

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044795**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.29

(51) Int. Cl. **C22B 3/04 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202192424

(22) Дата подачи заявки
2020.03.06

(54) **УКЛАДКА ОТХОДОВ**

(31) **62/815,503; 62/848,911**

(32) **2019.03.08; 2019.05.16**

(33) **US**

(43) **2022.01.12**

(86) **PCT/IB2020/051942**

(87) **WO 2020/183309 2020.09.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**АНГЛО АМЕРИКАН ТЕКНИКЛ ЭНД
САСТЕЙНАБИЛИТИ СЕРВИСИЗ
ЛТД (GB)**

(72) Изобретатель:

**Филмер Энтони Оуэн (AU),
Александр Дэниел Джон, Соулс
Джулиан Джереми, Ньюмен Филип
Данкан (GB)**

(74) Представитель:

**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,
Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) **US-A1-20140119832
US-A-4448690
US-A1-20140305001
US-A-5413433
WO-A1-2017195008
US-A1-20200283324**

(57) В изобретении описан способ укладки отходов после измельчения и переработки руд. Способ включает следующие стадии: разделение отходов переработки на водопроницаемую песчаную фракцию и фракцию хвостов; укладка фракции хвостов и песчаной фракции для формирования многослойной структуры, ограниченной по меньшей мере одной ограничивающей стенкой (14), с песчаной фракцией, формирующей непрерывные песчаные каналы (12), проходящие через фракцию (10) хвостов, для обеспечения возможности протекания воды, содержащейся в хвостах и в песке, под действием силы тяжести через песчаные каналы к водовыпускным отверстиям (16); и вывод воды (18) из водовыпускных отверстий.

044795 B1

044795 B1

Область техники

Изобретение относится к способу извлечения воды и формирования устойчивых элементов ландшафта из отходов горного производства.

Уровень техники

Основная часть воды, потребляемая в операциях по добыче руды из твердой горной породы, которая используется для извлечения простых или благородных металлов, содержится в очень тонко измельченных отходах, получаемых в результате флотации или выщелачивания. Тонкое измельчение необходимо для высвобождения ценного компонента руды, чтобы обеспечить приемлемые результаты его извлечения. Получаемые отходы сгущают для частичного извлечения воды, и поскольку сгущенная пульпа остается подверженной разжижению, то эти отходы укладывают гидравлическим способом в специальные хранилища, указываемые как хвостохранилища.

Частицы отходов обычно имеют диаметр менее 150 микрон, и из-за их низкой проницаемости не могут быть легко дренированы или отфильтрованы для удаления захваченной воды.

Даже в случае использования фильтрации отходов укладка и хранение отфильтрованного продукта может создавать проблемы, поскольку с отфильтрованными отходами трудно работать, и они не имеют конструктивной целостности. Фильтрация и укладка механическими средствами - это дорогостоящие операции, и, кроме того, они создают отходы, которые создают проблемы для хранения на многих территориях.

Итак, две давние цели горнорудной промышленности, такой как промышленности добычи простых металлов, меди, золота или металлов группы платины (PGM, от англ. Platinum Group Metals), заключаются, во-первых, в извлечении воды, содержащейся в отходах, и, во-вторых, в разработке экономичного способа укладки отходов в сухой и устойчивой форме.

В сельскохозяйственной и строительной отраслях, а также в отрасли стабилизации грунта, издавна используется концепция каналов с капиллярными (фитильными) свойствами для обезвоживания грунтов с низкой гидропроводностью.

Капиллярное дренирование (вертикальное или горизонтальное) обеспечивается путем введения непрерывного слоя материала с более высокой гидропроводностью в плохо дренирующийся грунт для обеспечения возможности вытекания воды из зон грунтов с низкой гидропроводностью в зоны с более пористой структурой, из которых вода может стекать в места, из которых она может быть выведена. В большинстве систем капиллярного дренирования используется водопроницаемый геотекстиль, намотанный на центральный пористый стержень, для обеспечения возможности выборочного протекания воды из водонасыщенного грунта в пористый фитиль.

Песок также используется в качестве материала, обеспечивающего дренирование с использованием капиллярных сил (часто указывается как дренаж Френча или французская дрена), поскольку он имеет высокую гидропроводность (примерно на два порядка величины больше по сравнению с плохо дренируемыми грунтами). Песчаный канал обеспечивает устойчивое вытекание воды из грунта с низкой гидропроводностью (например, из глины) в песчаную дрена, из которой она может вытекать к месту вывода воды. Эффект капиллярного дренирования водонасыщенного песка проявляется в извлечении воды из окружающего водонасыщенного грунта.

Эти принципы капиллярного дренирования могут применяться и для обезвоживания отходов горного производства.

Однако распределение размеров частиц отходов горного производства такое, что они имеют низкую гидропроводность (обычно 10⁻⁴ - 10⁻⁶ см/с), и поэтому в случае больших объемов они остаются "постоянно" выше уровня насыщения; содержание воды, при котором может происходить разжижение отходов при воздействии внешнего давления.

Окончательное содержание воды в отходах после их оседания обычно составляет примерно 0,5-0,55 м³ воды на тонну отходов.

Реальность такова, что во многих юрисдикциях власти настаивают на использовании непроницаемого покрытия основания и сторон хвостохранилища для предотвращения вытекания из него воды в окружающую среду.

В связи с большими объемами случайные разрушения ограничивающих (ограждающих) стенок хвостохранилищ, используемых для содержания отходов горного производства, могут иметь катастрофические последствия. Такие разрушения вызывали гибель людей и широкомасштабные загрязнения окружающей среды.

Идея использования вертикального фитильного дренирования с использованием геотекстильных материалов для обезвоживания отходов была успешно опробована для уплотнения старых отходов, чтобы обеспечить возможность перемещения частично высушенного материала (Материалы конференции по хвостам и шахтным отходам, г. Ванкувер, Британская Колумбия, 26-28 октября, 2015). Однако стоимость установки большого количества вертикальных дренажных каналов с капиллярными свойствами, с шагом 1-3 метра на большом хвостохранилище находится за пределами допустимого. Стоимость материалов каждого традиционного геотекстильного дренажного канала с капиллярными свойствами значительна, она примерно равна стоимости установки каждого канала.

Коммерчески приемлемое применение, наиболее близкое к идее фитильного дренирования в хвостохранилище, представляет собой слой песка или сооруженные дренажные каналы, размещенные в основании хвостохранилища, для обеспечения возможности прохождения воды в горизонтальном направлении к месту расположения водоотливного насоса. Однако на длительном промежутке времени эффективная скорость вытекания воды из песка, расположенного на дне хвостохранилища, весьма ограничена. Обезвоживаются только хвосты, расположенные на расстоянии нескольких метров от песка, из-за низкой гидропроводности более удаленных хвостов и невозможности доступа воздуха для замещения содержащейся в них воды.

Таким образом, направление капиллярного дренирования не нашло широкого применения в горнорудной промышленности, даже в тех регионах, в которых вода, которая могла бы быть извлечена из хвостохранилища, имеет существенную ценность.

Аналогичная идея обеспечения слоя с высокой проницаемостью, чтобы способствовать обезвоживанию более тонкого слоя хвостов с низкой проницаемостью, расположенного выше, представляет собой ленточную фильтрацию, как это заявлено Bentley и др. (US3767050A). Фильтрация пульпы хвостов с низкой проницаемостью ускоряется путем размещения хвостов на нижележащем слое песка.

В другом сходном решении (US 9188389 B2, Ren и др.) использовались непрерывные параллельные слои хвостов тонких нефтяных песков, распределенные под действием силы тяжести над слоями другого материала основания с высокой проницаемостью, такого как песок, полученный в процессе очистки нефтяного песка, для повышения структурной целостности тонких хвостов.

Для сохранения этих параллельных слоев хвостов и песка, размещаемых гидравлическим способом и растекающихся под действием силы тяжести на протяженной площади, соответствующие пульпы обрабатывают перед укладкой химическими реагентами. Эта химическая обработка обеспечивает соответствующие углы отложения (углы откоса пляжа хвостохранилища) песчаной фракции и фракции хвостов для поддержания постоянной глубины этих двух фракций структуры и для обеспечения соответствия этого угла уклону территории, на которой планируется размещать отходы. Этот угол отложения обычно превышает 1%, причем верхнее и нижнее предельные значения, ограничиваются корректировками, достижимыми с помощью химической модификации соответствующих суспензий. Достижимая толщина слоя многослойной структуры обычно меньше 1 метра и ограничивается пороговой величиной времени обезвоживания, требуемого для достижения необходимой величины сдвиговой прочности перед добавлением следующего слоя. В течение этого времени обезвоживания слой с более высокой проницаемостью частично дренируется, в результате чего обеспечивается ненасыщенное основание, которое пригодно для частичного обезвоживания вышележащего слоя с низкой проницаемостью, так что повышается сдвиговая прочность составной структуры.

