



ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ХВОСТОВ

Марин С.В.
Дубровская О.В.

Одной из наиболее насущных проблем при добыче и переработке полезных ископаемых во всем мире является соблюдение норм экологической безопасности. Горнодобывающими предприятиями и предприятиями цветной металлургии накоплены миллиарды тонн вскрышных пород, хвостов обогащения и сотни миллионов тонн металлургических шлаков. Но кроме увеличения количества таких отходов производства также остро стоит вопрос сокращения запасов свежей воды - одного из важнейших компонентов в процессе переработки минерального сырья. И вместе с тем ужесточается экологическое законодательство в направлении снижения вредного воздействия на окружающую среду.

Печально известны недавние катастрофы, случившиеся в Бразилии и Венгрии, так или иначе связанные с эксплуатацией хвостохранилищ, которые нанесли не только ущерб экологии, но и повлекли за собой человеческие жертвы.

4 октября 2010 года, из-за разрушения плотины, сдерживавшей резервуар с ядовитыми отходами на крупном заводе по производству глинозема в 160 километрах от Будапешта, возникла утечка более миллиона кубометров токсичного вещества - красного шлама. Разлившийся красный шлам затопил низко расположенные участки населен-

ВО ВСЕМ МИРЕ НАСЧИТЫВАЮТСЯ СОТНИ ПОДОБНЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

ных пунктов. В целом авария затронула территорию в 40 квадратных километров, а ее жертвами стали десять человек. Другое бедствие - прорыв дамбы в Брумадинью (Бразилия) - произошло 25 января 2019 года вследствие катастрофического повреждения хвостохранилища на железорудной шахте. Прорыв плотины случился в полдень, тогда же селевая масса накрыла административную территорию шахты, где обеда-

ли сотни рабочих. Вскоре разрушению подверглись все прилегающие к берегам объекты. Промышленная, гуманитарная и экологическая катастрофа привела к гибели 259 человек.

Любое горнодобывающее производство или металлургический завод требуют большого количества воды для технологических нужд. Вода, добавляемая в технологический процесс, перемешивается с твердыми веществами, и далее на каком-то этапе эти два материала необходимо разделить для повторного использования. Этот процесс сопровождается образованием жидких отходов, требующих утилизации. То, что не может быть утилизировано или повторно переработано, направляется для «временного» хранения в хвостохранилища и шламонакопители традиционного типа - ручкотворные озера несущие в себе потенциальную опасность.

“СТАРЫЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА СТАНОВЯТСЯ ИСТОЧНИКОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ”

Традиционные хвостохранилища до сих пор являются наиболее популярным способом складирования хвостов. При использовании традиционных хвостохранилищ высока вероятность просачивания растворов в грунтовые воды, что дополнительно увеличивает нагрузку на окружающую среду. По расположению на местности различают два основных типа хранилищ: равнинное и овражно-балочное. Равнинное хвостохранилище имеет возвышающуюся над общим уровнем прилегающей местности дамбу, ограждающую чашу хвостохранилища со всех сторон или по большей части периметра (в зависимости от орографических особенностей района). Овражно-балочное хвостохранилище расположено в естественном положении местности (овраг, балка), его дамба не возвышается над общим уровнем окружающей местности и ограждает чашу только с одной

стороны (в пониженной части рельефа). Старые хвостохранилища, выполненные без учета фильтрации и других факторов, также нередко становятся источником экологической опасности, в том числе, источником загрязнения почвенных вод и атмосферы.

после того, как она выполнила свою транспортную роль.

