

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **042796**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.03.27**

(21) Номер заявки  
**202190680**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.09.04**

(51) Int. Cl. **C02F 1/38** (2006.01)  
**C02F 11/12** (2019.01)  
**C02F 9/02** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ**

---

(31) **2018903278**

(32) **2018.09.04**

(33) **AU**

(43) **2021.07.23**

(86) **PCT/AU2019/050941**

(87) **WO 2020/047592 2020.03.12**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**УЭЙР МИНЕРАЛЗ ОСТРЭЙЛИА  
ЛТД (AU)**

(72) Изобретатель:  
**Стьюард Нильс Ричард, Стефенсон  
Дин (AU)**

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

(56) **US-A1-20150158032**  
**US-A-5316664**  
**US-A1-20110094970**  
**US-A1-20170036929**  
**JP-A-2018122279**  
**US-A-3912579**  
**US-A-3800946**  
**CA-A1-2524088**  
**CA-C-2707197**

(57) Изобретение относится к способам обезвоживания хвостов и системам для осуществления этого. В некоторых аспектах изобретение относится к способам получения обезвоженного хвостового остатка или пригодного к штабелированию хвостового остатка, включающим в себя подвергание хвостов гидроциклонной сепарации с целью получения одного или более частично обезвоженных нижних продуктов и конечного богатого водой верхнего продукта; разделение конечного богатого водой верхнего продукта посредством центрифугирования на извлеченный водный поток и маловодный остаток и смешивание маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения обезвоженного хвостового остатка или пригодного к штабелированию хвостового остатка.

**B1**

**042796**

**042796**  
**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к способам обезвоживания хвостов и системам для осуществления этого.

#### **Уровень техники**

Хвостохранилища используются для хранения хвостов горных выработок, которые представляют собой отходы добычи полезных ископаемых, например завода по переработке руды или завода по обогащению угля. Мокрые хвосты (например, суспензии) могут храниться в таких резервуарах, как плотины, пруды, деривационные каналы, водосбросы и дренажные каналы для сбора фильтрационных вод, при этом они постепенно обезвоживаются за счет осаждения, дренажа и испарения. Традиционное пруд-хвостохранилище занимает большую площадь и требует значительных работ по обслуживанию и мониторингу. Кроме того, хранение мокрых хвостов является предметом все более тщательного надзора в свете рисков просачивания хвостового раствора, перелива или утечки хвостового раствора или внезапного повреждения хвостохранилищ. Разливы хвостов, прорывы плотин, просачивание и прямые сбросы в водотоки приводят к серьезным и долгосрочным экологическим и социальным последствиям.

Кроме того, все более желательным является увеличение извлечения воды, особенно в тех случаях, когда добыча полезных ископаемых ведется в районах с дефицитом воды. Соответственно, разработаны способы обезвоживания хвостов, позволяющие извлекать воду и получать по существу обезвоженные хвосты. По существу обезвоженные хвосты можно утилизировать посредством так называемого "сухого" штабелирования.

Промплощадки для сухого штабелирования может быть легче закрыть и рекультивировать, и для них требуется меньшая площадь по сравнению с другими вариантами хранения хвостов на поверхности, поскольку обезвоживание хвостов приводит к получению продукта отходов с более высокой плотностью. Кроме того, "сухое" штабелирование может использоваться в тех горно-геологических условиях, где хранилища для мокрых хвостов могут быть неприменимы, например на холмистой местности и на крутых склонах.

В известных способах обезвоживания для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка используются фильтры, такие как вакуум-фильтры или фильтр-прессы, для получения обезвоженного фильтрационного кека, отвечающего геотехническим требованиям для штабелирования обезвоженного продукта. Однако высокие капитальные затраты и эксплуатационные расходы на фильтрационное оборудование могут ограничивать переход от хранения мокрых хвостов к "сухому" штабелированию.

Фильтрационное оборудование может иметь относительно ограниченную пропускную способность. Кроме того, фильтрационный кек может потребовать значительной перевалки для создания конфигурации штабеля, например, его транспортируют или перевозят на грузовиках на хвостохранилище и затем перемещают в конечное положение на сухом штабеле посредством оборудования для земляных работ.

Требуется предложить решение одной или более из вышеперечисленных проблем или по меньшей мере предложить их приемлемую альтернативу.

#### **Сущность изобретения**

Настоящее изобретение относится к способу обезвоживания хвостов и системе для осуществления этого.

В первом аспекте настоящее изобретение относится к способу и системе для обезвоживания хвостов с целью получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Получение пригодного к штабелированию хвостового остатка может облегчить транспортировку, удаление и захоронение хвостовых отходов.

В первом аспекте настоящее изобретение предлагает способ получения пригодного к штабелированию хвостового остатка, включающий подвергание хвостов гидроциклонной сепарации с целью получения одного или более частично обезвоженных нижних продуктов и конечного богатого водой верхнего продукта; разделение конечного богатого водой верхнего продукта посредством центрифугирования на извлеченный водный поток и маловодный остаток и смешивание маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка.

Как правило, имеется множество ступеней гидроциклонной сепарации. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления гидроциклонная сепарация имеет множество ступеней гидроциклонной сепарации, включающих первую ступень и конечную ступень; каждая ступень гидроциклонной сепарации разделяет входящий поток на один или более частично обезвоженных нижних продуктов и богатый водой верхний продукт; входящий поток первой ступени содержит хвосты; богатый водой верхний продукт каждой ступени, предшествующей конечной ступени, является входящим потоком для следующей смежной ступени; и конечный богатый водой верхний продукт представляет собой богатый водой верхний продукт конечной ступени.

В некоторых вариантах осуществления процесс образования хвостов и способ включает в себя подачу извлеченного водного потока в процесс для повторного использования.

В дополнение к этому, настоящее изобретение предлагает систему для получения пригодного к

штабелированию хвостового остатка, содержащую установку гидроциклонной сепарации для подвергания хвостов гидроциклонной сепарации с получением одного или более частично обезвоженного нижнего продукта и конечного богатого водой верхнего продукта; центрифужную установку, содержащую по меньшей мере одну центрифугу, выполненную с возможностью разделения конечного богатого водой верхнего продукта на извлеченный водный поток и маловодный остаток; и смеситель для смешивания маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка.

В некоторых вариантах осуществления системы гидроциклонная сепарация имеет множество ступеней гидроциклонной сепарации, включающих первую ступень и конечную ступень; причем на каждой ступени установка гидроциклонной сепарации имеет подблок, содержащий по меньшей мере один гидроциклон для разделения входящего потока на один или более частично обезвоженный нижний продукт и богатый водой верхний продукт; подблок для первой ступени выполнен таким образом, что входящий поток первой ступени содержит хвосты; и подблоки выполнены с возможностью обеспечения богатого водой верхнего продукта каждой ступени, предшествующей конечной ступени, в качестве входящего потока на следующую смежную ступень; и подблок для конечной ступени выполнен с возможностью подачи конечного богатого водой верхнего продукта в центрифужную установку.

В некоторых вариантах осуществления процесс образования хвостов и система включает трубопровод извлеченной воды, соединенный по текучей среде с центрифужной установкой, для подачи извлеченного водного потока в процесс для повторного использования.

Также предлагается пригодный к штабелированию хвостовой остаток, полученный в соответствии со способом настоящего изобретения.

Настоящее изобретение также предлагает способ утилизации хвостов, включающий получение из хвостов пригодного к штабелированию хвостового остатка в соответствии со способом настоящего изобретения и перекачку пригодного к штабелированию хвостового остатка на полигон для захоронения. Также предложена система утилизации хвостов, включающая систему для получения из хвостов пригодного к штабелированию хвостового остатка в соответствии с системой настоящего изобретения и насос, соединенный по текучей среде с полигоном для захоронения и выполненный с возможностью перекачивания пригодного к штабелированию хвостового остатка на полигон для захоронения.

В дополнение к этому, предложен штабель, содержащий пригодный к штабелированию хвостовой остаток, размещенный в соответствии со способом настоящего изобретения для утилизации хвостов.

В первом аспекте настоящее изобретение относится к способу и системе для обезвоживания хвостов с целью получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Следует иметь в виду, что путем регулирования рабочих параметров способ и система первого аспекта могут быть использованы для получения остатков, которые не пригодны для штабелирования, но тем не менее являются обезвоженными. Таким образом, во втором аспекте изобретение предлагает способ и систему для обезвоживания хвостов с целью получения обезвоженного хвостового остатка.

В частности, второй аспект настоящего изобретения предлагает способ получения обезвоженного хвостового остатка, включающий подвергание хвостов гидроциклонной сепарации с целью получения одного или более частично обезвоженных нижних продуктов и конечного богатого водой верхнего продукта; разделение конечного богатого водой верхнего продукта посредством центрифугирования на извлеченный водный поток и маловодный остаток и смешивание маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения обезвоженного хвостового остатка.

Второй аспект настоящего изобретения также предлагает систему для получения обезвоженного хвостового остатка, содержащую установку гидроциклонной сепарации для подвергания хвостов гидроциклонной сепарации с получением одного или более частично обезвоженного нижнего продукта и конечного богатого водой верхнего продукта; центрифужную установку, содержащую по меньшей мере одну центрифугу, выполненную с возможностью разделения конечного богатого водой верхнего продукта на извлеченный водный поток и маловодный остаток; и смеситель для смешивания маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения обезвоженного хвостового остатка.

В некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт может быть сильно обезвоженным. Этот сильно обезвоженный нижний продукт сам по себе может быть полезным продуктом. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления первого и второго аспектов, в которых имеется две или более ступени гидроциклонной сепарации, по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженных нижних продуктов одной из множества ступеней гидроциклонной сепарации собирается в виде сильно обезвоженного продукта. В некоторых вариантах осуществления предложена система, в которой один из подблоков установки гидроциклонной сепарации имеет трубопровод продукта, выполненный с возможностью сбора по меньшей мере части одного или более частично обезвоженных нижних продуктов из указанного подблока в виде сильно обезвоженного продукта.

Как отмечалось выше, как первый, так и второй аспекты изобретения могут иметь варианты осуществления, в которых гидроциклонная сепарация используется для получения сильно обезвоженного про-

дукта. Таким образом, в третьем аспекте настоящего изобретения предлагается способ получения сильно обезвоженного продукта, включающий подачу водной суспензии или шлама в гидроциклон при высоком входном давлении подачи, причем указанная водная суспензия или шлам содержит твердый материал в виде частиц; и подвергание водной суспензии или шлама гидроциклонной сепарации с получением нижнего продукта и верхнего продукта, причем указанный нижний продукт является сильно обезвоженным продуктом.

Настоящее изобретение также предлагает сильно обезвоженный продукт, собираемый в соответствии с некоторыми вариантами осуществления первого и второго аспектов. В дополнение к этому, настоящее изобретение предлагает сильно обезвоженный продукт, получаемый в соответствии со способом третьего аспекта.

#### **Краткое описание чертежей**

Различные варианты осуществления настоящего изобретения описаны лишь в качестве примера со ссылкой на следующие чертежи.

На фиг. 1 приводится схематическая иллюстрация системы в соответствии с одним вариантом осуществления.

На фиг. 2 приводится схематическая иллюстрация системы в соответствии со вторым вариантом осуществления.

На фиг. 3 приводится схематическая иллюстрация системы в соответствии с третьим вариантом осуществления.

На фиг. 4 приводится схематическая иллюстрация системы в соответствии с четвертым вариантом осуществления.

На фиг. 5 приводится схематическая иллюстрация системы в соответствии с пятым вариантом осуществления.

На фиг. 6 показан гранулометрический состав хвостов, а также частично обезвоженного нижнего продукта и богатого водой верхнего продукта первой ступени гидроциклонной сепарации пятого варианта осуществления.

На фиг. 7 показан гранулометрический состав богатого водой верхнего продукта первой ступени гидроциклонной сепарации, а также частично обезвоженного нижнего продукта и богатого водой верхнего продукта второй ступени гидроциклонной сепарации пятого варианта осуществления.

На фиг. 8 показан гранулометрический состав богатого водой верхнего продукта второй ступени гидроциклонной сепарации, а также маловодного остатка пятого варианта осуществления.

На фиг. 9 показан возможный диапазон гранулометрического состава для пригодного к штабелированию хвостового остатка пятого варианта осуществления.

На фиг. 10 показан возможный диапазон гранулометрического состава для пригодного к штабелированию хвостового остатка шестого варианта осуществления.

На фиг. 11 показано влияние инжектирования воздуха на концентрацию твердых веществ в нижнем продукте гидроциклона.

#### **Описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения**

В следующем далее подробном описании делаются ссылки на прилагаемые чертежи, которые являются частью подробного описания. Иллюстративные варианты осуществления, описанные в подробном описании, представленные на чертежах и определенные в формуле изобретения, не предназначены для ограничения. Могут быть использованы и другие варианты осуществления, и могут быть сделаны и другие изменения без отклонения от сущности или объема представленного изобретения. Очевидно, что аспекты настоящего изобретения, как в целом здесь описано и проиллюстрировано на чертежах, могут быть скомпонованы, заменены, скомбинированы, разделены и спроектированы во множестве различных конфигураций, - все они подразумеваются в данном описании.

Используемые в данном описании формы слов единственного числа обозначают как единственное, так и множественное число, если явным образом не указано, что они обозначают только единственное число.

Термин "около" и использование диапазонов в целом, независимо от того, определяется ли оно термином "около" или нет, означает, что охватываемое число не ограничивается точным числом, указанным в данном документе, и предполагает отнесение к диапазонам, находящимся по существу в пределах указанного диапазона, без отклонения от объема изобретения. Используемое в настоящем документе выражение "около" будет понятно специалистам в данной области техники и будет изменяться до некоторой степени в зависимости от контекста, в котором оно используется. В случаях, если применение термина в контексте, в котором его используют, непонятно специалистам в данной области, "около" будет означать вплоть до плюс или минус 10% от конкретного значения.

В дополнение к этому, если здесь описаны размеры, следует понимать, что к их значениям применимы плюс минус ( $\pm$ ) стандартные допуски на изготовление. Как понятно специалистам в данной области техники, допуски на изготовление могут быть определены для достижения желаемого среднего и стандартного отклонения изготавливаемых компонентов по отношению к идеальному профилю компонентов.

Как отмечалось выше, хвосты представляют собой материал отходов. Хвосты могут представлять собой водную суспензию или шлам, содержащий твердые частицы минерального материала, например глину, сланец, песок, гравий, хвосты нефтеносного песка, оксиды металлов и т.д., смешанные с водой. Хвосты также могут представлять собой различные шламы и другие жидкие/твердые материалы, которые необходимо обезвоживать и транспортировать.