Следует отметить, что технологии обогащения фракции крупных частиц дорабатываются таким образом, чтобы отбрасывались более крупные частицы. Эти технологии обогащения фракции крупных частиц включают такие технические приемы как флотация крупных частиц (CPF, от англ. Coarse Particle Flotation) и выщелачивание очень крупных частиц, остающихся после CPF, для извлечения ценного компонента руды в более концентрированной форме, в случае более крупных частиц, получаемых в результате измельчения.

Этот песок, остающийся после CPF или после выщелачивания песчаных отвалов (SHL, от англ. Sand Heap Leach), содержит металл примерно в таком же количестве, что и традиционные хвосты, и, соответственно, этот песок направляется на длительное хранение, а не на дальнейшее измельчение для получения мелких частиц. Эта способность выработки остатков с более крупными частицами без ухудшения результатов извлечения ценного компонента открывает возможность для частичного извлечения воды из получаемых песчаных остатков. Например, увеличение размеров измельчаемых частиц в случае CPF приводит к получению отдельного потока пустой породы, которая может быть уложена в отвал как свободно дренируемые песчаные остатки с высокой проницаемостью.

Песчаные остатки CPF могут быть складированы отдельно, при этом они дренируются для обезвоживания до уровня 90% твердого материала (WO2017/195008), или же они могут быть смешаны в некоторой пропорции с традиционными хвостами для включения как можно большего количества хвостов в песок, так чтобы при этом еще сохранялась устойчивость отвала (WO2018/234880).

Поскольку обогащение по технологии CPF по-прежнему основывается на частичном обнажении ценных минералов и высвобождении пустой породы в процессе измельчения, то достаточное обнажение целевого минерала происходит только тогда, когда руда измельчается для получения частиц, размеры которых меньше размеров частиц песка средней крупности (обычно порядка 3-500 микрон). Если верхняя граница распределения частиц находится на уровне указанных размеров, когда при использовании процесса CPF может быть достигнут высокий коэффициент извлечения, то примерно 50-70% измельченной руды уже измельчена до размеров, соответствующих традиционным хвостам. Таким образом, даже при смешивании песка CPF с хвостами, как это указано в WO2018/234880, либо нужно будет пойти на снижение выхода продукта для обеспечения свободно дренируемой смеси, либо при таком смешивании может быть обеспечено лишь частичное складирование хвостов. Таким образом, проблема хранения хвостов остается нерешенной.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение относится к способу укладки отходов после измельчения и переработки руд, включающему следующие стадии:

разделение отходов переработки на водопроницаемую песчаную фракцию и фракцию хвостов;

укладка фракции хвостов и песчаной фракции для формирования многослойной структуры, ограниченной по меньшей мере одной ограничивающей стенкой, с песчаной фракцией, формирующей непрерывные песчаные каналы, проходящие через фракцию хвостов, для обеспечения возможности протекания воды, содержащейся в хвостах и в песке, под действием силы тяжести через песчаные каналы к водовыпускным отверстиям; и

вывод воды из водовыпускных отверстий.

Ограничивающая стенка представляет собой искусственное или естественное ограждение, выполненное из проницаемых или непроницаемых материалов, которое ограждает уложенные слои хвостов так, чтобы обеспечивалась возможность последующей укладки песчаных каналов и обезвоживания слоя хвостов.

После укладки песчаных каналов их покрывают слоем хвостов, которые укладывают гидравлическим способом.

Типичная песчаная фракция содержит частицы песка с размерами для р80, превышающими 150 микрон, предпочтительно превышающими 300 микрон и даже более предпочтительно превышающими 400 микрон, до 3000 микрон, и песчаная фракция свободно дренируется.

Под свободным дренированием понимается, что пески будут дренироваться до водоненасыщенного состояния под действием только силы тяжести и предпочтительно обладают способностью гидравлической укладки до любой высоты, причем вода вытекает из них под действием силы тяжести для формирования водоненасыщенного песка, обычно содержащего воду в количестве менее 15 мас. %.

Типичная фракция хвостов содержит частицы с размерами для р80 меньше 200 микрон, обычно меньше 150 микрон, и содержание в ней воды обычно находится в диапазоне от 30 до 70 мас. % (0,55-0,90 м³ воды на 1 м³ суспензии хвостов), в зависимости от систем перевалки хвостов, расположенных выше по потоку.

Фракция хвостов перед ее укладкой может обрабатываться химическими добавками, такими как хлопьеобразующие агенты, для повышения проницаемости слоя хвостов или для изменения угла естественного отложения (угла уклона пляжа хвостохранилища).

Предпочтительно по меньшей мере 50% песчаных остатков содержат частицы с размерами в диапазоне от 0,1 до 1 мм, предпочтительно более 70% и даже более предпочтительно более 90%.

Предпочтительно песчаные остатки содержат меньше 25% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм, предпочтительно меньше 15% и даже более предпочтительно меньше 10%.

Перед укладкой отвальных хвостов и/или песка они могут быть частично обезвожены.

В способе по настоящему изобретению слой хвостов укладывают гидравлическим способом, и вода вытекает из них в песчаные каналы, пока слой хвостов не достигнет структурной целостности, подходящей для укладки песчаного канала или песчаных каналов на поверхность слоя хвостов, после чего гидравлическим способом укладывают следующий слой хвостов поверх песчаного канала (каналов), и процесс продолжается для формирования многослойной структуры.

Песчаные каналы могут быть уложены гидравлическим способом или уложены с помощью механических средств в форме дренируемой твердой фракции.

Песчаные каналы могут быть уложены на предыдущий слой хвостов как основание для обеспечения возможности завершения укладки песка механическим оборудованием по всей поверхности хвостов.

Перед укладкой следующих песчаных каналов предыдущий слой хвостов может быть частично обезвожен, либо дренированием через предыдущие песчаные каналы, либо с помощью механического выдавливающего оборудования.

Песчаные каналы могут быть уложены с плавающего транспортного средства на поверхности хвостохранилища, покрытого водой.

В одном из вариантов ограничивающая стенка, расположенная на конце извлечения воды структуры, является водопроницаемой, и вода вытекает через стенку из выпускных отверстий.

В другом варианте ограничивающая стенка на конце извлечения воды структуры не является водопроницаемой, и воду удаляют из структуры путем выкачивания из центрального водовыпускного отверстия.

Предпочтительно для песчаных каналов обеспечиваются места притока воздуха, либо на конце укладки структуры, либо с помощью любых иных средств соединения с воздухом.

Обычно песчаные каналы размещают так, чтобы максимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала было меньше 10 метров, предпочтительно меньше 3 метров и даже более предпочтительно меньше 2 метров.

Песчаные каналы могут быть соединены по вертикали и по горизонтали для формирования трехмерной матрицы проницаемых каналов внутри хвостов.

Песчаные каналы могут иметь толщину в диапазоне от 0,05 до 2 метров, предпочтительно от 0,2 до

1 метра и даже более предпочтительно от 0,3 до 0,7 метра.

При создании структуры непрерывные песчаные каналы прокладывают по верхней поверхности слоя хвостов.

Фракцию хвостов, как правило, укладывают гидравлическим способом для обеспечения угла уклона пляжа хвостохранилища примерно от 0,5 до 2%, как правило, от 0,5 до 1%, предпочтительно порядка 0,5%, чтобы обеспечивался соответствующий наклон для потока воды, вытекающей под действием силы тяжести через песчаные каналы в выпускное отверстие.

По одному из вариантов песчаные фракции и фракции хвостов укладывают последовательно слоями для формирования слоев хвостов толщиной от 1 до 10 метров, и песчаных каналов толщиной в среднем от 0,05 до 2 метров.

В другом варианте песчаные фракции укладывают отдельными разнесенными в пространстве рядами, а фракции хвостов укладывают последовательно слоями для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 2 метров, обычно от 0,05 до 1 метра, и разнесенных на расстояние от 2 до 10 метров, как правило, от 2 до 5 метров.

Еще в одном варианте песок укладывают так, чтобы формировать вертикальные дренажные каналы с капиллярными свойствами из геотекстиля в слоях хвостов между верхним и нижним песчаными каналами. Это может быть достигнуто, например, в процессе формирования структуры путем перекрытия некоторых или всех песчаных каналов так, чтобы они формировали непрерывную вертикальную колонну песка, проходящую сквозь хвосты. Этого также можно достичь путем введения дренажных каналов с капиллярными свойствами на основе геотекстиля для соединения песчаных каналов друг с другом.