Например, в малодоступных или замкнутых регионах или сейсмически опасных местностях сухое складирование хвостов обогащения является оптимальным по следующим причинам:

- **Значительная экономия места по сравнению с традиционными хвостохранилищами;**
- **Минимизация рисков для окружающей среды (например, вследствие обрушения дамбы);**
- **Повторное использование очищенной технологической воды;**
- **Отвечает требованиям законодательства большинства стран.**

Альтернативные решения для хранения хвостов

Однако однозначно и быстро решить проблему традиционных хвостохранилищ невозможно. В каждом случае для определения наилучшего решения подбирается оптимальный метод хранения хвостов с учетом требований конкретной площадки. Поэтому используются и альтернативные методы хранения хвостов обогащения, которые, будь то пастовое хранение, или хранение сухих фильтр-кеков, набирают популярность. Для сухого складирования требуется минимальная площадь и самая высокая степень извлечения воды, а при использовании методов сухого складирования потребление предприятиями воды «извне» многократно сокращается. Такая технология позволяет возвращать воду в технологический процесс

Еще одним преимуществом сухого складирования являются проекты в зонах пониженных температур, что для российских реалий крайне актуально. Такой метод позволяет избежать смерзания жидких хвостов на этапе транспортировки по магистралям.



Новаторские технологии разделения Flottweg

При методе сухого складирования хвосты должны быть максимально обезвожены. На рынке представлены различные системы для обезвоживания горнопромышленных шламов и хвостов обогащения – пастовое сгущение и обезвоживание. Наряду с камерными фильтр-прессами и ленточными прессами в сфере решений для обезвоживания все активнее укрепляют свои позиции декантерные центрифуги.

Декантер представляет собой емкость для осаждения частиц. Под действием силы тяжести твердые частицы, более тяжелые чем жидкость, оседают на дно емкости, образуя осадочный слой. Например, декантер для вина можно рассматривать как своеобразный осветлительный резервуар. В центрифуге разделение твердой и жидкой фаз происходит под воздействием центробежной силы. Во вращающемся барабане центрифуги под воздействием центробежной силы твердые частицы, которые тяжелее жидкости, перемещаются к стенке барабана. Они образуют слой осадка на его внутренней поверхности. Поскольку центробежная сила в центрифуге составляет приблизительно 3000 x g вместо 1 x g при земной гравитации, разделение смесей, состоящих из твердых и жидких веществ, в центрифуге происходит намного быстрее и эффективнее.

Декантер представляет собой емкость для осаждения частиц. Под действием силы тяжести твердые частицы, более тяжелые чем жидкость, оседают на дно емкости, образуя осадочный слой. Например, декантер для вина можно рассматривать как своеобразный осветлительный резервуар. В центрифуге разделение твердой и жидкой фаз происходит под воздействием центробежной силы. Во вращающемся барабане центрифуги под воздействием центро-



Рис. 1. Декантер Z92 со шкафом управления и станцией приготовления флокулянта на единой платформе.

бежной силы твердые частицы, которые тяжелее жидкости, перемещаются к стенке барабана. Они образуют слой осадка на его внутренней поверхности. Поскольку центробежная сила в центрифуге составляет приблизительно 3000 x g вместо 1 x g при земной гравитации, разделение смесей, состоящих из твердых и жидких веществ, в центрифуге происходит намного быстрее и эффективнее.

Продукт, подлежащий разделению, подводится в загрузочную зону шнека декантера через центральную трубу. Здесь он разгоняется в сходящем режиме в направлении вращения шнека и поступает через отверстия в корпусе шнека в полость барабана декантера.

Барабан декантера имеет форму цилиндра, переходящего в конус, и вращается со скоростью, соответствующей конкретной задаче по разделению. В полости барабана продукт в поле действия центробежных сил распределяется по внутренней стенке барабана центрифуги, образуя концентрический слой. Твердые частицы, содержащиеся в продукте, осаждаются под воздействием центробежной силы на внутренней поверхности барабана. Длина цилиндри-

ческой части, а также угол конической части барабана могут быть изменены при изготовлении декантера с учетом конкретной задачи разделения.

Шнек декантера вращается с более низкой дифференциальной скоростью относительно барабана и продвигает осажденную твердую фазу в направлении конической части барабана. Данная дифференциальная скорость определяет время пребывания осадка в барабане декантера. Время пребывания твердой фазы в барабане является основным фактором, определяющим достигаемую степень обезвоживания. Степень обезвоживания может быть оптимизирована для каждой конкретной задачи разделения путем изменения дифференциальной скорости вращения шнека. Исполнение шнека определяется конкретным применением и задачей разделения.