Хвосты могут образовываться в результате целого ряда различных процессов, включая, без ограничения, различные операции добычи полезных ископаемых. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления процесс может быть выбран из процесса добычи полезных ископаемых, процесса рафинирования, процесса плавки и процесса очистки воды. Настоящее изобретение может быть особенно подходящим для обезвоживания хвостов, полученных в результате операций по добыче угля, операций по добыче золота, операций по добыче цветных металлов, операций по добыче металлов платиновой группы и/или операций по добыче щелочных металлов, включая операции по извлечению лития.

Хвосты обычно представляют собой суспензии с относительно низким процентным содержанием твердых веществ и относительно высоким содержанием воды. Например, хвосты, которые могут быть обезвожены с использованием настоящего изобретения, как, например, хвосты, полученные в результате добычи твердых пород, могут иметь исходное содержание твердых веществ 20-60 мас.% (т.е. до 80 мас.% влаги). Например, хвосты могут иметь содержание твердых веществ 40-60 мас.%, например, около 56 мас.%.

Материалы, используемые для "сухого" штабелирования, необязательно не содержат воду, но вместо этого они в достаточной степени обезвожены, что позволяет штабелировать остатки. Термин "пригодный к штабелированию хвостовой остаток", используемый в данном описании, относится к остатку, который был в достаточной степени обезвожен, чтобы впоследствии он мог быть установлен в большом отвале и перемещен посредством обычного оборудования для земляных работ без разжижения. Пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть обезвожен для получения продукта, удерживаемого вместе за счет механического сцепления частиц посредством укладки и трения между частицами. Пригодный к штабелированию хвостовой остаток можно подвергать механическому обращению сразу после изготовления благодаря его механически связанному и обезвоженному состоянию, которое предотвращает свободное течение продукта. Остаток может при определенных условиях казаться "сухим".

В идеальном случае вода не должна выделяться из пригодного к штабелированию хвостового остатка. Вместо этого любая вода в пригодном к штабелированию хвостовом остатке представляет собой внутреннюю воду, содержащуюся в промежутках между частицами, или воду, связанную с поверхностью частиц.

Количество внутренней воды, которое может содержаться в пригодном к штабелированию хвостовом остатке, зависит от ряда характеристик частиц в хвостах, включая гранулометрический состав (PSD), площадь поверхности частиц, минералогический состав, форму, поверхностный заряд и относительную плотность.

Оценка возможности штабелирования остатков хвостов может быть проведена с использованием методов оценки механики грунтов, которые будут известны специалистам в области геомеханической инженерии. Подходящие методы испытаний могут включать статические и динамические испытания на сдвиг для определения прочности остатка при сдвиге, а также измерения влагосодержания и пористости. Например, оценка хвостового остатка может включать испытание на сдвиг крыльчаткой, испытание на простое одноосное сжатие, испытание балансирным конусом и испытание конусной пенетрации.

В настоящем изобретении по мере удаления воды из хвостов обезвоженный остаток (который может быть частично обезвоженным нижним продуктом, маловодным остатком или конечным пригодным к штабелированию хвостовым остатком) приближается к 100% насыщению водой, и в этот момент капиллярное натяжение между частицами увеличивается до максимума. Иными словами, при соотношении вода/твердые вещества, при котором капиллярное водное натяжение является наибольшим, достигается минимальная пористость, т.е. когда частицы притягиваются друг к другу с наибольшим водным натяжением. По мере того как пригодный к штабелированию хвостовой остаток высыхает, что может произойти после депонирования на полигоне для захоронения, капиллярное действие внутренней воды может притягивать частицы остатка друг к другу.

Когда влагосодержание в обезвоженном остатке уменьшается ниже точки насыщения, воздух может вытеснять воду и снижать способность водного натяжения. Внутренняя вода может концентрироваться в точках контакта частиц, образуя водяные мостики и связывая зерна вместе благодаря водному натяжению.

В некоторых вариантах осуществления может быть желательно получить пригодный к штабелированию хвостовой остаток с влагосодержанием на уровне или чуть ниже содержания, при котором наблюдается максимальное капиллярное натяжение и минимальная пористость. Продукт, имеющий более высокое влагосодержание, чем влагосодержание при максимальном капиллярном напряжении, нежелателен, поскольку дополнительная вода уменьшает натяжение, эффективно разбавляет суспензию и увеличивает пористость путем разделения частиц.

В некоторых вариантах осуществления пористость пригодного к штабелированию хвостового остатка, когда она находится на уровне минимальной пористости, может составлять от около 9 до около 41%. Полученный пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь пористость в пределах 5% от минимальной пористости, предпочтительно в пределах 2% от минимальной пористости.

Рыхлые хвосты (например, хвосты, богатые гравием или песком) могут использоваться для образования пригодного к штабелированию хвостового остатка при влагосодержании от 10 до 20 мас.%. Обладающие сцеплением хвосты (например, хвосты, богатые суглинком, глиной или илом) могут использоваться для образования пригодного к штабелированию хвостового остатка с влагосодержанием 35 мас.% или более, например, до 40 мас.%. Однако хвосты с очень высоким содержанием глины могут быть непригодными для обезвоживания посредством настоящего изобретения из-за высокого содержания воды в разбухших частицах глины, возникающего в результате кристаллического набухания и/или осмотического/двухслойного набухания.

В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток имеет влагосодержание от около 10 до около 25 мас.%. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток имеет влагосодержание от около 15 до около 25 мас.%. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь влагосодержание около 20 мас.%, такое как  $(20 \pm 1)$  мас.%, или  $(20 \pm 0,75)$  мас.%, или  $(20 \pm 0,5)$  мас.%. То есть, в некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток имеет содержание твердых веществ от около 75 до около 90 мас.%. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь содержание твердых веществ от около 75 до около 85 мас.%. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь содержание твердых веществ около 80 мас.%, такое как  $(80 \pm 1)$  мас.%, или  $(80 \pm 0,75)$  мас.%, или  $(80 \pm 0,5)$  мас.%.  
 В некоторых вариантах осуществления хвосты могут включать в себя измельченные частицы.

Частицы хвостов могут содержать более 85 мас.%  $\text{SiO}_2$ .

Гранулометрический состав хвостов зависит от композиции хвостов, а также от характера предшествующей обработки. Например, когда хвосты образуются в результате процесса добычи полезных ископаемых, гранулометрический состав может зависеть от руды и используемого процесса добычи. Некоторые процессы добычи требуют тонкого измельчения для извлечения желаемого минерала. В других процессах может требоваться меньшее измельчение. Кроме того, степень измельчения и результирующий гранулометрический состав могут варьировать в течение всего срока существования рудника. Как правило, хвосты будут такими, что все частицы будут иметь диаметр менее 2-3 мм. В некоторых вариантах осуществления все частицы имеют диаметр менее 600 мкм. В некоторых вариантах осуществления все частицы имеют диаметр менее 300 мкм. В некоторых вариантах осуществления частицы могут иметь диаметр от 75 до 300 мкм. В качестве альтернативы частицы могут иметь диаметр 75 мкм или менее.

В способе обезвоживания первого аспекта настоящего изобретения используются два метода сепарации для отделения воды от хвостов и получения пригодного к штабелированию хвостового остатка: гидроциклонная сепарация и центрифугирование. Во втором аспекте эти два метода сепарации используются для отделения воды от хвостов и получения обезвоженного хвостового остатка (т.е. хвостового остатка, который остается обезвоженным и может быть сильно обезвоженным, но является более текучим, чем пригодный к штабелированию хвостовой остаток). В некоторых вариантах осуществления центрифугирование может быть сплошным роторным центрифугированием. Следует иметь в виду, что сплошное роторное центрифугирование может использоваться отдельно для обезвоживания хвостов с целью для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Однако на практике, например в промышленных масштабах, использование одного только сплошного роторного центрифугирования может быть нецелесообразным из-за чрезмерных капитальных затрат, эксплуатационных расходов и износа центрифуги.

В настоящем изобретении центрифугирование сочетают с гидроциклонной сепарацией для уменьшения нагрузки на центрифугу, чтобы ее использование при обезвоживании хвостов могло быть коммерчески целесообразным. Износ центрифуги частично зависит от скорости и размера частиц материала в центрифуге. Когда частицы большего размера поступают с сырьем в центрифугу, они передают больше энергии стенке центрифуги и увеличивают износ.

В способе настоящего изобретения начальную стадию обезвоживания осуществляют посредством гидроциклонной сепарации. За счет объединения центрифугирования с начальной ступенью гидроциклонной сепарации более крупные частицы в хвостах могут быть отделены в частично обезвоженный нижний продукт (продукты) гидроциклонной сепарации, благодаря чему на входе в центрифугу будут более мелкие частицы. При обработке фракции с меньшим размером частиц, чем у исходных хвостов, срок службы центрифуги может быть повышен.

Одна только гидроциклонная сепарация может не обеспечивать адекватного обезвоживания хвостов для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Соответственно, в способе первого

аспекта изобретения может использоваться разделение на центрифуге для получения маловодного остатка с более низким содержанием воды, чем целевое влагосодержание пригодного к штабелированию хвостового остатка. Маловодный остаток может затем быть объединен с частично обезвоженным нижним продуктом гидроциклонной сепарации (или с каждым) для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Соответственно, маловодный остаток может иметь более низкое влагосодержание, чем частично обезвоженный нижний продукт (или каждый) гидроциклонной сепарации.

Во втором аспекте настоящего изобретения степень обезвоживания, осуществляемого гидроциклонной сепарацией и центрифугированием, может быть выбрана для получения обезвоженного хвостового остатка с предпочтительным содержанием воды и гранулометрическим составом. В целом, может быть желательно как можно больше обезвоживать хвосты, чтобы свести к минимуму избыток воды, находящийся в хвостохранилище. Однако в некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть сравнительно труднее транспортировать на полигон для захоронения. Общепринятыми способами транспортировки хвостов (или хвостовых остатков) на полигоны для захоронения являются насосные трубопроводные системы; трубопроводные системы гравитационного давления; канализирование (отмывка); использование конвейеров и грузовиков.

Насосные трубопроводные системы, трубопроводная система гравитационного давления и канализирование (отмывка) обычно подходят для текучих продуктов. Насосные трубопроводные системы используют центробежные или поршневые насосные системы прямого вытеснения для транспортировки хвостов (или хвостовых остатков). Там, где хранилище находится на гипсометрически более низком уровне, чем завод по переработке, трубопроводная система гравитационного давления может использоваться для транспортировки хвостов (или хвостовых остатков) без необходимости использования насосной системы. При отмывке используется открытая (или закрытая) система отмывки, в которой хвосты текут под действием силы тяжести. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть поддающимся перекачке насосом. Однако в других вариантах осуществления может быть желательно получать более текучий (менее обезвоженный) продукт, который можно транспортировать с использованием существующих систем транспортировки. Так, в некоторых вариантах осуществления второго аспекта настоящего изобретения степень обезвоживания может быть сбалансирована с требованиями системы транспортировки для получения обезвоженного хвостового остатка, который легко транспортируется, а также уменьшения объема хвостовых остатков, отправляемых для захоронения.

Конвейеры и грузовики могут быть особенно подходящими для транспортировки пригодных к штабелированию хвостовых остатков на полигон для захоронения.

Гидроциклонная сепарация может иметь множество ступеней, включая первую ступень и конечную ступень. В таких вариантах осуществления на каждой ступени установка гидроциклонной сепарации системы настоящего изобретения может иметь подблок, содержащий по меньшей мере один гидроциклон для разделения входящего потока на частично обезвоженный нижний продукт и богатый водой верхний продукт.

В некоторых вариантах осуществления может быть три или более ступени гидроциклонной сепарации.

Каждый подблок гидроциклонной сепарации может включать в себя один или более гидроциклонов. Если в подблоке имеется два или более гидроциклона, эти гидроциклоны могут быть соединены параллельно. Например, два или более гидроциклона могут быть соединены параллельно для достижения желаемой объемной пропускной способности системы. Иными словами, количество гидроциклонов в каждом подблоке может быть выбрано исходя из желаемой объемной пропускной способности системы.

Гидроциклоны используются для разделения взвешенных веществ, переносимых в потоке входящей жидкости, на два выходных потока за счет создания центробежных сил внутри гидроциклона, когда входной поток проходит через камеру конической формы. В основном гидроциклоны включают в себя коническую разделительную камеру, входной патрубков, который обычно проходит по касательной к оси разделительной камеры и расположен в конце камеры с наибольшим размером поперечного сечения, выпуск для нижнего продукта на меньшем конце камеры (включая шламовую насадку) и выпуск для верхнего продукта в большем конце камеры (включая сливную насадку).

Типы гидроциклонов, которые могут использоваться в вариантах осуществления настоящего изобретения, включают конические гидроциклоны или плоскодонные гидроциклоны. Конические гидроциклоны с широким диапазоном углов наклона конуса могут быть пригодны для использования в настоящем изобретении. Угол наклона конуса может быть выбран, исходя из направляемых на обезвоживание хвостов. В некоторых вариантах осуществления установка гидроциклонной сепарации может включать в себя комбинацию из двух или более гидроциклонов различного типа.

Кроме того, конфигурация сливной насадки гидроциклона может быть выбрана на основе типа хвостов и местоположения системы (и полигона для захоронения пригодного к штабелированию хвостового остатка), для обеспечения надлежащей эффективности обезвоживания. Перепад давления и эффективность разделения могут зависеть от глубины сливной насадки. В некоторых вариантах осуществления может быть желательно выбрать более длинную сливную насадку, чем выбираемая для типичных про-

цессов сортировки с использованием гидроциклона. Аналогичным образом, конфигурация шламовой насадки зависит от типа хвостов и местоположения для обеспечения надлежащей эффективности обезвоживания. Способы оптимизации сливной насадки и/или шламовой насадки будут ясны специалистам в свете данного описания.

Входной патрубок гидроциклона выполнен с возможностью подачи входящего материала в разделительную камеру гидроциклона, и конфигурация такова, что тяжелый (например, более плотный и более крупный) материал имеет тенденцию перемещаться к внешней стенке камеры и к выходу, и наружу через расположенный по центру выпуск для нижнего продукта. Более легкий (менее плотный или более мелкий) материал перемещается к центральной оси камеры и выходит наружу через выпуск для верхнего продукта. В настоящем изобретении (каждая) ступень гидроциклонной сепарации разделяет входящий поток на частично обезвоженный нижний продукт и богатый водой верхний продукт.

В вариантах осуществления с двумя или более ступенями гидроциклонного разделения входящий поток первой ступени содержит хвосты, в то время как богатый водой верхний продукт каждой ступени, предшествующей конечной ступени, является входящим потоком на следующую смежную ступень.