В другом варианте песок используется для создания внутренних и внешних песчаных валов. Валы могут быть разделены для формирования отдельных отсеков, которые заполняют гидравлическим способом хвостами до соответствующей высоты, и при этом обеспечивается возможность вытекания воды в нижележащие песчаные каналы и дальнейшего ее прохождения через проницаемые песчаные валы к водовыпускным отверстиям. Затем весь процесс укладки песчаных каналов и наращивания валов повторяют для формирования, в конце концов, требуемой высоты и формы структуры, состоящей из песка и хвостов.

Предпочтительно в процессе укладки в любой момент времени только три верхних слоя хвостов, более предпочтительно два верхних слоя хвостов и даже более предпочтительно верхний слой хвостов, насыщены водой, то есть, хвосты, в которых воздух еще не занял пространство пор между твердыми частицами, так что они остаются подверженными разжижению в случае приложенного давления. Насыщенный (водонасыщенный) грунт - это грунт, в котором пространство пор заполнено водой.

Песчаные каналы могут быть внедрены в существующие хвостохранилища для стимулирования уплотнения хвостов возле ограничивающей стенки.

Песок получают предпочтительно в отдельном процессе обогащения фракции крупных частиц, а хвосты получают из процесса традиционной флотации руды.

Процесс обогащения фракции крупных частиц включает флотацию крупных частиц, просеивание, гравитационное разделение, электростатическое разделение и магнитное разделение, как правило, флотацию крупных частиц.

В других вариантах песок получают при выщелачивании песчаных отвалов, а хвосты получают при традиционном выщелачивании с перемешиванием.

Изобретение также относится к площадке (полигону) обезвоживания отходов горного производства, содержащей:

по меньшей мере одну ограничивающую стенку;

многослойную структуру, ограниченную ограничивающей стенкой, причем многослойная структура содержит фракции хвостов и песчаные фракции, формирующие непрерывные каналы сквозь фракции хвостов для обеспечения возможности протекания воды, содержащейся в хвостах и песке, под действием силы тяжести по песчаным каналам; и

водовыпускные отверстия.

Типичная песчаная фракция содержит частицы песка с размерами для r_{80} больше 150 микрон, предпочтительно больше 300 микрон и даже более предпочтительно больше 400 микрон, до 3000 микрон, и песчаная фракция свободно дренируется.

Под свободным дренированием понимается, что пески будут дренироваться до водоненасыщенного состояния под действием только силы тяжести и предпочтительно обладают способностью гидравлической укладки до любой высоты, причем вода вытекает из них под действием силы тяжести для формирования водоненасыщенного песка, обычно содержащего воду в количестве менее 15 мас. %.

Типичная фракция хвостов содержит частицы с размерами для r_{80} меньше 200 микрон, обычно меньше 150 микрон, и содержание в ней воды обычно находится в диапазоне от 30 до 70 мас. % (0,55-0,90 м³ воды на 1 м³ суспензии хвостов), в зависимости от систем перевалки хвостов, расположенных выше по потоку.

Предпочтительно по меньшей мере 50% песчаных остатков содержат частицы с размерами в диапазоне от 0,1 до 1 мм, предпочтительно более 70% и даже более предпочтительно более 90%.

Предпочтительно песчаные остатки содержат меньше 25% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм, предпочтительно меньше 15% и даже более предпочтительно меньше 10%.

В одном из вариантов ограничивающая стенка, расположенная на конце извлечения воды структуры, является водопроницаемой, и вода вытекает через стенку из выпускных отверстий.

В другом варианте ограничивающая стенка на конце извлечения воды структуры не является водопроницаемой, и воду удаляют из структуры путем выкачивания из центрального водовыпускного отверстия.

Предпочтительно для песчаных каналов обеспечены места притока воздуха, либо на конце укладки структуры, либо с помощью любых иных средств соединения с воздухом.

Обычно песчаные каналы уложены так, чтобы максимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала было меньше 10 метров, предпочтительно меньше 3 метров и даже более предпочтительно меньше 2 метров.

Песчаные каналы могут быть соединены по вертикали и по горизонтали для формирования трехмерной матрицы проницаемых каналов внутри хвостов.

Песчаные каналы могут иметь толщину в диапазоне от 0,05 до 2 метров, предпочтительно от 0,2 до 1 метра и даже более предпочтительно от 0,3 до 0,7 метра.

При создании структуры непрерывные песчаные каналы прокладывают по верхней поверхности слоя хвостов.

Типичную фракцию хвостов укладывают гидравлическим способом для обеспечения угла уклона пляжа хвостохранилища в диапазоне примерно от 0,5 до 2%, как правило, от 0,5 до 1%, предпочтительно порядка 0,5%, чтобы обеспечивался соответствующий наклон для потока воды, вытекающей под действием силы тяжести через песчаные каналы в выпускное отверстие.

По одному из вариантов песчаные фракции и фракции хвостов уложены последовательно слоями для формирования слоев хвостов толщиной от 1 до 10 метров, и песчаных каналов толщиной в среднем от 0,05 до 2 метров.

В другом варианте песчаные фракции уложены отдельными разнесенными в пространстве рядами, и фракции хвостов уложены последовательно слоями для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 2 метров, обычно от 0,05 до 1 метра, и разнесенных на расстояние от 2 до 10 метров, как правило, от 2 до 5 метров.

Еще в одном варианте песок уложен так, чтобы формировать вертикальные дренажные каналы с капиллярными свойствами из геотекстиля в слоях хвостов между верхним и нижним песчаными каналами.

В другом варианте песок используется для создания внутренних и внешних песчаных валов. Валы могут быть разделены для формирования отдельных отсеков, которые заполняют гидравлическим способом хвостами до соответствующей высоты, и при этом обеспечивается возможность вытекания воды в нижележащие песчаные каналы и дальнейшего ее прохождения через проницаемые песчаные валы к водовыпускным отверстиям. Затем весь процесс укладки песчаных каналов и наращивания валов повторяют для формирования, в конце концов, требуемой высоты и формы структуры, состоящей из песка и хвостов.

Песчаные каналы могут быть внедрены в существующие хвостохранилища для стимулирования уплотнения хвостов возле ограничивающей стенки.

Песок получен предпочтительно в отдельном процессе обогащения фракции крупных частиц, а хвосты получены из процесса традиционной флотации руды.

Процесс обогащения фракции крупных частиц включает флотацию крупных частиц, просеивание, гравитационное разделение, электростатическое разделение и магнитное разделение, как правило, флотацию крупных частиц.

В других вариантах песок получают при выщелачивании песчаных отвалов, а хвосты получают при традиционном выщелачивании с перемешиванием.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 - схематический вид многослойной структуры по первому варианту осуществления изобретения;

на фиг. 2А, 2Б - схематические виды многослойной структуры по второму варианту осуществления изобретения;

на фиг. 3А, 3Б - схематические виды многослойной структуры по третьему варианту осуществления изобретения;

на фиг. 4А, 4Б - схематические виды многослойной структуры с отсеками по четвертому варианту осуществления изобретения;

на фиг. 5 - график, иллюстрирующий результаты лабораторных измерений высоты напора и сжатия материала для хвостов медных руд в Чили, иллюстрирующий соотношение проницаемость/коэффициент пористости, в отношении оценки высвобождения воды из уплотняющихся хвостов.

Подробное описание осуществления изобретения

В настоящем изобретении используется песчаная фракция остатков, получаемых в результате обо-

гашения руды, в новой структуре складирования и хранения отходов для извлечения большей части содержащейся воды и для улучшения геотехнической стабильности составной структуры, в то время как обеспечивается возможность продолжения существующей практики малозатратного гидравлического складирования отходов.

Путем размещения крупнозернистых и мелкозернистых остатков в структуре, содержащей непрерывные каналы водопроницаемого песка, пронизывающие слои хвостов, большая часть воды, содержащейся в хвостах, может вытекать в песок аналогично тому, как это происходит в традиционной фильтрации под действием силы тяжести. Песчаные каналы укладываются для обеспечения возможности перемещения воды к выпускному отверстию под действием силы тяжести.

Непрерывные каналы проницаемого песка располагают так, чтобы средняя длина пути для воды из любой точки хвостов до ближайшего песчаного канала облегчала перемещение воды с приемлемой скоростью из хвостов в песчаный канал, откуда она может быть выведена. Это расстояние от любой точки хвостов до ближайшего песчаного канала не превышает 10 метров, обычно не превышает 5 метров, и обеспечивает возможность эффективного обезвоживания хвостов за недели и месяцы. Чем меньше расстояние от хвостов до дренирующего песчаного канала, тем быстрее происходит обезвоживание.

В изобретении используется руда, которую измельчили для извлечения содержащегося в ней ценного минерала, а остатки разделили на песчаную фракцию и фракцию хвостов. При этом нет необходимости в дополнительных материалах, поскольку материал, необходимый для структуры остатков может быть получен в результате процесса обогащения. Хотя может использоваться дополнительный водопроницаемый материал, такой как пустая порода, или такие материалы как глина или геотекстиль для дополнения ограничительных стенок или песчаных каналов.