Через разгрузочные отверстия в конической части барабана твердая фаза под действием центробежной силы попадает в разгрузочную камеру и сбрасывается вниз. Очищенная жидкость (жидкая фаза) течет к цилиндрической части барабана и выходит через отверстия в его крышке. В этих отверстиях находятся точно регулируемые

пластины («затворное устройство»), с помощью которых устанавливается уровень слоя жидкости («глубина пруда») в барабане. Далее фугат под воздействием центробежной силы попадает в неподвижную камеру и сливается самотеком.

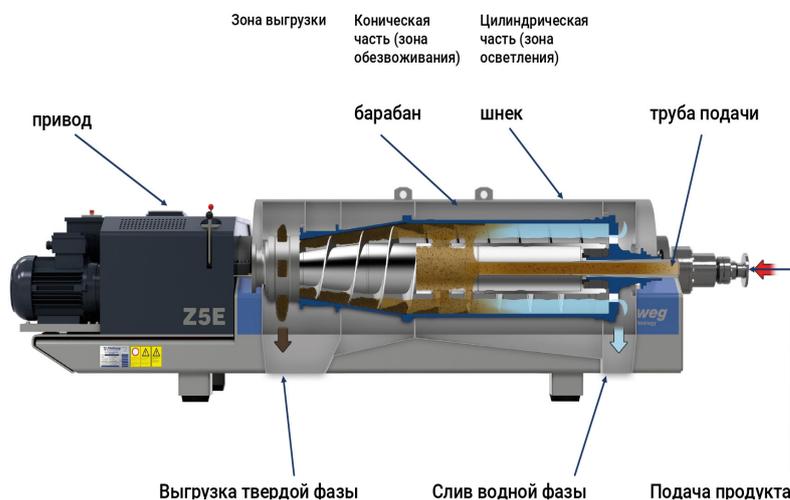


Рис. 2. Схема работы декантерной центрифуги

Сравнение технологий обезвоживания хвостов

Рассмотрим 3 основных типа оборудования, применяемого на сегодняшний день.

Ленточный вакуумный фильтр – один из вариантов обезвоживания хвостов, с помощью которого обработанный полимерными флокулянтами шлам с низкой концентрацией перекачивается в емкость для продукта и равномерно распределяется на ленте с узкими порами. Для обезвоживания шлам, находящийся на ленте, подвергается вакуумному воздействию.

Камерный фильтр-пресс представляет собой работающие в дискретном режиме напорные фильтры, разделяющие суспензии на твердые и жидкие вещества. Фильтр-прессы в качестве аппаратов для фильтрования с образованием осадка содержат фильтровальный пакет, образованный фильтрующими пластинами в раме, расположенной между фиксированной и подвижной крышками. Фильтрующая среда (ткань или мембрана) расположена между отдельными фильтрующими пластинами. Фиксированная крышка соединена с мостом посредством соединительной перемычки и тяги. Фильтрующий пакет прессует гидравлическим прессом, встроенным в мост и воздействующим на подвижную крышку. Давление пресования составляет от 250 до 600 бар. Такое высокое давление обеспечивает плотность фильтрующего пакета. Жидкость проходит через фильтрующую среду и выходит из пресса через дренажные каналы. Твердые частицы суспензии задерживаются фильтрующей средой и образуют фильтрационный осадок. По завершении цикла фильтрации пресс открывают и извлекают осадок. Если пресс не выполняет эту операцию автоматически (самоочищающийся камерный фильтр-пресс), давление медленно снижают, после чего открывают фильтр-пресс и вручную снимают осадок с фильтровальной ткани. Фильтровальную ткань необходимо регулярно промывать моющим средством, так как со временем она может засориться.