Точка отведения верхнего продукта каждого гидроциклона обычно связана с атмосферой, чтобы избежать создания какого-либо противодавления или, в равной степени, вакуума, поскольку это может отрицательно повлиять на работу гидроциклона. Иными словами, после каждого гидроциклона существует сброс давления, чтобы гарантировать, что производительность этого гидроциклона не будет зависеть от требуемого давления ниже по потоку. Соответственно, после каждого гидроциклона обычно имеется резервуар для верхнего продукта, в который верхний продукт поступает. Каждый резервуар для верхнего продукта часто представляет собой резервуар с мешалкой. Затем богатый водой верхний продукт перекачивают из резервуара для верхнего продукта на следующую ступень процесса. Когда верхний продукт представляет собой конечный богатый водой верхний продукт, на этой следующей ступени происходит разделение конечного богатого водой верхнего продукта посредством центрифугирования на извлеченный водный поток и маловодный остаток.

В вариантах осуществления с двумя или более ступенями гидроциклонного разделения может существовать по меньшей мере один резервуар для верхнего продукта, в который верхний продукт подается между каждой ступенью. В вариантах осуществления, в которых на одной ступени находятся два или более гидроциклона, гидроциклоны могут подавать богатый водой верхний продукт в резервуар для верхнего продукта, общий для всех гидроциклонов ступени. В некоторых вариантах осуществления два или более гидроциклона могут использовать общий резервуар для верхнего продукта. В некоторых вариантах осуществления может быть резервуар для верхнего продукта для каждого гидроциклона ступени гидроциклонной сепарации.

Частично обезвоженный нижний продукт конкретной (или каждой) ступени гидроциклонной сепарации может содержать до 80 мас.% твердых веществ. Например, содержание твердых веществ может достигать 75 мас.% или более. Частично обезвоженный нижний продукт может содержать около 70-80 мас.% твердых веществ, например, 74-80 мас.%. Как правило, содержание твердых веществ будет составлять по меньшей мере 70 мас.%. Содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта будет зависеть от желаемого содержания твердых веществ пригодного к штабелированию хвостового остатка. Кроме того, на содержание твердых веществ, которое может быть достигнуто во время гидроциклонной сепарации, будут влиять гранулометрический состав (PSD), минералогический состав, форма, поверхностный заряд и относительная плотность хвостов.

В общем случае может быть желательно получить нижний продукт как можно с более высоким содержанием твердых веществ. Соответственно, для первого аспекта также желательно получить нижний продукт с содержанием твердых веществ, максимально близким к целевому содержанию твердых веществ для пригодного к штабелированию хвостового остатка. В некоторых вариантах осуществления, как отмечалось выше, одна только гидроциклонная сепарация может не обеспечивать адекватного обезвоживания хвостов для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Соответственно, в способе изобретения может использоваться разделение на центрифуге для получения маловодного остатка с более низким содержанием воды, чем целевое влагосодержание для пригодного к штабелированию хвостового остатка.

Во втором аспекте может быть желательно получить нижний продукт с содержанием твердых веществ, максимально близким к целевому содержанию твердых веществ для обезвоженного хвостового остатка. В определенных случаях одна только гидроциклонная сепарация может не обеспечивать адекватного обезвоживания хвостов для получения желаемого обезвоженного хвостового остатка. Альтернативным образом, одна только гидроциклонная сепарация может не обеспечивать достаточно высоких скоростей извлечения твердых веществ. Иными словами, одна только гидроциклонная сепарация не может в адекватной степени отделять твердые вещества от воды в хвостах для достижения желаемого уровня извлечения воды и желаемого уровня объема хвостовых остатков. Соответственно, в способе второго аспекта изобретения может использоваться разделение на центрифуге для получения маловодного остатка с более низким содержанием воды, чем целевое влагосодержание обезвоженного хвостового остатка, и извлеченного водного потока.

Содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта с каждой ступени гидроциклонной сепарации может быть по существу одинаковым или может существенно различаться. В некоторых вариантах осуществления содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта второй (и любой последующей) ступени может быть меньше, чем содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта первой ступени гидроциклонной сепарации. Например, частично обезвоженный нижний продукт первой ступени гидроциклонной сепарации может содержать около 80 мас.%, и частично обезвоженный нижний продукт второй (и любой последующей) ступени может содержать около 70 мас.%. Как правило, содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта второй (и любой последующей) ступени может быть ниже, чем содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта первой ступени, поскольку вторая (и любая последующая) ступень осуществляет обработку верхнего продукта предшествующей стадии, которая имеет более высокое влагосодержание, чем исходные хвосты. Однако в некоторых вариантах осуществления гидроциклоны второй (и любой последующей) ступени могут отличаться от гидроциклонов первой ступени и способны давать частично обезвоженный нижний продукт с более высоким содержанием твердых веществ. Например, гидроциклоны второй (и любой последующей) ступени могут быть меньше и больше по количеству, чем гидроциклон (гидроциклоны) первой ступени.

Следует иметь в виду, что, хотя частично обезвоженный нижний продукт с каждой ступени гидроциклонной сепарации может не быть в достаточной степени обезвожен для пригодного к штабелированию хвостового остатка, частично обезвоженный нижний продукт может быть сильно обезвоженным. Этот сильно обезвоженный нижний продукт сам по себе может быть полезным продуктом. В некоторых вариантах осуществления частично или полностью один или более частично обезвоженный нижний продукт одной или более ступеней гидроциклонной сепарации может быть собран в виде сильно обезвоженного продукта. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления первого и второго аспектов, в которых имеется две или более ступени гидроциклонной сепарации, по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженных нижних продуктов одной из множества ступеней гидроциклонной сепарации собирается в виде сильно обезвоженного продукта. В некоторых вариантах осуществления предложена система, в которой один из подблоков установки гидроциклонной сепарации имеет трубопровод продукта, выполненный с возможностью сбора по меньшей мере части одного или более частично обезвоженных нижних продуктов в виде сильно обезвоженного продукта. Например, в некоторых вариантах осуществления по меньшей мере часть частично обезвоженного нижнего продукта с первой ступени гидроциклонной сепарации может быть собрана в виде сильно обезвоженного продукта. В некоторых вариантах осуществления сильно обезвоженный продукт из нижнего потока первой ступени гидроциклонной сепарации может иметь гранулометрический состав и содержание твердых веществ, которое означает, что он имеет характеристики пригодного к штабелированию хвостового остатка. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления он может быть пригодным к штабелированию хвостовым остатком.

Используемое в данном описании выражение "сильно обезвоженный продукт" включает в себя продукты с содержанием твердых веществ по меньшей мере 72 мас.% в твердой фазе, например, от 78 до 80 мас.% в твердой фазе. В некоторых вариантах осуществления сильно обезвоженный продукт может быть поддающимся перекачке насосом.

Богатый водой верхний продукт конкретной (или каждой) ступени гидроциклонной сепарации может содержать до 17 мас.% твердых веществ. Например, богатый водой верхний продукт может содержать около 10-17 мас.% твердых веществ, например, 14-17 мас.%. Как правило, содержание твердых веществ будет составлять не более 17 мас.%. В то время как богатый водой верхний продукт с большим содержанием твердых веществ может быть отделен центрифугированием, как правило, гидроциклонная сепарация не дает конечного богатого водой верхнего продукта с содержанием твердых веществ выше около 17 мас.%.

Содержание твердых веществ богатого водой верхнего продукта с каждой ступени гидроциклонной сепарации может быть по существу одинаковым или может существенно различаться. В некоторых вариантах осуществления содержание твердых веществ богатого водой верхнего продукта второй (и любой последующей) ступени может быть меньше, чем содержание твердых веществ богатого водой верхнего продукта первой ступени гидроциклонной сепарации. Например, богатый водой верхний продукт первой ступени гидроциклонной сепарации может содержать около 12 мас.%, и богатый водой верхний продукт второй (и любой последующей) ступени может содержать около 7 мас.%.

При нормальной работе гидроциклоны образуют центральный столб воздуха (воздушный вихрь). Столб воздуха устанавливается, как только жидкость на оси гидроциклона достигает давления ниже атмосферного. Этот столб воздуха проходит от выпуска для нижнего продукта до выпуска для верхнего продукта и просто соединяет воздух непосредственно под гидроциклоном с воздухом наверху. Устойчивость и площадь поперечного сечения столба воздуха могут быть важными факторами, влияющими на условия выпуска нижнего и верхнего продуктов.

В некоторых вариантах осуществления стабильность работы гидроциклона может быть нарушена коллапсом столба воздуха из-за "чрезмерно большой подачи" в гидроциклон, что приводит к неэффек-

тивному процессу разделения, при этом либо избыток мелкодисперсных частиц выходит через нижний выпуск, либо более крупные частицы выходят через верхний выпуск. Однако для некоторых других вариантов осуществления создание внутреннего столба воздуха может не влиять на эффективность обезвоживания. Следует отметить, что в некоторых вариантах осуществления создание столба воздуха может быть нежелательным. Для некоторых вариантов осуществления может оказаться целесообразным использовать гидроциклон при намного более высокой скорости подачи и входном давлении, чем обычно, поскольку это может привести к улучшению обезвоживания.

В третьем аспекте настоящего изобретения предлагается способ получения сильно обезвоженного продукта, включающий подачу водной суспензии или шлама, причем указанная водная суспензия или шлам содержит твердый материал в виде частиц, в гидроциклон при высоком входном давлении подачи; и подвергание водной суспензии или шлама гидроциклонной сепарации с получением нижнего продукта и верхнего продукта, причем указанный нижний продукт является сильно обезвоженным продуктом. Следует иметь в виду, что водная суспензия или шлам могут быть хвостами или верхним продуктом из предыдущей ступени гидроциклонной сепарации. В качестве альтернативы этот способ обезвоживания можно использовать с другими типами водных суспензий или шламов, которые не образуются из хвостов.

Другая форма работы, которая обычно считается нестабильной, известна как "эффект закрутки" ("goring"), при котором скорость твердых частиц, выгружаемых через нижний выпуск, увеличивается до такой степени, что внутренний вихрь воздуха разрушается, и нижний выпуск будет выпускать закрученный поток грубых твердых частиц. Однако в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения эксплуатация одного или более гидроциклонов при высокой скорости отведения нижнего продукта все еще может обеспечивать подходящий частично обезвоженный нижний продукт для использования в получении пригодного к штабелированию хвостового остатка. Из-за высокого содержания твердых веществ в нижнем продукте может происходить некоторое осаждение твердых веществ на стенке гидроциклона перед тем, как нижний поток выйдет из шламовой насадки, приводя к закрутке.

В некоторых вариантах осуществления третьего аспекта гидроциклон выполнен с возможностью образования в процессе работы при нормальном давлении внутреннего столба воздуха, и высокое входное давление подачи таково, что происходит по меньшей мере частичное разрушение внутреннего столба воздуха.

Как правило, эффективность обезвоживания гидроциклона может повышаться с увеличением входного давления подачи, даже если это давление таково, что внутренний столб воздуха разрушается. Входное давление подачи для каждого гидроциклона может достигать 1,5 МПа или более. Входное давление подачи может достигать 1 МПа или более. В некоторых вариантах осуществления входное давление подачи может достигать 0,5 МПа или более, например, входное давление подачи может составлять 0,5-1 МПа.

В некоторых вариантах осуществления высокое входное давление подачи составляет по меньшей мере 0,75 МПа или от около 0,9 до около 1,2 МПа, например, от около 1,0 до около 1,1 МПа.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения скорость потока хвостов в установку гидроциклонной сепарации можно регулировать таким образом, чтобы гарантировать, что количество твердых веществ, подаваемых в единицу времени по меньшей мере в первый гидроциклон установки гидроциклонной сепарации, остается постоянным. Если плотность хвостов увеличивается, хвосты можно регулировать, например, посредством разбавления водой, перед подачей на ступень гидроциклонной сепарации, чтобы как объемное поступление, так и количество твердых веществ, подаваемых в гидроциклон в единицу времени, оставались постоянными. Соответственно, скорость потока хвостов может быть уменьшена, но это может быть компенсировано добавлением воды во входной поток. Если плотность хвостов уменьшается, объемное поступление может быть увеличено до такой степени, чтобы количество твердых частиц, подаваемых в гидроциклон в единицу времени, оставалось постоянным.

Гидроциклоны могут использоваться для разделения по размеру взвешенных твердых частиц (например, сортировки) или для разделения по плотности частиц. Таким образом, каждый из богатого водой верхнего продукта и частично обезвоженного нижнего продукта ступени гидроциклонной сепарации может иметь более узкий диапазон размеров частиц или меньшую дисперсию размеров частиц, чем на входе на эту ступень. Каждый из богатого водой верхнего продукта и частично обезвоженного нижнего продукта ступени гидроциклонной сепарации может иметь средний размер частиц, отличный от среднего размера частиц на входе на эту ступень. Богатый водой верхний продукт ступени гидроциклонной сепарации может иметь меньший (более тонкий) средний размер частицы, чем частично обезвоженный нижний продукт этой ступени. Таким образом, на выходе каждой ступени гидроциклонной сепарации могут образовываться богатые водой верхние продукты с постепенно уменьшающимися средними размерами частиц. Соответственно, подача в центрифужную установку может иметь меньший средний размер частиц, чем подача на любую из ступеней гидроциклонной сепарации.

В некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт первой ступени может иметь более крупный средний размер частиц, чем хвосты. Благодаря такому более крупному среднему размеру частиц предпочтительным может являться сбор части или всего частично обезвожен-

ного верхнего продукта из первой ступени в виде сильно обезвоженного продукта. Гранулометрический состав сильно обезвоженного продукта, собранного из первой ступени, может быть достаточно крупным, чтобы быстро дренировать воду, вызывая связывание между частицами. В результате в некоторых вариантах осуществления сильно обезвоженный продукт может быть пригодным к штабелированию хвостовым остатком. Сильно обезвоженный продукт может иметь влагосодержание и гранулометрический состав, делающие его пригодным для использования при строительстве насыпей хвостохранилищ или других подпорных сооружений для плотин. В некоторых вариантах осуществления сильно обезвоженный продукт может иметь такой гранулометрический состав, что только 15-20% частиц имеет размер менее 75 мкм. В некоторых вариантах осуществления сильно обезвоженный продукт может соответствовать требованиям Чилийского регламента, утверждающего проекты проектирования, строительства, эксплуатации и закрытия хвостохранилищ (Decreto Supremo No. 248, Reglamento Para La Aprobación De Proyectos De Diseño, Construcción, Operación Y Cierre De Los Depósitos De Relaves, Ministerio De Minería, Publicado En El Diario Oficial El 11 De Abril De 2007) для использования при строительстве стенок или насыпей хвостохранилищ.

Сильно обезвоженный продукт может быть пригоден для получения строительных материалов. Из-за относительно крупного гранулометрического состава при применении в строительных материалах может потребоваться только сочетание сильно обезвоженного продукта и низких содержаний цементующего материала для достижения необходимой прочности для этого применения. Таким образом, сильно обезвоженный продукт может использоваться для производства торкретбетона, бетона, дорожного полотна, строительных блоков и/или кирпича.