Воду извлекают из структуры после ее перемещения по этим песчаным дренажным каналам с последующим вытеканием через проницаемые стенки обваловки или с откачиванием ее из центрального водовыпускного отверстия. Вода выводится для возвращения и повторного использования, или же ее сбрасывают регулируемым образом в окружающую среду при условии, что качество воды соответствует действующим стандартам на сбрасываемую воду.

Перед складированием хвостов с низкой водопроницаемостью в них могут быть добавлены химические хлопьеобразующие агенты для повышения гидропроводности и, соответственно, скорости обезвоживания хвостов.

Интенсивность вытекания воды в песчаный канал выше на начальных стадиях дренирования хвостов, и затем она уменьшается в течение месяцев и даже лет, так как вода в окружающих хвостах постепенно замещается воздухом.

Начальное быстрое обезвоживание обеспечивает возможность каждому слою хвостов достигать структурной целостности, подходящей для укладки песчаных каналов на поверхности слоя хвостов. Затем на песчаные каналы может быть уложен следующий слой хвостов, и процесс продолжают для создания многослойной структуры.

Окончательный дренаж структуры обеспечивает прочность, сравнимую с прочностью водонасыщенного грунта.

С соответствующей обваловкой, обеспечивающей удерживания верхних слоев уложенных хвостов, структура складированных отходов может быть адаптирована к рельефу местности, так что обеспечивается повышенная гибкость в выборе расположения места складирования отходов.

Как уже отмечалось, при получении песка из руды с использованием технологий обогащения фракции крупных частиц может сохраняться высокий коэффициент извлечения ценных элементов. Примерами таких технологий обогащения фракции крупных частиц являются флотация крупных частиц (CPF) или выщелачивание песчаных отвалов (SHL). Эти технологии обеспечивают получение достаточного количества песка с частицами подходящих размеров.

Например, при использовании технологии CPF для обогащения руд, содержащих медь, металлы PGM, золото или железо, в зависимости от характеристик высвобождения конкретной руды в процессе измельчения песчаные остатки составляют примерно 20-50% от исходной руды (песок/(песок + хвосты)). Частицы песчаных отходов процесса обогащения фракции крупных частиц обычно имеют размеры в диапазоне 100-600 микрон, а более мелкие частицы, которые могли бы понизить гидропроводность, удаляются из песка псевдооживлением, используемым в процессе CPF. Таким образом, остаточный песок процесса CPF является водопроницаемым и свободно дренируемым остатком.

20-50% водопроницаемого песка процесса CPF обеспечивают достаточно материала для обеспечения возможности перемещения воды к выпускным отверстиям, а также для создания такой обваловки хвостохранилища, которая может быть необходима.

Размеры частиц песка, получаемого после обогащения фракции крупных частиц и помещаемого в каналы, хорошо подходят для использования этого песка в качестве материала с капиллярными свойствами для обезвоживания хвостов.

Песок имеет высокую гидропроводность и хорошую проницаемость для воздуха, замещающего внутрипоровую воду. Он может обеспечивать перемещение воды на большие расстояния, даже при умеренном гидростатическом напоре.

Частицы песка достаточно малы, чтобы песок можно было укладывать гидравлическим способом, и при этом он оседает достаточно быстро, чтобы его можно было уложить в положении запланированного канала или просто распределить для формирования непрерывного, хотя необязательно однородного, слоя на поверхности хвостов.

Объемная плотность песка примерно такая же, что и плотность хвостов, так что смешивание слоев песка и хвостов при укладке и дренировании имеет ограниченный характер (например, объемная плотность песка или хвостов для медной руды, измеренная в точке насыщения, составляет обычно от 2,1 тонн/м³ до 2,5 тонн/м³).

Относительные размеры частиц песка и хвостов таковы, что мелкие частицы хвостов лишь с трудом могут проникать в пустоты между частицами песка, так что смешивание этих двух материалов имеет ограниченный характер в процессе укладки и последующего дренирования.

Границы раздела между песком и хвостами формируют зону эффективного "фильтра". Этот фильтр обеспечивает возможность выборочного протекания воды в песок, так же как это происходило бы через слой песка в устройстве механической фильтрации (напр., US3767050A).

Хотя песок предпочтительно получают в отдельном процессе обогащения фракции крупных частиц, также можно укрупнить измельчаемые частицы существующего процесса обогащения или выщелачивания, и затем отделить требующуюся фракцию песка от остальной части технологического остатка для формирования фракций песка и хвостов.

Песчаные каналы укладывают так, чтобы обеспечивалась возможность постоянного поступления воздуха для содействия вытеканию воды под действием силы тяжести из размещенных хвостов в регулируемое количество удобно расположенных внутренних отверстий сбора и отведения воды или через проницаемую обваловку во внешние водосборники. Непрерывный дренаж погруженных слоев хвостов в структуре поддерживается давлением вышележащих слоев хвостов и песка.

В конце срока службы шахты (рудника) структура может быть герметически закрыта для прекращения поступления воздуха, чтобы избежать какого-либо длительного кислотообразования.

Следует отметить, что в способе, предложенном Ren и др., ничего не предусматривается для обеспечения доступа воздуха или водовыпускных отверстий, чтобы содействовать извлечению воды, или другие механизмы для непрерывного вытеснения воды из погруженных слоев внутри структуры. В связи с низкой проницаемостью вышележащих хвостов дальнейшее непрерывное вытеснение воды из слоев с высокой проницаемостью будет ограничиваться, поскольку они будут закрыты. Итак, в то время как химическая обработка и составная структура с параллельными слоями, предложенные Ren и др., будут повышать предельное напряжение сдвига структуры хвостов нефтяных песков, чтобы соответствовать требованиям Директивы 74 Канады, извлечение воды из отходов горного производства в этом случае гораздо ниже, чем можно достигнуть с помощью других технологий, таких как фильтрация и сухая укладка хвостов. Далее, способ, в целом сходный с предложением Ren и др., невозможно было бы применить в традиционной разработке твердых пород, поскольку в этом случае в процессе измельчения и дальнейшей обработки не образуется песок с подходящей проницаемостью. Если бы использовалось достаточно крупное измельчение для получения достаточного количества песка, то традиционное извлечение ценных минералов было бы сокращено.

Способ по настоящему изобретению может обеспечивать снижение потерь воды в хвостах от существующих уровней порядка 0,5-0,55 м³/тонна хвостов чаще всего до уровней порядка 0,1-0,15 м³/тонна остатков. Поскольку потери воды в хвостах представляют собой основную часть всей воды, потребляемой в операциях переработки твердой породы, эта способность извлекать воды из хвостов представляет собой кардинальное изменение в общем потреблении воды в горнорудных работах.

Способы разработки и подготовки складирования.

Настоящее изобретение предусматривает несколько стадий, которые составляют способ извлечения воды и создания устойчивых элементов ландшафта из отходов:

получение из перерабатываемой руды отдельного песчаного остатка с подходящим размером частиц и фракции хвостов;

раздельная укладка фракций песчаного остатка и хвостов для формирования непрерывных песчаных каналов внутри всего объема хвостов;

структурирование песчаных каналов для обеспечения возможности вытекания воды под действием силы тяжести к водовыпускным отверстиям;

отведение воды из этих выпускных отверстий для обеспечения непрерывного дренажа хвостов;

постепенное наращивание структуры, состоящей из песчаных каналов и хвостов, и использование веса вышележащего песка и хвостов для ускорения обезвоживания уложенных хвостов на нижних уровнях.

Ниже приводятся различные примеры (без ограничения изобретения конкретными вариантами) для иллюстрации некоторых возможных решений структуры и различных способов, с использованием которых может быть создана структура.

Ограничивающие стенки/валы, которые окружают всю структуру, могут иметь различные формы.

В одном из вариантов изобретение может использоваться с ограждающим сооружением типа дам-

бы, которое издавна использовалось в хвостохранилищах. Этот вариант обеспечивает возможность высокой степени извлечения воды. Лишь небольшая часть всех хвостов подвергается разжижению в любое время, в результате чего снижается возможность поступления воды в стенку дамбы, так что исключается возможность катастрофического разрушения стенки. В этом варианте повышается безопасность конструкции стенки дамбы, расположенной выше по потоку. При окончательном закрытии рудника хвосты внутри ограждающей дамбы будут обезвоживаться, и хвостохранилище будет сравнимо с водонасыщенным грунтом позади устойчивого удерживающего откоса.

