Внутренняя граница 410 и/или внешняя граница 412 может иметь кольцеобразную форму. Прокладка 400 может быть выполнена с возможностью охвата, по меньшей мере, частично, электродов 140. Прокладка 400 может иметь одно или несколько отверстий для электродов 140. Указанное одно или несколько отверстий могут проходить через прокладку 400, например, от внутренней поверхности 410 к внешней поверхности 412. Прокладка 400 может быть выполнена так, чтобы электроды 140 были электрически изолированы друг от друга. Прокладка 400 может быть выполнена с возможностью электрического изолирования электродов 140 относительно конической части 120 и/или нижней части 150. Электроды 140 могут быть прикреплены к прокладке 400 одним или несколькими крепежными элементами 420, такими как гайки. Толщина прокладки 400 может быть такой, что каждый электрод 140 с каждой стороны изолирован, по меньшей мере, слоем прокладки 400 толщиной по меньшей мере 0,5-1,0 мм. Внешняя граница 412 прокладки

400 может содержать один или несколько выступов 430 для защиты электродов 140. Несмотря на потенциальные точки контакта, это позволяет электродам 140 быть заключенными внутри прокладки 400 по существу по всей их длине. Одно или несколько выступов 430 могут быть выполнены с возможностью размещения в промежуточных пространствах между одним или несколькими крепежными элементами 320 струбцины 300. Это обеспечивает возможность закрепления струбцины 300 вертикально, тогда как концы электродов 140 остаются открытыми для контакта с внешней границей 152 нижней части 150 цикла 100. Другими словами, струбцина 300 может содержать одно или несколько отверстий для указанного одного или нескольких выступов 430, которые выполнены с возможностью обхода струбцины 300 через отверстия. Это обеспечивает возможность механической защиты электродов 140, например, от воды и грязи, одновременно обеспечивая их доступность для контакта, например, от концов электродов 140. В дополнение к вышесказанному, указанное одно или несколько выступов 430 могут быть выполнены с возможностью указания правильного положения прокладки 400 и, следовательно, электродов 140.

Различные обсуждаемые в настоящем документе функции могут выполняться в разном порядке и/или одновременно друг с другом.

Любой диапазон или параметр устройства, приведенные в настоящем описании, могут быть расширены или изменены без потери желаемого эффекта, если не указано обратное. Также любой вариант выполнения может быть объединен с другим вариантом выполнения, если это явным образом не запрещено.

Несмотря на то, что изобретение было описано на языке, характерном для конструктивных признаков и/или действий, следует понимать, что изобретение, определенное в прилагаемой формуле изобретения, не обязательно ограничено конкретными признаками или действиями, описанными выше. Скорее, конкретные признаки и действия, описанные выше, раскрыты в качестве примеров реализации формулы изобретения, а другие эквивалентные признаки и действия, как предполагается, находятся в пределах объема защиты формулы изобретения.

Следует понимать, что описанные выше выгоды и преимущества могут относиться к одному варианту выполнения или могут относиться к нескольким вариантам выполнения. Варианты выполнения не ограничиваются теми, которые решают какую-либо или все заявленные проблемы, или теми, которые имеют какие-либо или все заявленные выгоды и преимущества. Далее следует понимать, что ссылка на "элемент" может относиться к одному или нескольким из этих элементов.

Термин "содержащий" используется в данном документе для обозначения включения идентифицированного способа, блоков или элементов, но что такие блоки или элементы не составляют исчерпывающий список, а способ или устройство могут содержать дополнительные блоки или элементы.

Следует понимать, что приведенное выше описание приведено исключительно в качестве примера и что специалисты в данной области техники могут вносить различные модификации. Приведенные выше описание, примеры и данные предоставляют полное описание конструкции и использования иллюстративных вариантов выполнения. Хотя различные варианты выполнения были описаны выше с определенной степенью конкретности или со ссылкой на один или несколько отдельных вариантов выполнения, специалисты в данной области техники могут внести многочисленные изменения в раскрытые варианты выполнения, не выходя за рамки сущности или объема защиты этого изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гидроциклон для разделения исходного потока на верхний продукт и нижний продукт, содержащий:

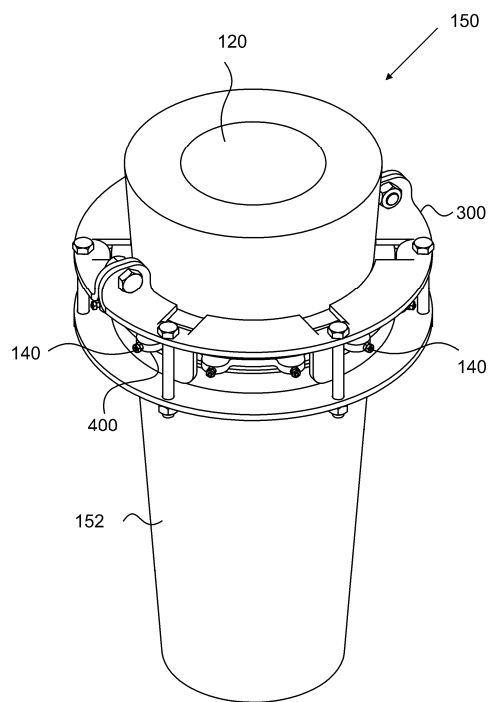
впускное отверстие для исходного потока,
 выпускное отверстие для верхнего продукта,
 нижнее разгрузочное отверстие для выпуска нижнего продукта,
 верхнюю часть, соединенную с впускным отверстием для исходного потока и выпускным отверстием для верхнего продукта,
 коническую часть между верхней частью и нижним разгрузочным отверстием, и
 электроды для измерения электропроводности внутри гидроциклона для обнаружения образования уплотнения потока в гидроциклоне,

отличающийся тем, что электроды расположены по окружности в конической части на осевом расстоянии (d_{meas}) от нижнего разгрузочного отверстия, где d_{meas} составляет не менее 5% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью, и d_{meas} составляет не более 50% от расстояния по оси между нижним разгрузочным отверстием и верхней частью, причем электроды расположены внутри кольцеобразной прокладки.