Кроме того, за счет удаления части более грубой фракции частиц путем сбора части или всего частично обезвоженного нижнего продукта из первой ступени в виде сильно обезвоженного продукта, частицы в обезвоженном хвостовом остатке или пригодном к штабелированию хвостовом остатке будут в среднем более мелкими. Более мелкий гранулометрический состав в обезвоженном хвостовом остатке или пригодном к штабелированию хвостовом остатке может быть предпочтительным для консолидации обезвоженного хвостового остатка или пригодного к штабелированию хвостового остатка. По мере того как частицы становятся более мелкими, отношение площади поверхности к объему увеличивается. Притяжение между частицами может увеличиваться по мере увеличения удельной поверхности частиц при одной и той же концентрации твердых частиц. С увеличением площади поверхности увеличивается способность остатка удерживать воду в пустотах, поэтому ограниченное количество воды остается доступно для текучести остатка. Соответственно, по мере того, как гранулометрический состав становится более мелким, остаток может становиться более твердым.

Гранулометрический состав может влиять на степень обезвоживания, которая необходима для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Например, если частицы в частично обезвоженном нижнем продукте являются относительно крупными, имеется более высокое отношение массы к площади поверхности, и нижний продукт может быть текучим даже при высоких концентрациях твердых веществ. Например, в некоторых вариантах осуществления нижний продукт содержит около 80 мас.% твердых веществ, например, около 78 мас.% твердых веществ, и крупнозернистые частицы могут иметь достаточную текучесть для перекачивания насосом. С другой стороны, если нижний продукт (или маловодный остаток из центрифуги) имеет около 80 мас.% твердых веществ, например, около 78 мас.% твердых веществ, пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь мелкозернистый гранулометрический состав, который является слишком твердым для перекачивания насосом. Крупнозернистый гранулометрический состав может иметь  $d_{100} < 1000$  мкм (например,  $< 600$  мкм) и  $d_{50} < 150$  мкм (например,  $< 100$  или  $< 70$  мкм). Мелкозернистый гранулометрический состав может иметь  $d_{100} < 100$  мкм (например,  $< 75$  или  $< 35$  мкм) и  $d_{50} < 10$  мкм (например,  $< 8$  или  $< 6$  мкм).

Таким образом, в некоторых вариантах осуществления сбор части или всего частично обезвоженного верхнего продукта по меньшей мере из первой ступени в виде сильно обезвоженного продукта может использоваться для регулирования гранулометрического состава обезвоженного хвостового остатка или пригодного к штабелированию хвостового остатка, полученных из технологических потоков. За счет регулирования гранулометрического состава, используемого для получения обезвоженного хвостового остатка или пригодного к штабелированию хвостового остатка, остаток может иметь более мелкий гранулометрический состав. В результате в некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь более низкое содержание твердых веществ, чем частично обезвоженный нижний продукт из первой ступени гидроциклонной сепарации, но может быть более твердым в результате более мелкого гранулометрического состава.

Как правило, по мере того как гранулометрический состав технологического потока становится более мелким, вода может с меньшей легкостью отделяться от твердых веществ, что приводит к образованию нижнего продукта или маловодного остатка с очень высоким содержанием твердых веществ.

В вариантах осуществления, в которых используются две или более ступени гидроциклонной сепарации, первая ступень гидроциклонной сепарации может извлекать до 42% или более, например до 60% или более, например, до около 75% от общего количества твердых веществ в хвостах в частично обезвоженном нижнем продукте. Гидроциклонная сепарация второй (или любой последующей) ступени может

извлекать меньший процент твердых веществ из входящего потока на эту ступень (т.е. богатого водой верхнего продукта предыдущей ступени). Например, гидроциклон второй (или любой последующей) ступени может извлекать около 10-50% твердых веществ из входящего потока на эту ступень. Из конечного богатого водой верхнего продукта центрифуга может извлекать до 96% (или более) твердых веществ в маловодный остаток.

В дополнение к этому, как описано выше, в некоторых вариантах осуществления содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта второй (и любой последующей) ступени может быть меньше, чем содержание твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта первой ступени гидроциклонной сепарации.

В некоторых вариантах осуществления газ инжектируют в один или более гидроциклонов. Газ может использоваться для увеличения ускорения частиц. Ускорение частиц может усиливать отделение частиц от воды. В дополнение к этому или в качестве альтернативы, не привязываясь к какой-либо теории, газ может создавать буфер в гидроциклоне, который обеспечивает лучшее разделение.

Подача газа в камеру гидроциклона может снижать либо количество воды, либо количество мелких частиц, которые уносятся с потоком нижнего продукта, а не с потоком верхнего продукта. Кроме того, инжектирование газа в гидроциклон может уменьшать средний размер частиц ( $d_{50}$ ) в верхнем продукте как следствие того, что в верхний поток попадают более мелкие частицы. Инжектируемый газ может представлять собой воздух.

Инжектирование газа может ассоциироваться с увеличением содержания твердых веществ частично обезвоженного нижнего продукта до 2 вес.%. Влияние инжектирования газа на состав нижнего продукта может различаться в зависимости от гранулометрического состава входящего в гидроциклон потока. Когда входящий поток имеет крупнозернистый гранулометрический состав, например  $d_{100} < 600$  мкм и  $d_{50} < 70$  мкм, инжектирование газа в крупнозернистый входящий поток может улучшить концентрацию, но не извлечение. В противоположность этому, когда входящий поток имеет тонкозернистый гранулометрический состав, например  $d_{100} < 35$  мкм и  $d_{50} < 6$  мкм, инжектирование газа в тонкозернистый входящий поток может улучшить извлечение, но не концентрацию твердых веществ. Соответственно, будет извлечено больше твердых веществ, но большее количество воды также будет транспортироваться в нижний продукт. Инжектирование газа может быть ассоциировано с повышением извлечения твердых веществ в частично обезвоженный нижний продукт до 10 вес.%. В некоторых случаях повышение извлечения может быть ассоциировано с уменьшением концентрации твердых веществ. Соответственно, уровень инжектирования газа может потребоваться регулировать в соответствии с составом входящего потока, чтобы обеспечить предпочтительные уровни извлечения, а также концентрацию твердых веществ в нижнем продукте.

В некоторых вариантах осуществления газ инжектируют в хвосты, благодаря чему в гидроциклон подается смесь хвостов и газа. Например, поток хвостов может транспортироваться по трубопроводу, включающему в себя газовую инжекционную форсунку. В некоторых вариантах осуществления воздух инжектируется перед входным фланцем гидроциклона. Подходящими форсунками для инжектирования газа могут быть воздушные кольца. Например, форсунка для инжектирования газа может быть воздушным кольцом того типа, который обычно используется в торкретировании. В некоторых вариантах осуществления воздух инжектируется посредством воздушного кольца по периферии нагнетательной трубы с множеством отверстий, проходящих через стенку трубы. Газ может инжектироваться непосредственно перед подачей смеси хвостов и газа в гидроциклон. В других вариантах осуществления газ может инжектироваться еще раньше перед гидроциклонной сепарацией.

В некоторых вариантах осуществления газ может инжектироваться непосредственно в камеру гидроциклона.

Подходящим гидроциклоном для использования в вариантах осуществления, в которых газ инжектируется в камеру гидроциклона, может быть гидроциклон, описанный в международной патентной заявке № PCT/AU2017/050950 (опубликованной как международная патентная публикация WO 2018/039742), содержание которой включено посредством ссылки.

Газ обычно инжектируется под давлением, превышающим входное давление подачи. В некоторых вариантах осуществления в гидроциклон можно инжектировать до 60 м<sup>3</sup>/ч газа, например, до 48 м<sup>3</sup>/ч, до 30 м<sup>3</sup>/ч, более 18 м<sup>3</sup>/ч, более 15 м<sup>3</sup>/ч или более 10 м<sup>3</sup>/ч. Например, в третьем аспекте изобретения способ может включать инжектирование газа в водную суспензию или шлам перед подачей водной суспензии или шлама в гидроциклон, при давлении выше, чем высокое входное давление подачи. Инжектирование газа может включать закачку свыше 18 м<sup>3</sup>/ч газа в водную суспензию или шлам. Инжектирование газа включает закачку до 30 м<sup>3</sup>/ч, например, до 60 м<sup>3</sup>/ч газа в водную суспензию или шлам.

В некоторых вариантах осуществления коагулянт и/или флокулянт могут инжектироваться в гидроциклон. В некоторых вариантах осуществления хвосты могут быть смешаны с коагулянтом и/или флокулянтом перед подачей в гидроциклон. Коагулянт и/или флокулянт могут способствовать агрегации частиц твердых веществ и облегчать отделение твердых веществ от воды, тем самым увеличивая концентрацию твердых веществ, переносимых в частично обезвоженный нижний поток.

В вариантах осуществления, в которых инжектирование газа используется вместе с коагулянтом

и/или флокулянт, коагулянт и/или флокулянт могут быть смешаны с хвостами одновременно или перед инжектированием газа. Например, коагулянт и/или флокулянт могут вводиться в хвостовой поток одновременно с инжектированием газа в хвостовой поток. В некоторых других вариантах осуществления может быть желательным сначала смешать хвосты с коагулянтом и/или флокулянтом, чтобы дать возможность образоваться хлопьям или коагулированным агрегатам перед инжектированием газа.

В некоторых вариантах осуществления поверхностно-активное вещество может быть инжектировано в гидроциклон. Поверхностно-активное вещество может быть анионогенным, катионогенным или неионогенным поверхностно-активным веществом. В некоторых вариантах осуществления хвосты (или верхний продукт предыдущей ступени гидроциклонной сепарации) могут быть смешаны с поверхностно-активным веществом перед подачей в гидроциклон. Поверхностно-активное вещество может использоваться в сочетании с коагулянтом и/или флокулянтом. В некоторых вариантах осуществления поверхностно-активное вещество может быть добавлено перед коагулянтом и/или флокулянтом. В некоторых вариантах осуществления можно проводить совместное добавление поверхностно-активного вещества и коагулянта и/или флокулянта. Вне связи с какой-либо теорией, поверхностно-активное вещество может использоваться для предварительного смачивания поверхности диспергированных частиц в хвостах (или верхнего продукта предыдущей ступени гидроциклонной сепарации) или для создания заряда на поверхности частиц, тем самым позволяя частицам притягиваться флокулянтом и/или коагулянтом. В качестве альтернативы или дополнительно, вне связи с какой-либо теорией, поверхностно-активное вещество может способствовать диспергированию флокулянта и/или коагулянта в хвостах (или верхнем продукте предыдущей ступени гидроциклонной сепарации). В этом случае коагулянт и/или флокулянт легче вызывают коагуляцию, агрегацию или флокуляцию.

После ступени гидроциклонной сепарации конечный богатый водой верхний продукт разделяется центрифугированием на извлеченный водный поток и маловодный остаток. В некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может представлять собой пульпу.

В системе настоящего изобретения центрифужная установка содержит по меньшей мере одну центрифугу. При наличии двух или более центрифуг в установке центрифуги могут быть соединены параллельно. Например, две или более центрифуги могут быть соединены параллельно для достижения желаемой объемной пропускной способности системы.

Как правило, типами центрифуг, которые используются в вариантах осуществления настоящего изобретения, являются центрифуги со сплошным ротором. Если используется центрифуга со сплошным ротором, - это может быть коническая, цилиндрическая или цилиндрическо-коническая центрифуга со сплошным ротором. Если используется центрифуга со сплошным ротором, - это может быть вертикальная или горизонтальная центрифуга со сплошным ротором. В некоторых вариантах осуществления изобретения центрифужная установка может включать в себя комбинацию двух или более различных типов центрифуг.

Как правило, в центрифуге со сплошным ротором конечный богатый водой верхний продукт вводится в узел приемной камеры вдоль продольной оси центрифуги. Богатый водой верхний продукт сбрасывается из узла приемной камеры в ротор. По мере того как конечный богатый водой верхний продукт соприкасается с вращающейся стенкой ротора и достигает максимальной скорости, центробежные силы заставляют твердые вещества осаждаться из верхнего продукта и отделяться от жидкости (преимущественно воды) конечного богатого водой верхнего продукта.

Точка вдоль центрифуги, в которой богатый водой верхний продукт выходит из узла приемной камеры в ротор, может быть выбрана для обеспечения желаемой центробежной сепарации. Кроме того, длина ротора, угол конусности любого конуса и/или диаметр выпуска могут быть выбраны исходя из желаемой эффективности разделения, чтобы получить центрифугу, которая будет иметь подходящую конфигурацию для использования в настоящем изобретении.

Твердые частицы, которые накапливаются на внутренней стенке ротора, могут перемещаться к одному концу центрифуги посредством шнека, который вращается с другой скоростью, чем ротор. Твердые вещества, в конечном счете, выводятся из сливного стакана центрифуги, который также включает жидкость (в основном воду), отделенную от богатого водой верхнего продукта, перед отведением из ротора в виде маловодного остатка. Секция центрифуги, вдоль которой твердые вещества перемещаются посредством шнека за пределы сливного стакана, может называться сушильной секцией центрифуги.

Центробежная сила, действующая на твердые частицы, может сжимать их, высвобождая воду и обеспечивая желаемое содержание твердых веществ в маловодном остатке. Жидкость, отводимая из центрифуги, представляет собой извлеченный водный поток. Как правило, извлеченный водный поток будет сбрасываться на противоположном конце центрифуги по отношению к маловодному остатку.

В некоторых вариантах осуществления извлеченный водный поток будет содержать 1 мас.% твердых веществ или менее. На содержание твердых веществ в извлеченном водном потоке (т.е. на чистоту извлеченного водного потока), а также на содержание твердых веществ в маловодном остатке будет влиять скорость вращения центрифуги и возникающая вследствие этого центробежная сила. Чем быстрее вращается ротор, тем больше центробежная сила и тем сильнее уплотняются твердые вещества с удалением из них жидкости, соответственно улучшается отделение твердых веществ от жидкости для обезво-

живания твердых веществ из конечного богатого водой верхнего продукта.

Кроме того, глубина сливного стакана также может влиять на прозрачность извлеченного водного потока и содержание твердых веществ в маловодном остатке. По мере увеличения глубины сливного стакана объем жидкости и, следовательно, время пребывания жидкости в центрифуге могут увеличиваться. Это может улучшать осветление извлеченного водного потока. Однако с увеличением глубины сливного стакана размер сушильной секции ротора может уменьшиться. В результате твердые вещества проводят меньше времени за пределами сливного стакана. Это может привести к снижению эффективности обезвоживания и увеличению влагосодержания маловодного остатка.

В некоторых вариантах осуществления центрифуга включает в себя водосливные диски или водосливные пластины, которые можно регулировать для выбора глубины сливного стакана центрифуги. В некоторых вариантах осуществления водосливные диски или водосливные пластины могут быть отрегулированы таким образом, чтобы минимизировать глубину сливного стакана и максимально увеличить сушильную секцию центрифуги.