В другом варианте излишки песка могут использоваться для создания внутренних и внешних песчаных валов. Эти валы могут быть разделены для формирования отдельных накопительных отсеков для структуры. Такие отсеки заполняют гидравлическим способом хвостами до соответствующей высоты, и при этом обеспечивается возможность вытекания воды в нижележащие песчаные каналы и дальнейшего ее прохождения через проницаемые песчаные валы к водовыпускным отверстиям. Затем весь процесс укладки песчаных каналов и наращивания валов повторяют для формирования в конце концов требуемой высоты и формы элемента ландшафта, состоящего из песка и хвостов.

Использование отсеков обеспечивает возможность придания валам хранилища отходов такую форму, которая соответствует рельефу территории, подлежащей рекультивации. Например, может быть восстановлена растительность устойчивого элемента ландшафта для рекультивации выработанного участка территории или для другого использования, которое может быть полезно или привлекательно с эстетической точки зрения для местного населения.

В обоих вариантах воду собирают как в форме поверхностных стоков в процессе гидравлического складирования, так и из водовыпускных отверстий песчаных каналов. Затем вода может перекачиваться в подходящее водохранилище, для повторного использования или для сброса.

При создании структуры непрерывные песчаные каналы прокладывают по верхней поверхности слоя хвостов. Угол естественного отложения хвостов (откоса пляжа хвостохранилища), например 0,5% обеспечивает достаточный наклон для последующего вытекания воды под действием силы тяжести через песчаный канал. Верхняя поверхность уложенных песчаных каналов не должна быть параллельна нижней поверхности, которая формируется с углом отложения уложенных хвостов.

Непрерывные песчаные каналы также могут иметь различные формы.

В одном из вариантов песок может быть уложен отдельными рядами, расположенными на расстоянии нескольких метров друг от друга и покрывающими порядка 20% поверхности хвостов, или же в другом варианте песок укладывают так, чтобы каналы соединились и, соответственно, формировали сплошной, но необязательно однородный, песчаный слой на поверхности хвостов.

Ключевым признаком структуры для любого варианта является непрерывность песчаных каналов для обеспечения возможности беспрепятственного прохождения воды через песчаный канал к водовыпускному отверстию.

Также существуют возможные вариации толщины как песчаных каналов, так и слоев хвостов в структуре.

Предпочтительный вариант для конкретного рудника будет зависеть от гидропроводности песка и хвостов, состоящих из мелких частиц, а также от территории, на которой будут складироваться отходы.

Толщина песка в каждом канале обычно будет больше 0,05 метра и предпочтительно больше 0,5 метра для обеспечения достаточной интенсивности дренажа через песок к водовыпускному отверстию и для предотвращения заиливания песчаного канала. Эта толщина песчаного канала может быть легко обеспечена в пределах количества песка, получаемого в процессе обогащения фракции крупных частиц, при этом нет ограничения верхнего предела толщины песка в канале.

Глубина каждого слоя хвостов будет зависеть от гидропроводности хвостов и от времени, имеющегося до момента добавления следующего слоя хвостов. Скорость уплотнения зависит от гидропроводности и в большинстве вариантов она определяет минимально приемлемое время для дренажа хвостов, прежде чем добавляется следующая группа песчаных каналов. Это в свою очередь устанавливает максимальную скорость наращивания структуры, которая может работать без необходимости в полностью сооруженной стенке ограждающей дамбы.

Под действием давления вышележащих хвостов вода может вытекать в песчаные каналы, расположенные выше, ниже или сбоку от хвостов.

Для типичных хвостов медных руд минимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала будет, как правило, в диапазоне от 1 до 4 метров. Однако для хвостов с более мелкими частицами, для которых желательно быстрое обезвоживание, толщина слоя хвостов может быть уменьшена. И наоборот, для хвостов, которые обезвоживаются гораздо легче, оптимальная толщина слоя хвостов может быть повышена, например, до 10 метров и даже больше.

Типичная структура, предлагаемая в изобретении, будет такой, что для большей части времени обезвоживания интенсивность выведения воды будет ограничиваться ее перемещением внутри слоя хвостов, а не прохождением через песчаные каналы к водосборнику.

Для обеспечения непрерывности песчаных каналов одна возможная альтернатива заключается в укладке этих песчаных каналов в многослойной сэндвич-структуре, ограниченной песчаной стенкой, пока-

занной схематично на фиг. 1. Многослойная сандвич-структура, показанная на фиг. 1, содержит хвосты, уложенные слоями 10, с песком, уложенным в песчаные каналы 12, расположенные между слоями хвостов, с ограничивающей пористой стенкой 14 из песка или пустой породы. Вода 16 вытекает по песчаным каналам 12, далее проходит через пористую песчаную стенку 14 и собирается в водосборнике 18. Хвосты в слое 10А, расположенном в основании структуры, полностью уплотняются, в то время как хвосты в слое 10В, расположенном наверху, насыщены водой.

Во втором варианте через среднюю часть хвостохранилища может быть проложена группа отдельных горизонтальных песчаных каналов. Этот вариант схематически иллюстрируется на фиг. 2. Как показано на фиг. 2А, слои 10 хвостов уложены поверх пористых песчаных слоев 12, с местами 22 притока воздуха в песчаные слои 12. Как показано на фиг. 2Б, песок уложен отдельными рядами, расположенными на расстоянии нескольких метров друг от друга, в результате чего формируются отдельные каналы 12 в слоях 10 хвостов. Как показано на фиг. 2А, вода 20 стекает из слоев 10 хвостов в песчаные каналы 12, и затем под действием силы тяжести поток G воды проходит от конца D укладки к концу W извлечения воды многослойной структуры.

Третий вариант, показанный на фиг. 3, включает использование дополнительных вертикальных дренажных каналов с капиллярными свойствами для соединения песчаных каналов или слоев в трех измерениях для содействия более быстрой передаче воды через песок. Как показано на фиг. 2А, слои 10 хвостов уложены поверх пористых песчаных каналов 12, с местами 22 притока воздуха в песчаные слои 12. Как показано на фиг. 3Б, песок уложен отдельными рядами, расположенными на расстоянии нескольких метров друг от друга, в результате чего формируются отдельные каналы 12 с вертикальными дренажными каналами 24 с капиллярными свойствами в слоях 10 хвостов. Как показано на фиг. 2А, вода 20 стекает из слоев 10 хвостов в песчаные каналы 12, и затем под действием силы тяжести поток G воды проходит от конца D укладки к концу W извлечения воды многослойной структуры. На конце D извлечения воды расположен откачивающий насос 26, обеспечивающий выведение воды 20 из многослойной структуры. Эта трехмерная структура особенно полезна для очень больших площадей хвостохранилищ или же в тех случаях, когда песчаные каналы имеют малую толщину, и когда время, необходимое для прохождения горизонтального потока воды через песчаные каналы к водосборнику, может быть чрезмерным. Вертикальные дренажные каналы 24 содействуют прохождению воды сквозь отвал и по множеству песчаных каналов 12 в песчаный слой, расположенный в основании отвала, который может быть затем обезвожен.

Для любых возможных геометрических схем эффективная площадь фильтрации для выведения воды из хвостов в песчаные каналы велика по сравнению с любым мыслимым механическим способом фильтрации.

В других вариантах укладка песчаных каналов на слой хвостов может быть осуществлена различными средствами.

Песчаные каналы могут быть уложены гидравлическим способом, и при этом транспортирующая вода обеспечивает укладку песка и затем свободно стекает в самое нижнее место, из которого она может быть выведена. Низкая гидропроводность нижележащих хвостов минимизирует какое-либо влияние гидравлической укладки на общее содержание воды в хвостах частично обезвоженной нижележащей части структуры.

Размещение выпускных труб или гидравлических метателей песка в стратегических точках на площади большого хвостохранилища с их последующим продвижением обеспечивает возможность гидравлического покрытия нижележащего слоя хвостов под углом естественного отложения песка. Когда песчаный пляж хвостохранилища будет иметь требуемую толщину, укладываемую выпускную трубу или гидравлический метатель песка перемещают для формирования следующей части объединенной сети песчаных каналов. Песчаные каналы, уложенные последними, обеспечивают необходимую устойчивость грунта для оборудования, необходимого для перемещения выпускных труб или гидравлического метателя песка. Непрерывная укладка хвостов может продолжаться в других частях поверхности хвостохранилища, так что хвосты, в конце концов, будут уложены поверх песчаных каналов.

Упомянутые гидравлические метатели песка предлагаются на рынке. Песок с размерами частиц 350 микрон для р80 и содержанием воды порядка 40% может быть выброшен для укладки песчаных каналов на расстоянии порядка 50 метров.

В других вариантах укладка песка может осуществляться с помощью механических средств, таких как самосвалы и бульдозеры, или с использованием механических метателей песка.