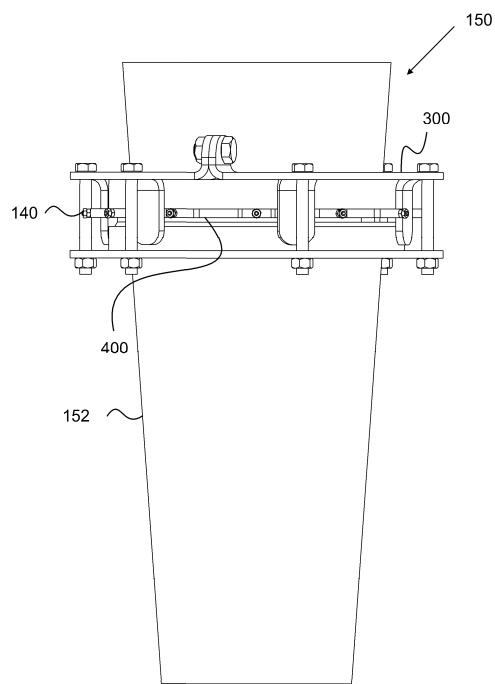
2. Гидроциклон по п.1, в котором электроды содержат по меньшей мере девять электродов для построения изображения томографии электрического сопротивления (ERT) и/или томографии электрического импеданса (EIT).

3. Гидроциклон по п.1 или 2, в котором толщина электродов составляет по меньшей мере 2,5 мм.

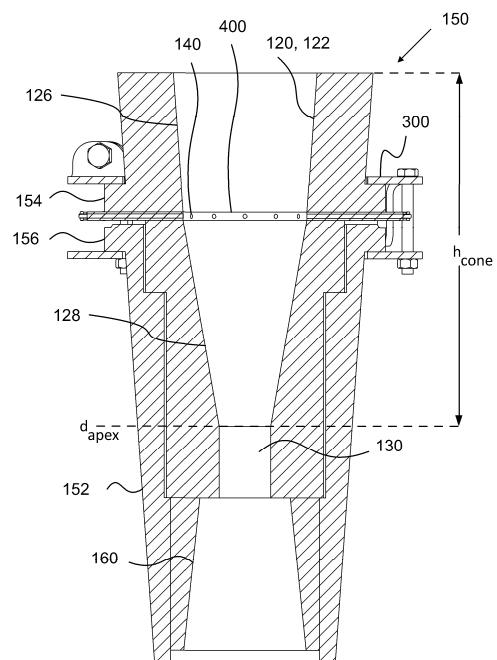
4. Гидроциклон по любому из предшествующих пунктов, в котором прокладка изготовлена из резины или изоляционного полимера.



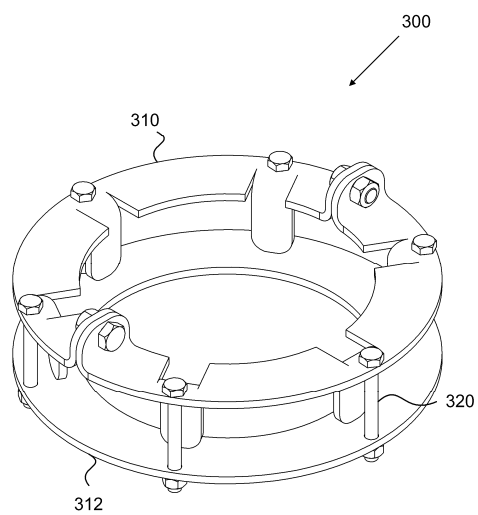
Фиг. 2а



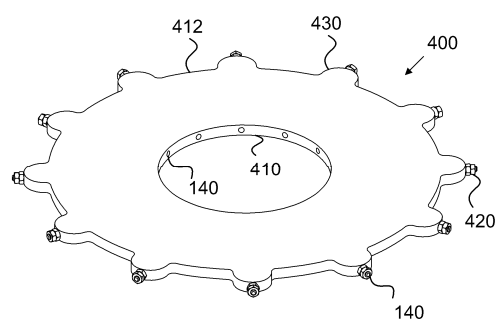
Фиг. 2б



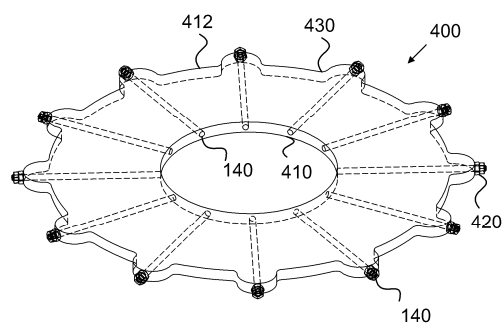
Фиг. 2с



Фиг. 3



Фиг. 4а



Фиг. 4b