Чистота извлеченного водного потока может быть такой, что его можно будет непосредственно повторно использовать в процессе, в котором образуются хвосты, без необходимости какого-либо дополнительного осветления, фильтрации или очистки.

Разница между скоростью вращения ротора и шнека может влиять на содержание твердых веществ в маловодном остатке. По мере уменьшения скорости шнека относительно скорости ротора содержание твердых веществ в маловодном остатке может увеличиваться, поскольку увеличение времени пребывания может максимально увеличить уплотнение твердых веществ внутри центрифуги.

Конфигурация шнека также может влиять на содержание твердых веществ маловодного остатка. Шаг шнека - это расстояние между лопастями шнека спирального витка, т.е. поступательное движение, выполняемое шнеком за один оборот. Соответственно, шаг шнека влияет на то, как твердые вещества перемещаются шнеком, и на время пребывания в центрифуге при заданной скорости вращения шнека. Таким образом, уменьшение шага шнека может увеличивать время пребывания в центрифуге. Увеличение времени пребывания может увеличивать количество жидкости, отделенное от твердых веществ. Соответственно, по мере уменьшения шага шнека содержание твердых веществ в маловодном остатке может увеличиваться.

Скорость подачи, в частности количество твердых веществ, подаваемых в единицу времени, также может влиять на содержание твердых веществ в маловодном остатке. По мере увеличения количества твердых веществ, подаваемых в единицу времени, может возникнуть необходимость в увеличении скорости шнека, чтобы удалять твердые вещества из ротора с подходящей скоростью. Это может сократить время пребывания твердых веществ в роторе и, следовательно, уменьшить количество жидкости, отделенной от твердых веществ. Соответственно, когда количество твердых веществ, подаваемых в единицу времени, увеличивается, содержание твердых веществ в маловодном остатке может уменьшаться.

Начальная гидроциклонная сепарация выделяет часть твердых веществ из хвостов в частично обезвоженные нижние продукты. За счет этого начальная гидроциклонная сепарация уменьшает количество твердых веществ, подаваемых в центрифугу. Уменьшенное количество твердых веществ в центрифужной установке может позволить центрифуге работать с высокой эффективностью обезвоживания, позволяя использовать желаемую скорость подачи твердых веществ. В некоторых вариантах осуществления количество твердых веществ, подаваемых в центрифугу, ограничено менее чем до 50% от общего количества твердых веществ в хвостах. Предпочтительно количество твердых веществ, подаваемых в центрифугу, ограничено до менее чем 20% от общего количества твердых веществ в хвостах.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения скорость потока конечного богатого водой верхнего продукта в установку гидроциклонной сепарации можно регулировать таким образом, чтобы гарантировать, что количество твердых веществ, подаваемых в единицу времени, остается постоянным. Если содержание твердых веществ конечного богатого водой верхнего продукта увеличивается, объемное поступление может быть снижено до такой степени, чтобы количество твердых веществ, подаваемых в центрифужную установку в единицу времени, оставалось постоянным, и наоборот.

Следует иметь в виду, что способ настоящего изобретения часто осуществляется непрерывно. Таким образом, скорость подачи конечного богатого водой верхнего продукта в центрифугу может определяться скоростью, с которой конечный богатый водой верхний продукт выводится на конечной ступени гидроциклонной сепарации. Операция гидроциклонной сепарации зависит от скорости подачи хвостов и рабочих параметров гидроциклонов. Соответственно, ввод хвостов и операция гидроциклонной сепарации, а также работа центрифуги могут быть отрегулированы таким образом, чтобы пригодный к штабелированию хвостовой остаток (в первом аспекте изобретения) (обезвоженный хвостовой остаток во втором аспекте изобретения) можно было получать непрерывно.

В некоторых вариантах осуществления в центрифугу может вводиться флокулянт и/или коагулянт. Флокулянт и/или коагулянт могут способствовать агломерации частиц твердых веществ и облегчать отделение твердых веществ от воды в богатом водой верхнем продукте, тем самым увеличивая концентрацию твердых веществ в маловодном остатке. Использование флокулянта и/или коагулянта может быть особенно желательным, когда желательно максимально увеличить извлечение твердых веществ в мало-

водный остаток и максимально увеличить чистоту извлеченного водного потока. В некоторых вариантах предпочтительно использовать флокулянт. Например, в некоторых вариантах осуществления содержание твердых веществ без флокулянта в извлеченном водном потоке может составлять до 8 мас.%, а с флокулянтом извлеченный водный поток может иметь содержание твердых веществ менее 0,5 мас.%.

В некоторых вариантах осуществления в центрифугу может вводиться поверхностно-активное вещество. Поверхностно-активное вещество может быть анионогенным, катионогенным или неионогенным поверхностно-активным веществом. В некоторых вариантах осуществления богатый водой верхний продукт конечной ступени гидроциклонной сепарации может быть смешан с поверхностно-активным веществом перед подачей в центрифугу. Поверхностно-активное вещество может использоваться в сочетании с коагулянтом и/или флокулянтом. В некоторых вариантах осуществления поверхностно-активное вещество может быть добавлено перед коагулянтом и/или флокулянтом. В некоторых вариантах осуществления можно проводить совместное добавление поверхностно-активного вещества и коагулянта и/или флокулянта. Вне связи с какой-либо теорией, поверхностно-активное вещество может использоваться для предварительного смачивания поверхности диспергированных частиц в богатом водой верхнем продукте для создания заряда на поверхности частиц, тем самым позволяя частицам притягиваться флокулянтом и/или коагулянтом. В качестве альтернативы или дополнительно, вне связи с какой-либо теорией, поверхностно-активное вещество может способствовать диспергированию флокулянта и/или коагулянта в богатом водой верхнем продукте. В этом случае коагулянт и/или флокулянт легче вызывают коагуляцию, агрегацию или флокуляцию.

Как отмечалось выше, маловодный остаток может иметь более низкое влагосодержание чем (каждый) частично обезвоженный нижний продукт гидроциклонной сепарации. Соответственно, маловодный остаток может иметь более низкое содержание воды, чем целевое влагосодержание пригодного к штабелированию хвостового остатка (в первом аспекте изобретения) (обезвоженного хвостового остатка во втором аспекте изобретения). В некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может содержать до 90 мас.%, например, до 85 мас.% твердых веществ. Например, маловодный остаток может содержать около 80-85 мас.% твердых веществ. Например, содержание твердых веществ будет по меньшей мере 80 мас.%.

Кроме того, как отмечалось выше, богатый водой верхний продукт, направляемый в центрифугу, может иметь более мелкий гранулометрический состав, чем исходные хвосты. По мере того как гранулометрический состав становится более мелким, воду становится труднее отделять от богатого водой верхнего продукта, в результате чего может стать труднее получить маловодный остаток с около 80-90 мас.% твердых веществ. Однако, в дополнение к этому, по мере того как гранулометрический состав становится более мелким, маловодный остаток может стать более твердым, несмотря на более высокое содержание воды. Например, в некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может составлять только 60 мас.%, или от около 60 до около 80 мас.%, например, около 65 мас.%, или около 74 мас.%. В таких вариантах осуществления маловодный остаток может иметь характеристики пригодного к штабелированию хвостового остатка благодаря мелкому гранулометрическому составу.

В способе настоящего изобретения маловодный остаток и по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженных нижних продуктов смешиваются друг с другом для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка (в первом аспекте изобретения) (обезвоженного хвостового остатка во втором аспекте изобретения). Таким образом, система настоящего изобретения включает в себя подходящий смеситель для смешивания маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка (в первом аспекте изобретения) (обезвоженного хвостового остатка во втором аспекте изобретения). Смесители, которые могут подходить для вариантов осуществления настоящего изобретения, могут представлять собой одно- или двухвальный горизонтальный смеситель или лопастной смеситель с вертикальным валом.

Частично обезвоженный нижний продукт (продукты) и маловодный остаток могут быть доставлены в смеситель подходящими насосными установками, такими как поршневой насос прямого вытеснения. В качестве альтернативы гидроциклон (гидроциклоны) и центрифуга (центрифуги) сконструированы таким образом, чтобы частично обезвоженный нижний продукт (продукты) и маловодный остаток могли падать в смеситель. В некоторых вариантах осуществления, поскольку частично обезвоженный нижний продукт (продукты) обычно имеет более высокое влагосодержание, чем маловодный остаток, частично обезвоженный нижний продукт (продукты) транспортируется в смеситель посредством подходящего насосного устройства, и центрифуга и смеситель сконструированы таким образом, что маловодный остаток падает из центрифуги в смеситель.

В первом аспекте изобретения частично обезвоженный нижний продукт (продукты) и маловодный остаток будут смешаны друг с другом в соответствующих соотношениях, чтобы гарантировать, что полученный хвостовой остаток пригоден к штабелированию. В некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт (продукты) может составлять до 85% пригодного к штабелированию хвостового остатка, например около 80%. Например, в некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт (продукты) может составлять около 70% пригодного к штабелирова-

нию хвостового остатка или около 65% пригодного к штабелированию хвостового остатка. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может составлять около 35% или 30% пригодного к штабелированию хвостового остатка. В некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может составлять около 15-20% пригодного к штабелированию хвостового остатка.

Аналогичным образом, во втором аспекте изобретения частично обезвоженный нижний продукт (продукты) и маловодный остаток будут смешаны друг с другом в соответствующих соотношениях, чтобы гарантировать, что полученный хвостовой остаток имеет желаемую концентрацию твердых веществ. В некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт (продукты) может составлять до 85% обезвоженного хвостового остатка, например около 80%. Например, в некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт (продукты) может составлять около 70% обезвоженного хвостового остатка или около 65% обезвоженного хвостового остатка. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может составлять около 35 или 30% обезвоженного хвостового остатка. В некоторых вариантах осуществления маловодный остаток может составлять около 15-20% обезвоженного хвостового остатка.

В некоторых вариантах осуществления первого или второго аспектов, в которых имеются две ступени гидроциклонной сепарации, около 60% от общего количества твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт первой ступени, от около 10 до около 20% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт второй ступени и от около 20 до около 30% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в маловодный остаток из центрифуги. В некоторых вариантах осуществления около 60% от общего количества твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт первой ступени, более чем около 20% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт второй ступени и менее чем около 20% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в маловодный остаток из центрифуги.

В вариантах осуществления, в которых по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженных нижних продуктов одной из множества ступеней гидроциклонной сепарации собирают в виде сильно обезвоженного продукта, остаток частично обезвоженных нижних продуктов может составлять большую долю пригодного к штабелированию хвостового остатка или обезвоженного хвостового остатка, чем маловодный остаток. В некоторых других вариантах осуществления, в которых по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженных нижних продуктов одной из множества ступеней гидроциклонной сепарации собирается в виде сильно обезвоженного продукта, маловодный остаток может представлять собой большую долю пригодного к штабелированию хвостового остатка или обезвоженного хвостового остатка, полученного из оставшейся части частично обезвоженного нижнего продукта и маловодного остатка. Например, маловодный остаток может составлять до 80% пригодного к штабелированию хвостового остатка или обезвоженного хвостового остатка.

В некоторых вариантах осуществления частично обезвоженный нижний продукт первых ступеней гидроциклонной сепарации собирают в виде сильно обезвоженного продукта. В некоторых из этих вариантов осуществления около 48% от общего количества твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт первой ступени (который затем собирается в виде сильно обезвоженного продукта), от около 10 до около 32% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт второй ступени и от около 20 до около 42% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в маловодный остаток из центрифуги. В некоторых вариантах осуществления около 48% от общего количества твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт первой ступени, более чем около 32% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в частично обезвоженный нижний продукт второй ступени и менее чем около 20% от общего количества исходных твердых веществ может быть извлечено в маловодный остаток из центрифуги.

Скорость подачи хвостов в систему настоящего изобретения, а также работу гидроциклонной сепарационной установки и центрифужной установки можно регулировать таким образом, чтобы непрерывно обеспечивать подачу частично обезвоженного нижнего продукта (продуктов) и маловодного остатка в смеситель в соответствующем соотношении для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка (в первом аспекте изобретения) (обезвоженного хвостового остатка во втором аспекте изобретения).

На фиг. 1 представлена схема варианта осуществления системы в соответствии с изобретением. В данном варианте осуществления хвостовой поток 13 подается в установку 10 гидроциклонной сепарации и разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14 и конечный богатый водой верхний продукт 15. Конечный богатый водой верхний продукт 15 подается в центрифужную установку 16 и разделяется на извлеченный водный поток 22 и маловодный остаток 17. Извлеченный водный поток 22 может быть направлен по трубопроводу обратно к операции добычи, которая образует хвосты, для повторного использования.

Маловодный остаток 17 и частично обезвоженный нижний продукт 14 смешиваются друг с другом в смесителе 18 для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. В данном варианте

осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток затем перекачивается посредством насоса 19 в виде потока 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка в хвостохранилище 21, например, в оборудование для штабелирования.

Пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть подан шнеком из смесителя в насос.

Может быть предпочтительным перекачивать насосом пригодный к штабелированию хвостовой остаток (в первом аспекте изобретения) (обезвоженный хвостовой остаток во втором аспекте изобретения) на полигон для захоронения, например, в хвостохранилище. Таким образом, настоящее изобретение предлагает способ утилизации хвостов, включающий получение из хвостов пригодного к штабелированию хвостового остатка в соответствии со способом первого аспекта настоящего изобретения и перекачку пригодного к штабелированию хвостового остатка на полигон для захоронения. Также предложена система утилизации хвостов, включающая систему для получения из хвостов пригодного к штабелированию хвостового остатка в соответствии с системой настоящего изобретения и насос, соединенный по текучей среде с полигоном для захоронения и выполненный с возможностью перекачивания пригодного к штабелированию хвостового остатка на полигон для захоронения. Аналогичным образом, настоящее изобретение предлагает во втором аспекте способ и систему утилизации хвостов, в которых утилизируемый продукт представляет собой обезвоженный хвостовой остаток вместо пригодного к штабелированию хвостового остатка. По существу, могут использоваться тот же способ и система, что и в первом аспекте, но в которых рабочие условия отрегулированы таким образом, чтобы получать обезвоженный хвостовой остаток вместо пригодного к штабелированию хвостового остатка. Следует иметь в виду, что обезвоженные хвостовые остатки могут быть более текучими, чем пригодный к штабелированию хвостовой остаток, и, соответственно, в большей степени поддаваться перекачке.