После формирования песчаные каналы покрывают слоем хвостов, укладываемых гидравлическим способом так, чтобы минимизировать нарушение песчаных каналов на ранних стадиях укладки хвостов.

Для любого способа укладки целесообразно обеспечить безопасный доступ на поверхность слоя хвостов, уложенного самым последним, для облегчения укладки песчаных каналов.

Для этого вся площадь хвостов может быть разделена на отсеки, так что укладка хвостов может осуществляться в первом отсеке, в то время как во втором отсеке происходит дренаж поверхностной воды, чтобы подготовить его для механической укладки песка. Этот дренаж может быть ускорен с помощью оборудования, такого как Amphirool (ссылки 7, 8). В третьем отсеке осуществляется укладка песка.

На фиг. 4 схематически представлен пример. Как показано на фиг. 4А, в этом варианте используются три отсека Р1, Р2 и Р3. В отсеке Р1 уложен песок, и возведены валы. В отсеке Р2 стекает вода, и подготовлена устойчивая поверхность хвостов, и в отсеке Р3 уложены хвосты 10. Как показано на фиг. 4Б, структура содержит слои 10 хвостов, пористые песчаные каналы 12 с местами 22 притока воздуха, и вода 20 вытекает из каналов 12. Как показано на фиг. 4А, из отсека Р3 выводится поверхностная вода 30, из отсека Р2 выводится поверхностная вода и вода из каналов (суммарно 32), и из отсека Р1 выводится вода 34 из каналов. Как только в каждом отсеке завершается цикл укладки или дренажа, работы могут чередоваться друг за другом.

Еще один вариант укладки обычно используется в тех случаях, когда поверхность уложенных хвостов залита водой. Песок укладывают с помощью плавающего транспортного средства, так что песок падает в покрывающей воде на поверхность хвостов для формирования песчаных каналов. Как только сформирован непрерывный песчаный канал до водосборника, песок может быть покрыт другим слоем хвостов. После укладки хвосты изолируют поверхность дамбы от воды, погруженный песчаный канал может быть обезвожен вместе с нижележащим и вышележащим слоями хвостов. Хотя в этом варианте не достигается полное обезвоживание, однако при этом повышается плотность нижележащих хвостов, находящихся под водой.

Во всех вариантах внутри уложенных слоев хвостов и песка, внутрипоровая вода из хвостов эффективно фильтруется на границе раздела хвостов и слоя песка, так что вода очищается для повторного использования или для сброса.

Также могут быть варианты, в которых структура используется для решения дополнительных задач, помимо основных задач извлечения воды в устойчивой форме.

В хвостохранилище могут использоваться современные технологии сбора информации, такие как волоконная оптика и дистанционные измерения с дронов, для мониторинга содержания влаги в хвостохранилище в режиме реального времени, в результате чего обеспечивается определенный уровень надежности в отношении геотехнической целостности.

Такой улучшенный контроль означает, что зона складирования отходов может быть также использована в качестве буферного накопителя воды путем регулирования скорости очистки воды из водосборников.

Во втором варианте этого типа изобретение может использоваться для засыпки выработанных зон или в тех случаях, когда необходимо сформировать определенный ландшафт для эстетических или практических применений. В качестве примеров можно указать вписывание в естественный ландшафт, или формирование сельскохозяйственных земель, или создание рекреационных зон для использования местными жителями.

Изобретение также может быть использовано для дополнения существующих методик, связанных с хвостохранилищами, или для обеспечения стабильности старых хвостохранилищ. Критические места старых хвостохранилищ расположены рядом со стенками дамбы или внутри них, где зоны водонасыщенных хвостов могут вызывать разрушение стенки дамбы, в результате чего высвободятся большие количества содержащихся хвостов.

Избыточный песок из процесса обогащения фракции крупных частиц может быть выборочно помещен в обезвоживающие каналы, проходящие через старое хвостохранилище, например, путем бурения и заполнения скважин проницаемым песком. За счет обезвоживания этих каналов может быть снижено содержание воды в хвостах, расположенных близко к стенке.

Если необходимо более масштабное обезвоживание и уплотнение в старом хвостохранилище, то может быть продублирована в третьем измерении песчаная завеса из дренажных каналов капиллярного действия, расположенная дальше от стенки дамбы.

Для действующего хвостохранилища песчаные каналы, описанные в настоящем изобретении, могут быть просто уложены в каналы обезвоживания, расположенные возле стенки. В случае "двухмерной завесы" песчаных дренажных каналов капиллярного действия возле стенки дамбы вода будет вытекать из любых водонасыщенных зон в водосборник, откуда она может быть удалена из хвостохранилища. Таким образом, настоящее изобретение может обеспечивать обезвоживание самых критических зон в целях безопасности дамбы хвостохранилища, так что обеспечивается безопасное применение способов строительства дамбы, расположенной выше по потоку.

Как уже указывалось, предпочтительным процессом обогащения фракции крупных частиц является флотация крупных частиц (CPF).

В процессе флотации крупных частиц:

руды измельчают в измельчительном устройстве;

измельченную руду сортируют в сортировочном устройстве для получения отсортированной фракции, пригодной для дополнительного измельчения, отсортированной фракции, пригодной для флотации крупных частиц и отсортированной фракции, пригодной для флотации мелких частиц;

фракцию, пригодную для флотации крупных частиц, подвергают флотации крупных частиц для получения промежуточного концентрата и остаточного крупнозернистого песка;

остаточный крупнозернистый песок используют в качестве песчаной фракции для формирования

непрерывных каналов, проходящих через фракцию хвостов;

промежуточный концентрат измельчают до размеров частиц, пригодных для флотации мелких частиц;

затем отсортированную фракцию, пригодную для флотации мелких частиц, и измельченную промежуточную фракцию подвергают флотации мелких частиц для получения хвостов, содержащих мелкие частицы, которые уплотняют и укладывают, как это уже было описано.

С использованием этого процесса обогащения фракции крупных частиц сохраняются высокие уровни извлечения ценного компонента руды и производится остаточный песок в достаточных количествах и с подходящими размерами частиц.

Преимущества настоящего изобретения

Преимущества настоящего изобретения могут быть оценены в сравнении с фильтрацией и сухим складированием, или с традиционным способом складирования хвостов в хвостохранилищах.

В регионах с теплым и очень сухим климатом сухое складирование отходов осуществляется путем гидравлической укладки тонких слоев (обычно менее 30 см) неразделенных отходов из устройства сгущения до высокой плотности или из пастообразующего загустителя с последующим их высыханием в течение недель за счет испарения, после чего добавляют следующий тонкий слой отходов. При этой технологии вода не возвращается, и высота структуры ограничена. При использовании способа по настоящему изобретению высота многослойной структуры отходов может иметь высоту десятки метров, более 50 метров или более 100 метров.

Другой способ сухого складирования заключается в фильтрации отходов до приемлемого уровня содержания воды (обычно порядка 15 мас.%) с последующей механической транспортировкой твердой фракции в зону складирования и укладкой частично обезвоженных отходов. При этой технологии возвращается большая часть воды, однако капитальные затраты велики, и отфильтрованные отходы все-таки могут "выдавливаться", если интенсивность испарения недостаточна. Для таких отфильтрованных отходов необходимы плоские поверхности земли с большой площадью, или необходимо строить дамбу, ограждающую отфильтрованные отходы.

По сравнению с любым способом сухого складирования настоящее изобретение обеспечивает многочисленные преимущества. Эти преимущества включают: низкочувствительное гидравлическое складирование отходов; возвращение большей части воды; увеличенная скорость роста высоты отвалов; геотехническая устойчивость, необходимая для возведения более высокой структуры отходов, и способ, который менее чувствителен к изменениям рабочих и климатических условий.

По сравнению с традиционными хвостохранилищами настоящее изобретение также обеспечивает многочисленные преимущества.

Первое преимущество заключается в сокращении суммарного потребления воды. Внутрипоровая вода, содержащаяся в отходах, является основной формой потери воды в любом руднике. В зависимости от потерь на испарение потребление воды в отходах при использовании настоящего изобретения будет сокращено по меньшей мере наполовину, и скорее всего будет сокращено до примерно 20% потерь воды в традиционных хвостохранилищах. В частности, в тех регионах, где вода в дефиците, настоящее изобретение обеспечивает возможность проектирования и эксплуатации рудника с наименьшим потреблением воды на единицу выхода металла.

Вторым преимуществом является высота водоненасыщенных отходов, имеющих в любой момент времени в процессе складирования, в результате чего исключается возможность разрушения стенки и катастрофическое разжижение содержащейся массы отходов. Эта способность получения водоненасыщенных отходов уменьшает площадь территории, которая будет в перспективе нарушена для складирования отходов, и для некоторых рудников обеспечивается возможность размещения хвостохранилища гораздо ближе к перерабатывающему предприятию. Также обеспечивается повышенная безопасность при использовании ограничивающих валов выше по потоку.

Третьим преимуществом является долгосрочная устойчивость хвостохранилища. Содержание влаги и характеристики дренирования в способе по настоящему изобретению обеспечивают возможность доступа и восстановления растительности на поверхности структуры. Отходы дренируются в достаточной степени, чтобы их характеристики были аналогичны характеристикам других водоненасыщенных грунтов вокруг рудника. Содержание сульфидов в песчаных остатках будет уменьшено в процессе обогащения фракции крупных частиц. В конце срока службы рудника может предотвращаться какая-либо возможность выхода кислых шахтных вод путем перекрытия притока воздуха в песчаные каналы в хвостах.

Четвертое преимущество заключается в возможности засыпки выработанных площадей. В этом случае при открытой разработке месторождения будет обеспечиваться возможность последовательного процесса добычи руды и складирования песчаных каналов и слоев хвостов на старых или недавно выработанных площадях. При разработке месторождений в глубоких карьерах существует возможность извлечения и возвращения песка и хвостов, которые хранились отдельно, в выработанный карьер в конце срока службы рудника.

Пятое преимущество заключается в возможности складировать хвосты, а, может быть, хвосты и песок, гидравлическим способом без предварительной фильтрации и транспортировки и обеспечивать при

этом хвостохранилище с эффективным водосбережением (вода в форме "сухой воды"). Капитальные и эксплуатационные затраты на гидравлическое складирование, которое возможно по настоящему изобретению, существенно ниже затрат на фильтрацию и складирование с помощью конвейеров или самосвалов.

Шестое преимущество заключается в создании ценных элементов ландшафта с одновременным складированием отходов горных работ при соблюдении мер безопасности и сохранении окружающей среды. Это может иметь форму воссоздания первоначальной растительности, или формирования сельскохозяйственных земель или рекреационных территорий, или просто формирования более эстетически привлекательных элементов ландшафта.

Седьмое преимущество заключается в гибкости выбора места для хранения отходов на территории, прилегающей к перерабатываемому предприятию, в отличие от традиционных хвостохранилищ, для которых необходимо искать подходящую долину (котловину) для складирования отходов. В этом случае исключается необходимость в высокотратной стенке для ограждения отходов, которая должна быть спроектирована для удерживания разжижаемой суспензии в течение неограниченного срока.

Восьмое преимущество заключается в использовании части песчаных каналов для хранения воды для последующего использования и, соответственно, для демпфирования сезонных климатических изменений или других изменений доступа к воде.

Экспериментальные данные

Проводились эксперименты по извлечению ценных компонентов руды с использованием сочетания флотации фракции крупных частиц и традиционной флотации, так что фракцию песчаных остатков получали после флотации крупных частиц, а фракции хвостов получали после традиционной флотации для медной руды Чили и для руды металлов PGM Южно-Африканской Республики.

Для обеих руд испытания флотации фракции крупных частиц проводились для размеров частиц, для которых общее извлечение металла было сравнимо с извлечением, достигаемым при более тонком измельчении и традиционной флотации.

25% руды металлов PGM было извлечено из фракции песка, и 35% медной руды было извлечено в форме песка.

Распределение размеров частиц двух фракций, как указано ниже в таблице, иллюстрирует эффективное удаление мелких частиц из песчаного компонента, который получают при флотации фракции крупных частиц, в результате чего обе песчаные фракции имеют высокую проницаемость.

Взаимозависимость размеров двух фракций отвечает требованиям критерия фильтра Терцаги для сосуществования в качестве отдельных зон, без ухудшения проницаемости песка проникновением избыточного количества мелких частиц.

	Размеры частиц (в мк) для медной руды	Размеры частиц (в мк) для руды PGM
Песок, p80	600	280
Песок, p10	150	120
Хвосты, p80	200	100
Хвосты, p10	3	3
	Проницаемость для медной руды (м/сек)	Проницаемость для руды PGM (м/сек)
Хвосты	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$

Выполнялись измерения сжатия, оседания в результате дренажа, уплотнения и высоты напора для получения характеристик компонентов песка и хвостов обеих руд.

Влияние коэффициента пористости хвостов медной руды на проницаемость, определенное в результате этих измерений, показано на фиг. 5.

Выполнялось моделирование результатов измерений для расчета максимальной толщины слоя хвостов, который может быть уложен, при поддержании приемлемого времени уплотнения для сухой укладки структуры гидравлическим способом.

Это моделирование показывает, что 90% уплотнения должно произойти в течение 3 месяцев, для слоя хвостов медной руды толщиной 3 метра и слоя хвостов руды металлов PGM толщиной 10 метров.

Непрерывное обезвоживание будет снижать водонасыщенность песка и хвостов, превращая структуру в геотехнически устойчивый грунт.

Также для подтверждения лабораторного моделирования проводилась экспериментальная проверка для трехмерной структуры в увеличенном масштабе.

В плексигласовом квадратном резервуаре площадью 1 м^2 поместили три слоя хвостов толщиной 0,35 м и 2 слоя песка толщиной 0,2 м из отходов переработки руды металлов PGM и обеспечивали возможность вытекания воды из 4 выпускных отверстий, расположенных на каждом краю каждого слоя песка. Измеряли скорость уплотнения, внутривязкие давления, содержание воды и интенсивность вытекания воды для подтверждения результатов моделирования в немного увеличенном масштабе.

Этот эксперимент в увеличенном масштабе продемонстрировал возможность удерживания хвостов

в отдельных зонах в процессе укладки.

Этот эксперимент продемонстрировал также выход воды из прилегающих хвостов в слой песка, а также ее перемещение к водовыпускным отверстиям для достижения скоростей уплотнения, согласующихся с вышеописанной моделью.

Вода, выводимая из слоя песка, не содержала осадка.

Ссылки

1. Материалы конференции по хвостам и шахтным отходам, г. Ванкувер, Британская Колумбия, 2015, 26-28 октября.
2. WO2018/234880
3. WO2017/195008
4. US3767050A
5. ICOLD (Международный комитет по большим плотинам), 121 (2001), "Дамбы хвостохранилищ, Риск опасных происшествий ((Часть 2, стр. 17 -"Фильтрационная система закрытого дренажа является критическим объектом, который часто упускали из виду в прошлом, в результате чего возникали очень опасные уровни подземных вод внутри дамбы хвостохранилища. Как это хорошо известно, внешние откосы дамбы хвостохранилища очень чувствительны к уровню грунтовых вод. Капиллярный подъем воды выше измеренного положения уровня грунтовых вод может приводить к увлажнению хвостов в этой зоне до уровня, близкого к полному насыщению. Это состояние может приводить к неожиданно большим подъемам уровня грунтовых вод даже от небольших дождей".)
6. US 9188389 B2.

Содержание вышеуказанных ссылочных материалов включается ссылкой в настоящую заявку.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения воды из отходов после измельчения и переработки руд, включающий следующие стадии:

разделение отходов переработки на водопроницаемую песчаную фракцию и фракцию хвостов;

укладку песчаных фракций гидравлически или механически для формирования песчаных каналов и покрытие песчаных каналов фракциями хвостов, укладываемых гидравлически, так что фракции хвостов и песчаные фракции формируют многослойную структуру, ограниченную по меньшей мере одной ограничивающей стенкой, с песчаной фракцией, формирующей непрерывные песчаные каналы, проходящие через фракцию хвостов,

отличающийся тем, что

на краю упомянутых каналов формируют водовыпускные отверстия, при этом для песчаных каналов обеспечиваются места притока воздуха, либо формированием мест притока на конце укладки структуры, либо посредством любых других средств соединения с воздухом, обеспечивая возможность поступления воздуха для содействия протеканию воды в каналах под действием силы тяжести;

обеспечивают возможность протекания воды, содержащейся в хвостах и в песке, под действием силы тяжести в горизонтальном направлении через песчаные каналы к водовыпускным отверстиям; и извлекают воду из водовыпускных отверстий.

2. Способ по п.1, в котором песчаная фракция содержит частицы песка, размеры которых для р80 превышают 150 микрон, или превышают 300 микрон, или превышают 400 микрон.

3. Способ по п.1, в котором песчаная фракция свободно дренируется.

4. Способ по п.3, в котором вода вытекает из песчаной фракции под действием силы тяжести для формирования водоненасыщенного песка, который содержит воду в количестве менее 15 мас.%.

5. Способ по п.1, в котором фракция хвостов содержит частицы, размеры которых для р80 меньше 200 микрон или меньше 150 микрон.

6. Способ по п.1, в котором фракция хвостов содержит воду в количестве от 30 до 70 мас.%.

7. Способ по п.1, в котором фракцию хвостов перед укладкой обрабатывают химическими добавками для формирования слоя более проницаемых хвостов или изменения угла естественного отложения.