Перекачка может уменьшить перевалку пригодного к штабелированию хвостового остатка оборудованием для земляных работ для сооружения устойчивого штабеля. Например, пригодный к штабелированию хвостовой остаток может перекачиваться в местоположение, где его предполагается депонировать в хвостохранилище. Это может упростить транспортировку пригодного к штабелированию хвостового остатка, который обычно перевозят грузовиками или транспортируют конвейерами на хвостохранилище. Сокращение объемов перевалки пригодного к штабелированию хвостового остатка путем перекачки его в желаемое местоположение может упростить техническое обслуживание и управление хвостохранилищем. Это может иметь сопутствующие выгоды для эксплуатационных расходов, связанных с хвостохранилищем.

Подходящим насосом для перекачки пригодного к штабелированию хвостового остатка может быть поршневой насос прямого вытеснения. В некоторых вариантах осуществления подходящим насосом может быть поршневая насосная система со шнековым питателем.

Трубопровод, используемый для соединения насоса с хвостохранилищем, может быть по меньшей мере трубопроводом с условным диаметром не менее 100 (100 Ду) для уменьшения градиентов давления и увеличения пропускной способности. В некоторых вариантах осуществления может использоваться трубопровод с условным диаметром 150 (150 Ду). В некоторых вариантах осуществления может использоваться трубопровод с условным диаметром 250-500 (250-500 Ду). Размер выбранной трубы может зависеть от желаемой скорости потока и потерь на трение.

Способ оценки того, как пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть перекачан, заключается в измерении предела текучести пригодного к штабелированию хвостового остатка посредством стендовой реометрии или предпочтительно петлевых трубных испытаний.

В некоторых вариантах осуществления одна или более добавок могут быть добавлены в пригодный к штабелированию хвостовой остаток. Например, модификаторы вязкости могут быть добавлены к пригодному к штабелированию хвостовому остатку, чтобы остаток мог быть лучше перекачиваемым. Подходящие модификаторы вязкости могут включать лигносульфонаты, такие как соли лигносульфоновой кислоты, меламин и/или полиамины. В некоторых вариантах осуществления добавление лигносульфоната к пригодному к штабелированию хвостовому остатку может снизить предел текучести пригодного к штабелированию хвостового остатка до 62%, например, около 35-50%, например, около 40%.

Количество добавки, добавляемой в пригодный к штабелированию хвостовой остаток, может зависеть от природы добавки. В вариантах осуществления, где добавка является модификатором вязкости, количество, добавляемое в пригодный к штабелированию хвостовой остаток, может составлять 0,05-0,25% (мас./мас.).

Добавка может быть смешана с частично обезвоженным нижним продуктом (продуктами) и маловодным остатком, когда они смешиваются друг с другом для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. В некоторых вариантах осуществления добавка может быть смешана с маловодным остатком или частично обезвоженным нижним продуктом перед тем, как частично обезвоженный нижний продукт (продукты) и маловодный остаток смешивают друг с другом. В некоторых вариантах осуществления добавка может быть смешана с пригодным к штабелированию хвостовым остатком на отдельной стадии после того, как пригодный к штабелированию хвостовой остаток был образован.

Пригодный к штабелированию хвостовой остаток настоящего изобретения может иметь характеристики, которые дают преимущество при перекачке. Вне связи с какой-либо теорией, полагают, что спо-

соб в соответствии с настоящим изобретением обезвоживает хвосты таким образом, что гидратирующий слой лучше сохраняется на поверхности частиц в остатке. Считается, что этот гидратирующий слой приводит к тому, что пригодный к штабелированию хвостовой остаток настоящего изобретения является в большей степени перекачиваемым, чем остаток, полученный другими способами.

Вне связи с какой-либо теорией, полагают, что гидратирующий слой частиц увеличивает подвижность частиц в остатке. Считается также, что пригодный к штабелированию хвостовой остаток, текущий по трубе, имеет неоднородный профиль скорости благодаря эффекту трения у стенки трубы. Соответственно, происходит увеличение скорости по направлению к центру трубы, и этот профиль скорости, как полагают, приводит к тому, что более крупные частицы мигрируют к центру потока материала в трубе. Считается, что существует соответствующая миграция более мелких частиц в область, ближайшую к стенке трубы, благодаря чему существует большая доля более мелких частиц в области, ближайшей к стенке трубы. Считается, что существует меньшее трение между стенкой трубы и более мелкими частицами, поэтому после переходного периода в начале перекачки пригодный к штабелированию хвостовой остаток может стать более перекачиваемым. В некоторых вариантах осуществления пригодный к штабелированию хвостовой остаток может быть текущим продуктом. Вне связи с какой-либо теорией, полагают, что альтернативные процессы, такие как процессы, которые используют фильтрацию, сталкивают частицы друг с другом, благодаря чему гидратирующий слой удаляется, что приводит к большему механическому сцеплению частиц посредством уплотнения и трения между частицами.

Кроме того, вне связи с какой-либо теорией, полагают, что присутствие гидратирующего слоя может позволить пригодному к штабелированию хвостовому остатку иметь лучшую консолидацию после депонирования на полигоне для захоронения. После депонирования пригодного к штабелированию хвостового остатка на полигоне для захоронения может произойти некоторое иссушение пригодного к штабелированию хвостового остатка в результате воздействия атмосферы на полигоне для захоронения. Вне связи с какой-либо теорией, полагают, что когда вода испаряется из пригодного к штабелированию хвостового остатка, капиллярное действие воды, остающейся между частицами, притягивает частицы друг к другу.

Перекачка пригодного к штабелированию хвостового остатка по трубопроводу на полигон для захоронения может обеспечивать пригодный к штабелированию хвостовой остаток с желаемыми характеристиками поверхности. Как отмечалось выше, вне связи с какой-либо теорией, полагают, что пригодный к штабелированию хвостовой остаток, текущий по трубе, имеет неоднородный профиль скорости благодаря эффекту трения у стенки трубы, приводящему к миграции более мелких частиц в область, ближайшую к стенке трубы, благодаря чему существует большая доля более мелких частиц в области, ближайшей к стенке трубы. Как следствие, когда пригодный к штабелированию хвостовой остаток выводится из трубопровода, внешняя поверхность пригодного к штабелированию хвостового материала будет иметь большую долю более мелких частиц.

Как отмечалось выше, полагают, что, когда вода испаряется из пригодного к штабелированию хвостового остатка, капиллярное действие воды, остающейся между частицами, притягивает частицы друг к другу. Поскольку частицы на поверхности пригодного к штабелированию хвостового остатка могут быть более мелкими после перекачки, частицы могут собираться вместе более эффективно по мере их сближения, что приводит к поверхности с повышенной консолидацией. Таким образом, поверхность депонированного пригодного к штабелированию хвостового остатка может быть очень прочной, в том смысле, что она устойчива к эрозии или деформации. Например, эта поверхность может быть более устойчивой к эрозионному воздействию ветра и/или других факторов окружающей среды, чем пригодный к штабелированию хвостовой остаток, депонированный другими способами.

В целом, по мере того, как гранулометрический состав пригодного к штабелированию хвостового остатка становится более мелким, частицы могут уплотняться более эффективно, поскольку они притягиваются друг к другу во время сушки, что приводит к усиленной консолидации поверхности. Таким образом, пригодный к штабелированию хвостовой остаток может иметь преимущества, отмеченные выше и заключающиеся в том, что поверхность может быть очень прочной, и может быть более устойчивым к эрозионному воздействию ветра и/или других факторов окружающей среды, чем пригодный к штабелированию хвостовой остаток, депонированный другими способами.

На фиг. 2 показан второй вариант осуществления системы в соответствии с настоящим изобретением. В данном варианте осуществления установка 10 гидроциклонной сепарации включает в себя два подблока 10a, 10b, каждый из которых содержит гидроциклон 11a, 11b.

Хвостовой поток 13 подается в первый гидроциклон 11a и разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14a и богатый водой верхний продукт 15a. Богатый водой верхний продукт 15a далее подается в гидроциклон 11b следующего подблока 10b. В данном гидроциклоне 11b богатый водой верхний продукт 15a разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14b и богатый водой верхний продукт 15b.

Поскольку второй гидроциклон 11b является конечной ступенью гидроциклонной сепарации данного варианта осуществления, богатый водой верхний продукт 15b подается в центрифугу 12, такую как центрифуга со сплошным ротором, центрифужной установки 16 и разделяется на извлеченный водный

поток 22 и маловодный остаток 17. Извлеченный водный поток 22 может быть направлен по трубопроводу обратно к операции добычи, в которой образовывались хвосты, для повторного использования.

Маловодный остаток 17 и частично обезвоженный нижний продукт 14a, 14b каждой ступени гидроциклонной сепарации смешиваются друг с другом посредством смесителя 18 для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Пригодный к штабелированию хвостовой остаток затем перекачивается посредством поршневого насоса 19 прямого вытеснения в виде потока 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка в хвостохранилище 21.

В качестве дополнительной иллюстрации получения пригодного к штабелированию хвостового остатка, если:

частично обезвоженный нижний продукт 14a первого гидроциклона 11a имеет содержание твердых веществ 75-80 мас.% и составляет 65% пригодного к штабелированию хвостового остатка;

частично обезвоженный нижний продукт 14b второго гидроциклона 11b имеет содержание твердых веществ 75 мас.% и составляет 15-20% пригодного к штабелированию хвостового остатка; и

маловодный остаток 17 из центрифуги 12 имеет содержание твердых веществ 85-90 мас.% и составляет 15-20% пригодного к штабелированию хвостового остатка;

пригодный к штабелированию хвостовой остаток будет иметь содержание твердых веществ 75,75-81,25 мас.%.

Как отмечалось выше, одна только гидроциклонная сепарация может не обеспечивать адекватного обезвоживания хвостов для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Соответственно, в способе изобретения может использоваться разделение на центрифуге для получения маловодного остатка с более низким содержанием воды, чем целевое влагосодержание пригодного к штабелированию хвостового остатка. Маловодный остаток может затем быть объединен с (каждым) частично обезвоженным нижним продуктом гидроциклонной сепарации для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка с желаемым содержанием твердых веществ.

На фиг. 3 показан третий вариант осуществления системы в соответствии с настоящим изобретением. В данном варианте осуществления установка 10 гидроциклонной сепарации включает в себя два подблока 10a, 10b, каждый из которых содержит гидроциклон 11a, 11b.

Хвостовой поток 13 подается в первый гидроциклон 11a и разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14a и богатый водой верхний продукт 15a. Часть частично обезвоженного нижнего продукта 14a может быть собрана в виде сильно обезвоженного продукта 14a'. Этот сильно обезвоженный продукт 14a' может использоваться для строительства насыпи 23 хвостохранилища. Количество частично обезвоженного нижнего продукта 14a, собранного в виде сильно обезвоженного продукта 14a', можно регулировать при использовании в зависимости от требований процесса.

В четвертом варианте осуществления, показанном на фиг. 4, весь нижний продукт из первого гидроциклона 11a собирается в виде сильно обезвоженного продукта 14a', а не объединяется с другими технологическими потоками.

Богатый водой верхний продукт 15a далее подается в гидроциклон 11b следующего подблока 10b. В данном гидроциклоне 11b богатый водой верхний продукт 15a разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14b и богатый водой верхний продукт 15b.

Поскольку второй гидроциклон 11b является конечной ступенью гидроциклонной сепарации данного варианта осуществления, богатый водой верхний продукт 15b подается в центрифугу 12, такую как центрифуга со сплошным ротором, центрифужной установки 16 и разделяется на извлеченный водный поток 22 и маловодный остаток 17. Извлеченный водный поток 22 может быть направлен по трубопроводу обратно к операции добычи, в которой образовывались хвосты, для повторного использования.

Маловодный остаток 17 и оставшая часть частично обезвоженного нижнего продукта 14a, 14b каждой ступени гидроциклонной сепарации (т.е. часть, не собранная в виде сильно обезвоженного продукта 14a') смешиваются друг с другом посредством смесителя 18 для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. В четвертом варианте осуществления, показанном на фиг. 4, маловодный остаток 17 и частично обезвоженный нижний продукт 14b конечной гидроциклонной сепарации смешиваются друг с другом посредством смесителя 18 для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Пригодный к штабелированию хвостовой остаток затем перекачивается посредством поршневого насоса 19 прямого вытеснения в виде потока 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка в хвостохранилище 21.

Хвостохранилище 21 для пригодных к штабелированию хвостов может быть окружено насыпями 23, образованными с использованием сильно обезвоженного продукта 14a'.

В других вариантах осуществления работу второго гидроциклона 11b и центрифуги 12 можно регулировать таким образом, чтобы получался более текучий продукт, чем пригодный к штабелированию хвостовой остаток. В таких вариантах осуществления содержание воды в остатке будет выше, чем в пригодном к штабелированию хвостовом остатке. Этот более текучий продукт может быть более легко перекачиваемым, так что его можно легко утилизировать в дамбе хвостохранилища, например в хвостохранилище, окруженном насыпями 23, образованными с использованием сильно обезвоженного продукта 14a'.

Варианты осуществления, в которых текучий продукт получают вместо пригодного к штабелированию хвостового остатка, могут все же быть предпочтительными. В таких вариантах осуществления все еще может происходить извлечение воды из хвостов. Продукт, утилизированный в хвостохранилище, может иметь более высокое содержание твердых веществ, чем исходные хвосты. Соответственно, объем хранимых хвостовых остатков может быть уменьшен по сравнению с исходными хвостами.

Пример 1.

Пример настоящего изобретения описан со ссылкой на фиг. 5. В этом примере поток хвостов 13 со свойствами, показанными в табл. 1, подается в первый смесительный резервуар 24.

Таблица 1

Свойства хвостов 13

Свойство		
Твердые вещества (т/ч)		50
Вода (т/ч)		93
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)		111
Концентрация	твердых веществ	35
(% мас./мас.)		
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )		1,283

Типичный минералогический состав хвостов 13 приведен в табл. 2.

Таблица 2

Минералогический состав хвостов 13

Минерал	Нормированное распределение
	Всего
Халькопирит	0,14
Борнит	0,02
Халькоцит	0,00
Ковеллит	0,00
Теннантит/Энаргит	0,01
Куприт/Самородная медь	0,00
Пирит	0,49
Оксиды железа	1,18
Кварц	19,4
Полевые шпаты	50,0
Хлорит	11,1
Мусковит	4,85
Пироксен/Амфибол	1,00
Эпидот	1,39
Кальцит	3,56
Биотит/Флогопит	3,41
Сфен (Титанит)	1,52
Апатит	0,85
Анкерит	0,34
Каолинит	0,24
Флюорит	0,06
Другие	0,43
Всего	100

Хвосты 13 перекачиваются посредством насоса Р<sub>1</sub> в первый подблок 10а гидроциклонной сепарации, содержащий по меньшей мере один гидроциклон Cavex<sup>®</sup> 150CVX. В первом подблоке 10а гидроциклонной сепарации хвосты 13 разделяются на частично обезвоженный нижний продукт 14а и богатый водой верхний продукт 15а.