8. Способ по п.1, в котором по меньшей мере 50% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм, или по меньшей мере 70% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм, или по меньшей мере 90% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм.

9. Способ по п.1, в котором песчаные остатки содержат меньше 25% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм, или песчаные остатки содержат меньше 15% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм, или песчаные остатки содержат меньше 10% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм.

10. Способ по п.1, в котором на конце извлечения воды указанной структуры расположена ограничивающая стенка, которая является водопроницаемой, и вода вытекает из стенки через выпускные отверстия.

11. Способ по п.1, в котором на конце извлечения воды указанной структуры расположена ограничивающая стенка, которая не является водопроницаемой, и воду удаляют из структуры путем откачива-

ния из центрального водовыпускного отверстия в пределах указанной структуры.

12. Способ по п.1, в котором песчаные каналы размещают так, чтобы максимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала было меньше 10 метров, или песчаные каналы размещают так, чтобы максимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала было меньше 3 метров, или песчаные каналы размещают так, чтобы максимальное расстояние от любой точки в хвостах до ближайшего песчаного канала было меньше 2 метров.

13. Способ по п.1, в котором песчаные каналы соединены по вертикали и по горизонтали для формирования трехмерной матрицы проницаемых каналов внутри хвостов.

14. Способ по п.1, в котором фракцию хвостов укладывают гидравлически для обеспечения угла отложения в диапазоне примерно от 0,5 до 2%, или фракцию хвостов укладывают гидравлически для обеспечения угла отложения в диапазоне примерно от 0,5 до 1%, или фракцию хвостов укладывают гидравлически для обеспечения угла отложения, равного примерно 0,5%.

15. Способ по п.1, в котором песчаные фракции и фракции хвостов укладывают последовательно в слои с формированием слоев хвостов толщиной от 1 до 10 метров и песчаных каналов толщиной в среднем от 0,05 до 2 метров.

16. Способ по п.1, в котором песчаные каналы имеют толщину от 0,05 до 2 метров, или от 0,2 до 1 метра, или от 0,3 до 0,7 метра.

17. Способ по п.1, в котором песчаные фракции укладывают отдельными разнесенными в пространстве рядами и фракции хвостов укладывают последовательно слоями для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 2 метров и разнесенных в пространстве на расстояние от 2 до 10 метров, или для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 1 метра и разнесенных в пространстве на расстояние от 2 до 5 метров.

18. Способ по п.1, в котором песок укладывают так, чтобы формировать вертикальные дренажные каналы с капиллярными свойствами в слоях хвостов между верхним и нижним песчаными каналами.

19. Способ по п.1, в котором песок используют для формирования внутренних и внешних песчаных валов, которые разделяют для формирования отдельных отсеков, затем каждый отсек заполняют путем гидравлической укладки хвостов до соответствующей высоты, и вода может отводиться в нижележащие песчаные каналы и вытекать через проницаемые песчаные валы в водосборный бассейн.

20. Способ по п.19, в котором в любой момент времени в процессе укладки слоев только три верхних слоя хвостов насыщены водой.

21. Способ по п.19, в котором в любой момент времени в процессе укладки слоев только два верхних слоя хвостов насыщены водой.

22. Способ по п.19, в котором в любой момент времени в процессе укладки слоев только верхний слой хвостов насыщен водой.

23. Способ по п.1, в котором песок получают в процессе обогащения фракции крупных частиц, и хвосты получают в процессе традиционной флотации руды, и процесс обогащения фракции крупных частиц включает флотацию крупных частиц, просивание, гравитационное разделение, электростатическое разделение и магнитное разделение.

24. Способ по п.1, в котором песок получают в процессе выщелачивания песчаных отвалов и хвосты получают в результате традиционного выщелачивания с перемешиванием.

25. Система для извлечения воды из отходов после измельчения и переработки руд, содержащая: многослойную структуру, ограниченную ограничивающей стенкой, причем многослойная структура содержит фракции хвостов и песчаные фракции, формирующие непрерывные каналы сквозь фракции хвостов;

водовыпускные отверстия, расположенные на краю упомянутых каналов; и

места притока воздуха на песчаных каналах, выполненные либо на конце укладки структуры, либо посредством других средств соединения с воздухом, обеспечивая возможность поступления воздуха для содействия протеканию воды в каналах под действием силы тяжести и обеспечивая возможность протекания воды, содержащейся в хвостах и в песке, в горизонтальном направлении под действием силы тяжести через песчаные каналы к водовыпускным отверстиям.

26. Система по п.25, в которой песчаная фракция содержит частицы песка, размеры которых для р80 превышают 150 микрон, или превышают 300 микрон, или превышают 400 микрон.

27. Система по п.25, в которой песчаная фракция свободно дренируется.

28. Система по п.25, в которой фракция хвостов содержит частицы, размеры которых для р80 меньше 200 микрон или меньше 150 микрон.

29. Система по п.25, в которой по меньшей мере 50% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм, или по меньшей мере 70% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм, или по меньшей мере 90% песчаных остатков содержат частицы, размеры которых находятся в диапазоне от 0,1 до 1 мм.

30. Система по п.25, в которой песчаные остатки содержат меньше 25% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм, или песчаные остатки содержат меньше 15% материала с размерами частиц меньше

0,75 мм, или песчаные остатки содержат меньше 10% материала с размерами частиц меньше 0,75 мм.

31. Система по п.25, в которой максимальное расстояние от любой точки хвостов до ближайшего песчаного канала меньше 10 метров, или в которой максимальное расстояние от любой точки хвостов до ближайшего песчаного канала меньше 3 метров, или в которой максимальное расстояние от любой точки хвостов до ближайшего песчаного канала меньше 2 метров.

32. Система по п.25, в которой песчаные каналы соединены по вертикали и по горизонтали для формирования трехмерной матрицы проницаемых каналов внутри хвостов.

33. Система по п.25, в которой угол отложения фракции хвостов находится в диапазоне примерно от 0,5 до 2%, или угол отложения фракции хвостов находится в диапазоне примерно от 0,5 до 1%, или угол отложения фракции хвостов равен примерно 0,5%.

34. Система по п.25, в которой песчаные каналы имеют толщину от 0,2 до 1 метра, или песчаные каналы имеют толщину от 0,3 до 0,7 метра.

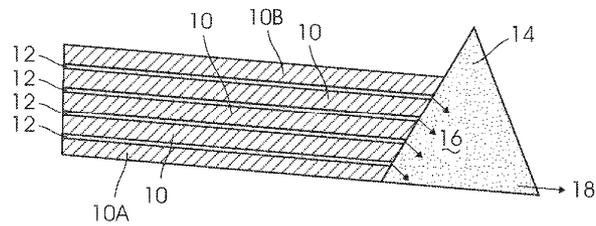
35. Система по п.25, в которой песчаные фракции уложены отдельными разнесенными в пространстве рядами, а фракции хвостов уложены последовательно слоями для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 2 метров и разнесенных в пространстве на расстояние от 2 до 10 метров, или для формирования слоев хвостов, имеющих толщину от 1 до 10 метров, и песчаных каналов, имеющих толщину от 0,05 до 1 метра и разнесенных в пространстве на расстояние от 2 до 5 метров.

36. Система по п.25, в которой песок уложен так, что сформированы вертикальные дренажные каналы с капиллярными свойствами в слоях хвостов между верхним и нижним песчаными каналами.

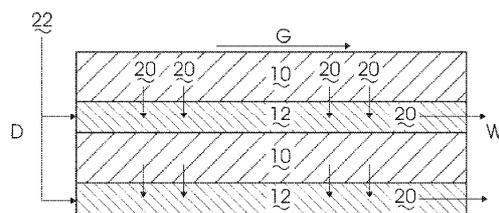
37. Система по п.25, в которой структура включает внутренние и внешние песчаные валы, разделенные для формирования отдельных отсеков.

38. Система по п.25, в которой песок получен в процессе обогащения фракции крупных частиц, а хвосты получены в процессе традиционной флотации руды, и процесс обогащения фракции крупных частиц включает флотацию крупных частиц, просеивание, гравитационное разделение, электростатическое разделение и магнитное разделение, как правило, флотацию крупных частиц.

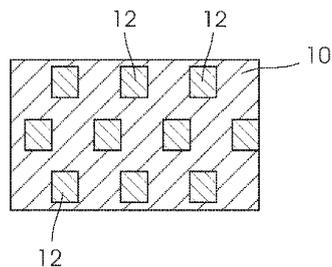
39. Система по п.25, в которой песок получен в процессе выщелачивания песчаных отвалов, а хвосты получены в результате традиционного выщелачивания с перемешиванием.



Фиг. 1



Фиг. 2А



Фиг. 2Б