Входное давление подачи составляет около 1000-1100 кПа, и извлечение твердых веществ в частично обезвоженный нижний продукт 14а составляет 60%. Свойства частично обезвоженного нижнего продукта 14а показаны в табл. 3.

Таблица 3

## Свойства частично обезвоженного нижнего продукта 14а

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	30
Вода (т/ч)	8
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	19
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	80
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	2,019

Свойства богатого водой верхнего продукта 15а показаны в табл. 4.

Таблица 4

## Свойства богатого водой верхнего продукта 15а

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	20
Вода (т/ч)	85
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	93
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	19
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,136

На фиг. 6 показано изменение гранулометрического состава между исходными хвостами 13, частично обезвоженным нижним продуктом 14а и богатым водой верхним продуктом 15а. Можно видеть, что частично обезвоженный нижний продукт 14а имеет более крупный гранулометрический состав, в то время как богатый водой верхний продукт 15а имеет более мелкий гранулометрический состав, чем хвосты 13.

Богатый водой верхний продукт 15а перекачивается в смесительный резервуар 24' и затем перекачивается посредством насоса P<sub>2</sub> во второй (и последний) подблок 10b гидроциклонной сепарации. Второй подблок 10b гидроциклонной сепарации содержит по меньшей мере один гидроциклон Cavex® 100CVX. Во втором подблоке 10а гидроциклонной сепарации богатый водой верхний продукт 15а разделяется на частично обезвоженный нижний продукт 14b и богатый водой верхний продукт 15b.

Входное давление подачи для второго подблока 10b гидроциклонной сепарации составляет около 1000-1100 кПа, и извлечение твердых веществ в частично обезвоженный нижний продукт 14b составляет 20%. Свойства частично обезвоженного нижнего продукта 14b показаны в табл. 5.

Таблица 5

## Свойства частично обезвоженного нижнего продукта 14b

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	4
Вода (т/ч)	1
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	3
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	74
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,876

Свойства богатого водой верхнего продукта 15b показаны в табл. 6.

Таблица 6

## Свойства богатого водой верхнего продукта 15b

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	16
Вода (т/ч)	84
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	90
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	16
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,112

На фиг. 7 показано изменение гранулометрического состава между богатым водой верхним продуктом 15а, частично обезвоженным нижним продуктом 14b и богатым водой верхним продуктом 15b. Можно видеть, что частично обезвоженный нижний продукт 14b имеет более крупный гранулометрический состав, в то время как богатый водой верхний продукт 15а имеет более мелкий гранулометрический состав, чем богатый водой верхний продукт 15а.

Богатый водой верхний продукт 15b подается в центрифугу 12. В данном примере центрифуга 12 представляет собой SO1 центрифугу со сплошным ротором производства Andritz. Центрифуга 12 работает при максимальной скорости вращения ротора и минимальной скорости шнека. Богатый водой верхний продукт 15b разделяется на извлеченный водный поток 22 и маловодный остаток 17.

Около 99,94% твердых веществ извлекается в маловодный остаток 17. Свойства маловодного ос-

тапка 17 показаны в табл. 7.

Таблица 7

Свойства маловодного остатка 17

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	16
Вода (т/ч)	6
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	12
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	74
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,876

Свойства извлеченного водного потока 22 показаны в табл. 8 ниже.

Таблица 8

Свойства извлеченного водного потока 22

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	0,05
Вода (т/ч)	78
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	78
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	0,06
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,000

На фиг. 8 показано изменение гранулометрического состава между богатым водой верхним продуктом 15а, и маловодным остатком 17. Можно видеть, что наблюдается лишь незначительное изменение в измеренном гранулометрическом составе, отражающее, что подавляющее большинство твердых веществ из богатого водой верхнего продукта 15а извлекается в маловодный остаток 17.

Извлеченный водный поток 22 направляется в резервуар 25 для технологической воды перед направлением по трубопроводу обратно к операции добычи, в которой образовывались хвосты, для повторного использования, посредством насоса Р<sub>3</sub>.

Маловодный остаток 17 и частично обезвоженный нижний продукт 14а, 14b каждой ступени гидроциклонной сепарации смешиваются друг с другом посредством смесителя 18 для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка. Пригодный к штабелированию хвостовой остаток затем перекачивается посредством поршневого насоса 19 прямого вытеснения в виде потока 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка в хвостохранилище (не показано).

Свойства пригодного к штабелированию хвостового остатка 20 показаны в табл. 9.

Таблица 9

Свойства потока 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка

Свойство	
Твердые вещества (т/ч)	50
Вода (т/ч)	15
Суспензия (м <sup>3</sup> /ч)	33
Концентрация твердых веществ (% мас./мас.)	77,5
Относительная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1,957

На фиг. 9 показан возможный диапазон гранулометрического состава, который может быть продемонстрирован потоком 20 пригодного к штабелированию хвостового остатка, в зависимости от соотношений маловодного остатка 17 и частично обезвоженных нижних продуктов 14а, 14b. Верхняя граница диапазона представляет собой гранулометрический состав маловодного остатка 17, в то время как нижняя граница представляет собой гранулометрический состав частично обезвоженного нижнего продукта 14а первой ступени гидроциклонной сепарации.

На фиг. 10 показано, как изменяется этот возможный диапазон гранулометрического состава, если вариант осуществления, показанный на фиг. 5, модифицирован для сбора всех частично обезвоженных нижних продуктов 14а в виде сильно обезвоженного продукта. То есть, если вариант осуществления на фиг. 5 модифицирован для приведения его в соответствие с вариантом осуществления, показанным на фиг. 4, так, чтобы частично обезвоженные нижние продукты 14а не объединялись с маловодным остатком 17 и частично обезвоженным нижним продуктом 14b. Вместо этого пригодный к штабелированию хвостовой остаток получают из маловодного остатка 17 и частично обезвоженного нижнего продукта 14b. Верхняя граница диапазона представляет собой гранулометрический состав маловодного остатка 17, в то время как нижняя граница представляет собой гранулометрический состав частично обезвоженного нижнего продукта 14b второй (и последней) ступени гидроциклонной сепарации.

Пример 2.

Для оценки влияния инжектирования воздуха на концентрацию твердых веществ в нижнем продукте гидроциклона были проведены эксперименты с использованием гидроциклона Cavex® 150CVX, работающего при входном давлении подачи 750 кПа. Хвосты, использованные в этих экспериментах, имеют тот же минералогический состав, что и в табл. 2, концентрацию твердых веществ 35% мас./мас. и отно-

сительную плотность  $1,283 \text{ г/см}^3$ . Воздух инжектировали в поток хвостов со скоростью  $18 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Воздух инжектировали перед входным фланцем гидроциклона, посредством воздушного кольца по периферии нагнетательной трубы с множеством отверстий, проходящих через стенку трубы. Влияние инжектирования воздуха при различных скоростях потока хвостов показано на фиг. 11. Можно видеть, что использование воздуха ассоциировано с повышением концентрации твердых веществ в потоке нижнего продукта. В дополнение к этому, концентрация твердых частиц в потоке нижнего продукта также увеличивается с увеличением скорости потока хвостов.

Ссылка в данном описании на какую-либо предшествующую публикацию (или информацию, полученную из нее) или любой другой материал, который известен, не является и не должна считаться подтверждением или признанием или какой-либо формой предположения того, что предшествующая публикация (или информация, полученная из нее) или известный материал образует часть общеизвестных сведений в той области техники, к которой относится настоящее описание.

Во всем описании и в последующих пунктах формулы изобретения, если контекст не предусматривает иного, слово "содержать" и его варианты, такие как "содержит" и "содержащий", будут пониматься как подразумевающие включение указанного целого числа или стадии или группы целых чисел или стадий, но не как исключение любого другого целого числа или стадии или группы целых чисел или стадий.

В данном документе варианты осуществления были описаны со ссылкой на прилагаемые чертежи. Однако некоторые модификации описанных вариантов осуществления могут быть сделаны без отклонения от сущности и объема описанных вариантов осуществления, как описано в прилагаемой формуле изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения пригодного к штабелированию хвостового остатка или обезвоженного хвостового остатка, включающий в себя этапы, на которых

подают хвосты в гидроциклон при входном давлении подачи, составляющем от 0,75 до 1,5 МПа;

подвергают хвосты гидроциклонной сепарации с целью получения одного или более частично обезвоженных нижних продуктов и конечного богатого водой верхнего продукта;

разделяют конечный богатый водой верхний продукт посредством центрифугирования на извлеченный водный поток и маловодный остаток;

смешивают маловодный остаток и по меньшей мере часть одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка, при этом хвостовой остаток имеет содержание твердых веществ от около 75 до около 90 мас. %.

2. Способ по п.1, в котором

хвосты проходят множество ступеней гидроциклонной сепарации, включающих первую ступень и конечную ступень;

каждая ступень гидроциклонной сепарации разделяет входящий поток на один или более частично обезвоженных нижних продуктов и богатый водой верхний продукт;

входящий поток первой ступени содержит хвосты;

богатый водой верхний продукт каждой ступени, предшествующей конечной ступени, является входящим потоком для следующей смежной ступени; и

конечный богатый водой верхний продукт представляет собой богатый водой верхний продукт конечной ступени.

3. Способ по п.1 или 2, дополнительно включающий в себя этапы, на которых подают газ в хвосты перед подачей хвостов в гидроциклон при давлении, превышающем входное давление подачи, при этом, возможно, подача газа включает в себя закачку выше 10 и до  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

4. Система для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка, содержащая

установку гидроциклонной сепарации, имеющую входное давление подачи от 0,75 до 1,5 МПа, для подвергания хвостов гидроциклонной сепарации с получением одного или более частично обезвоженного нижнего продукта и конечного богатого водой верхнего продукта;

центрифужную установку, содержащую по меньшей мере одну центрифугу, выполненную с возможностью разделения конечного богатого водой верхнего продукта на извлеченный водный поток и маловодный остаток; и

смеситель для смешивания маловодного остатка и по меньшей мере части одного или более частично обезвоженного нижнего продукта для получения пригодного к штабелированию хвостового остатка или обезвоженного хвостового остатка, при этом хвостовой остаток имеет содержание твердых веществ от около 75 до около 90 мас. %.

5. Система по п.4, в которой

гидроциклонная сепарация имеет множество ступеней гидроциклонной сепарации, включающих первую ступень и конечную ступень;

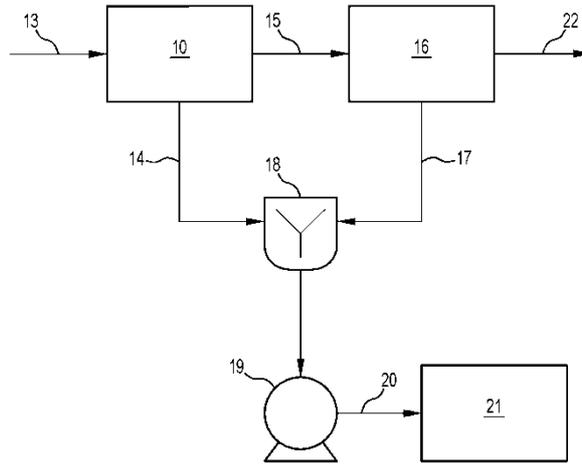
причем на каждой ступени установка гидроциклонной сепарации имеет подблок, содержащий по меньшей мере один гидроциклон для разделения входящего потока на один или более частично обезво-

женный нижний продукт и богатый водой верхний продукт;

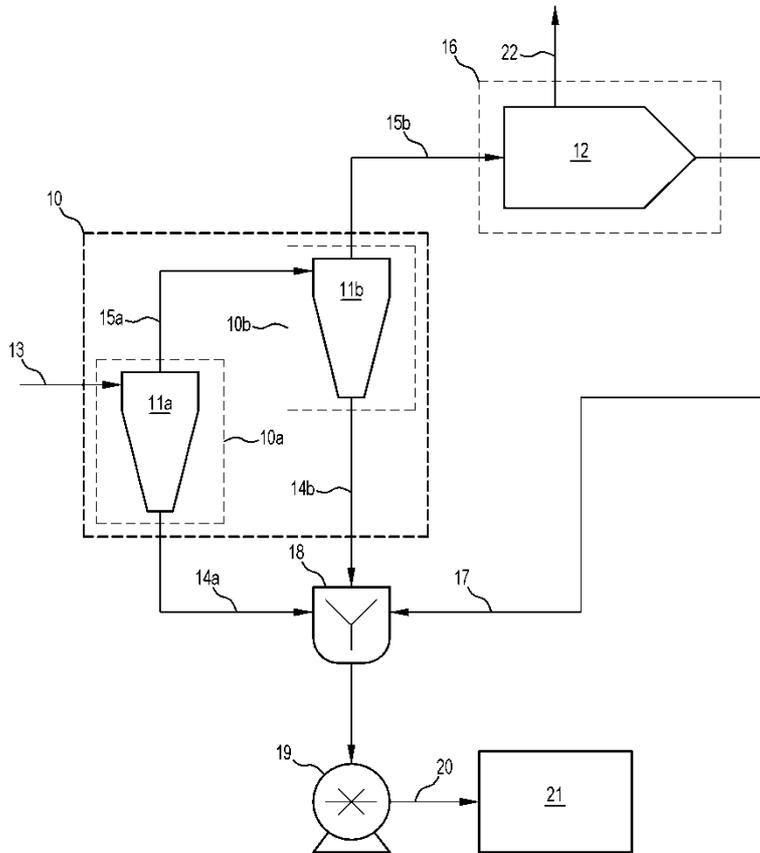
подблок для первой ступени выполнен таким образом, что входящий поток первой ступени содержит хвосты; и

подблоки выполнены с возможностью обеспечения богатого водой верхнего продукта каждой ступени, предшествующей конечной ступени, в качестве входящего потока на следующую смежную ступень; и

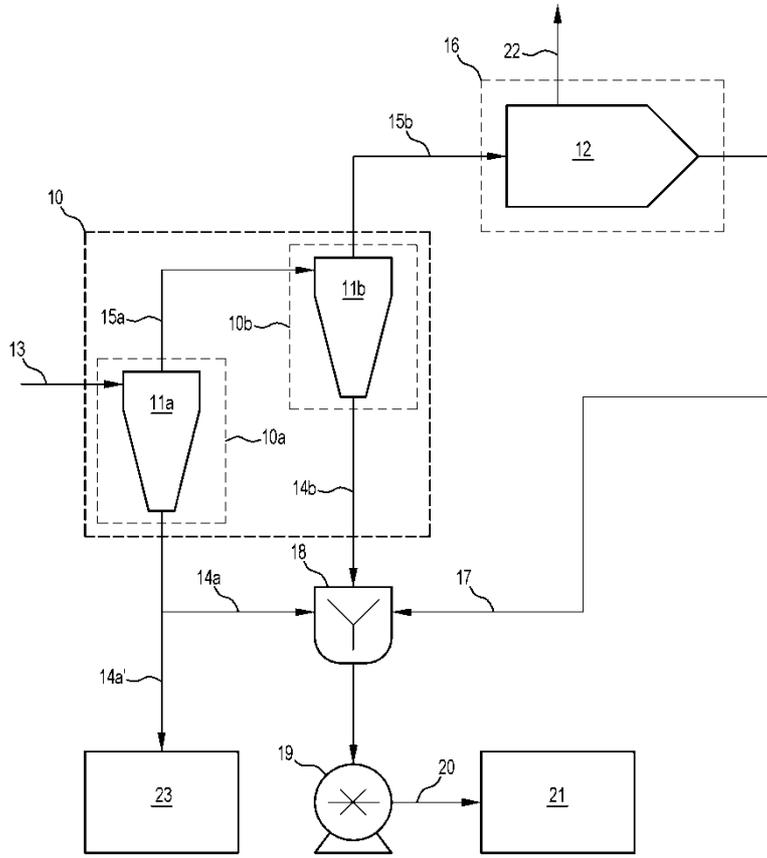
подблок для конечной ступени выполнен с возможностью подачи конечного богатого водой верхнего продукта в центрифужную установку.



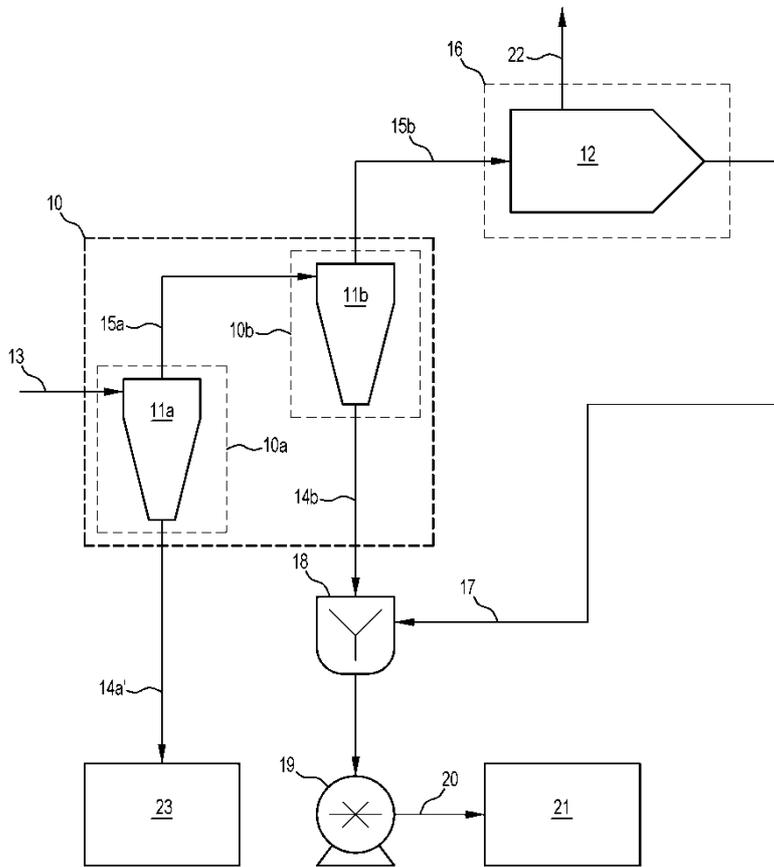
Фиг. 1



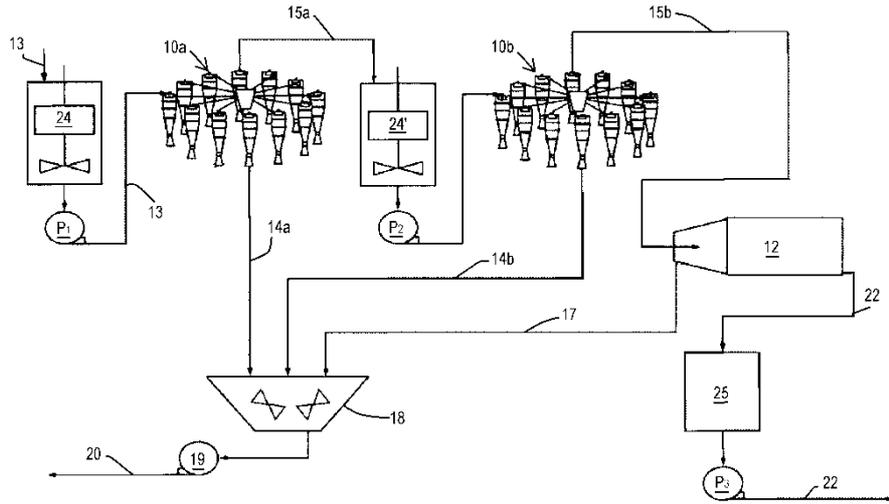
Фиг. 2



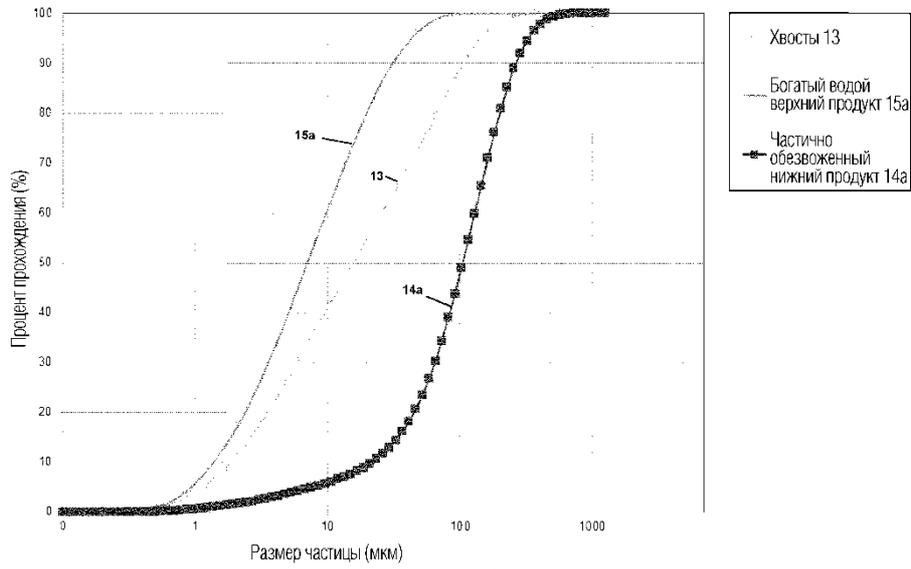
Фиг. 3



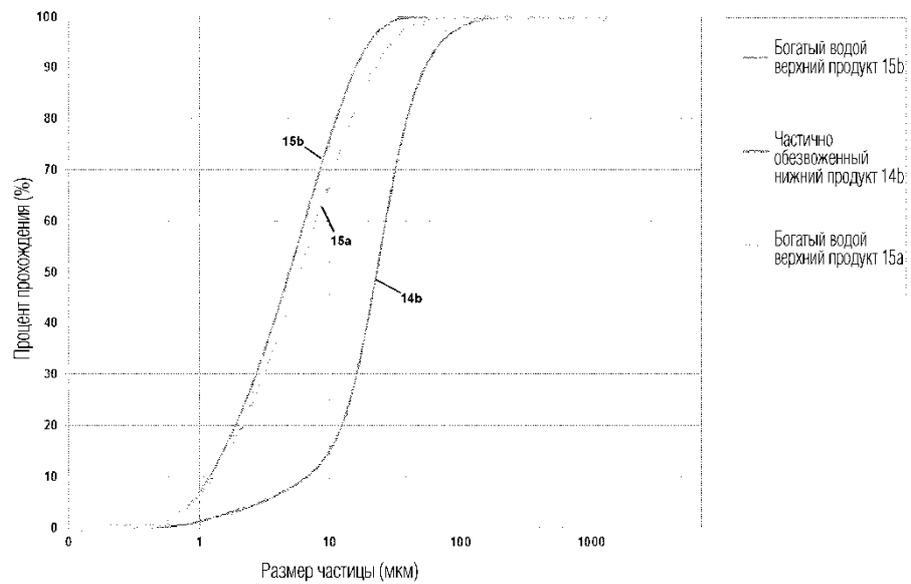
Фиг. 4



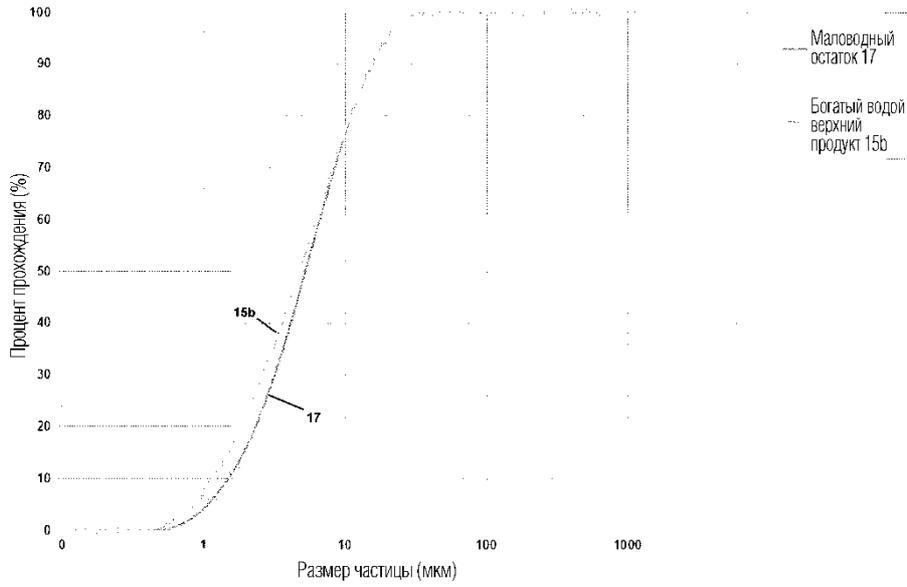
Фиг. 5



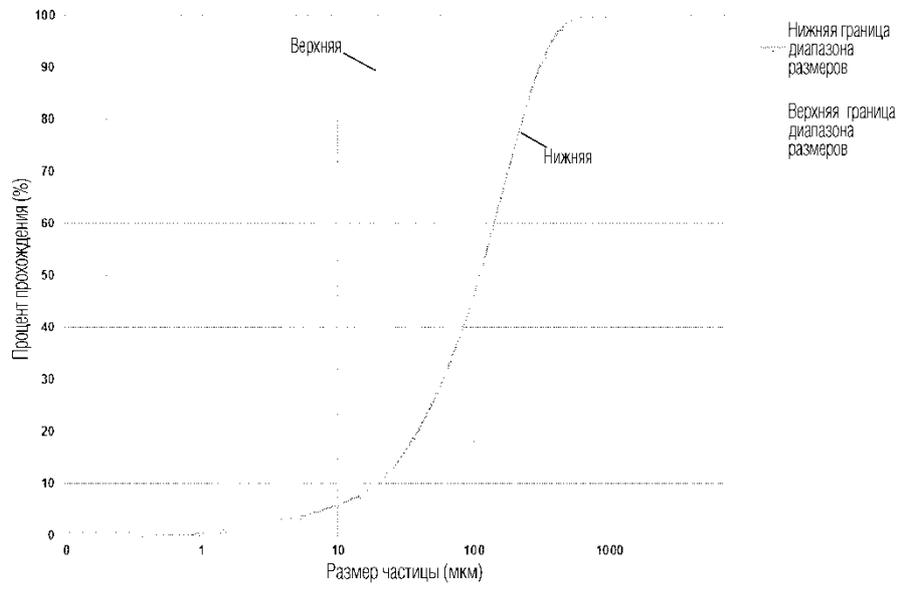
Фиг. 6



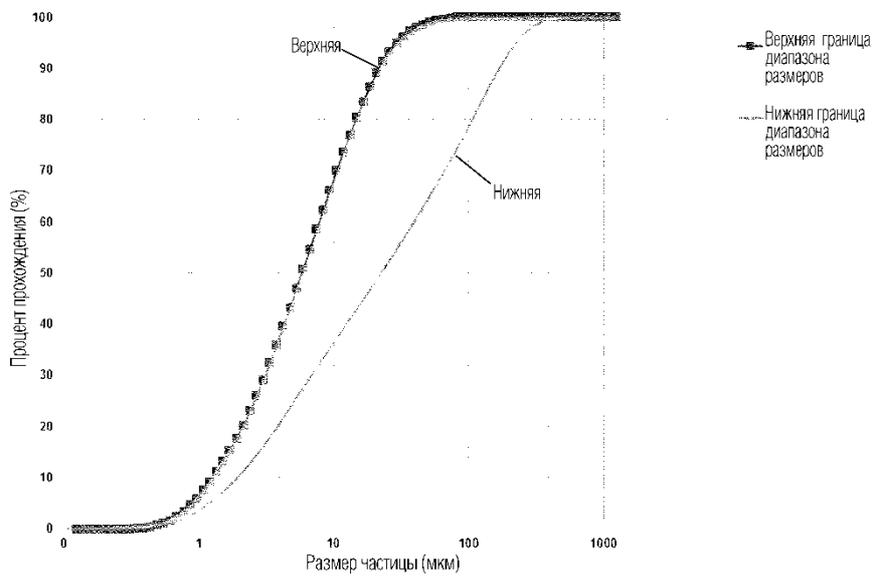
Фиг. 7



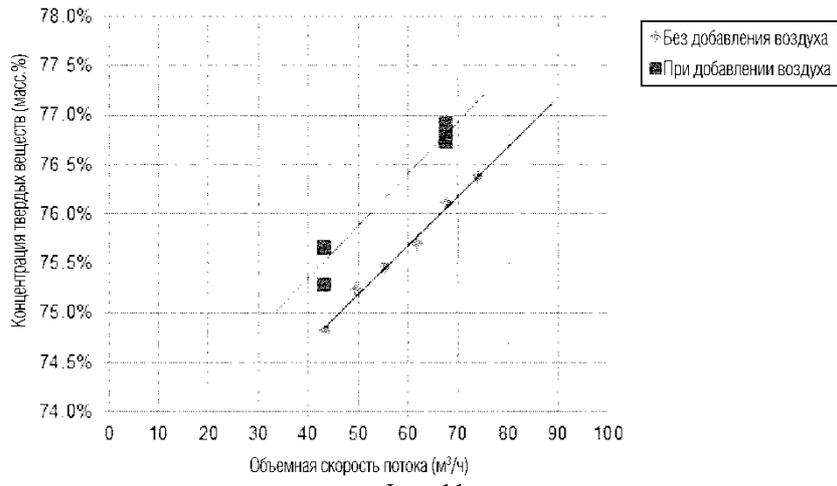
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