Декантер является системой непрерывного действия и способен обеспечить обезвоживание шлама добытой породы. В декантерной центрифуге жидкую и твердую фазу разделяют при помощи центробежного ускорения. Вследствие более высокой плотности твердые частицы в процессе работы накапливаются на стенке барабана и транспортируются с помощью шнека к разгрузочным окнам. В то же время осветленная жидкость стекает вдоль шнека в зону отведения жидкости.

	Ленточный вакуумный фильтр	Камерный фильтр-пресс	Декантер
Монтажные работы	☺☺☺	☺☺☺☺☺☺	☺
Пространство для размещения оборудования	↔↔↔	↔↔↔↔↔	↔↔
Техническое обслуживание	🔧🔧🔧	🔧🔧🔧🔧	🔧
Утилизация твердого остатка	☺☺☺	☺☺	☺
Вентиляция	☼☼☼☼	☼☼	☼
Вода	💧💧💧💧💧	💧💧💧	💧
Необходимый персонал	👤👤	👤👤👤👤	👤
Энергозатраты	⚡	⚡	⚡

Рис. 3. Сравнительная таблица оборудования для обезвоживания хвостов

Декантер – полностью автоматизированная и закрытая система. Он способен обрабатывать большие объемы продукта с высокой селективной способностью. Специальная гарантия защиты от износа декантерной технологии Flottweg, гарантирует низкий уровень эксплуатационных расходов и непродолжительность простоев.

Мы свели основные показатели трех технологий для обезвоживания хвостов в Рис.3.

Отдельно следует остановиться на требованиях к занимаемому пространству и массе оборудования. Работы по добыче полезных ископаемых и обработке руд часто проводятся в труднодоступных отдаленных местах, поэтому необходимость сэкономить пространство очевидна?). На рис. 3 представлены результаты сравнения размеров различных систем обезвоживания с гидравлической мощностью 100 м³/ч и полной нагрузкой 20.000 кг.

Кроме того, масса отдельных модулей также относится к факторам, влияющим на принятие решения при выборе

той или иной технологии.

Камерный фильтр-пресс	120 тонн
Ленточный вакуумный фильтр	65 тонн
Центрифуга	16 тонн

Рис. 5. Сравнение массы оборудования одной производительности

Также при анализе технологий важна их производительность. Для камерного фильтр-пресса и центрифуги она примерно одинакова. Центрифуга отделяет все частицы размером более 5 микрон. Для отделения более мелких частиц необходимо использовать полимерные флокулянты. При использовании камерного и ленточного фильтр-пресса такие средства обязательны.

Кроме того, центрифуга является единственной системой обезвоживания, гарантирующей непрерывность процесса. При использовании камерного и ленточного фильтр-пресса через некоторое время на фильтровальной ткани и ленте образуются отложения, что означает уменьшение пропускной способности дренажа и необходимость очистки системы.

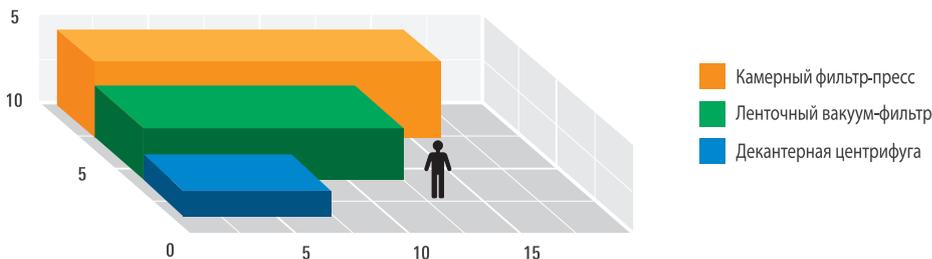


Рис.4. Сравнительный анализ пространства, занимаемого оборудованием



Рис. 6. Декантеры Z92 на месторождении «Тиебаги».

Остановимся на одном из примеров удачного применения декантерных технологий.

Проект на краю света

Месторождение никеля «Тиебаги» в Новой Каледонии расположено в горной местности с чрезвычайно малыми запасами воды, что в сочетании с хрупкой экосистемой региона привели к тому, что операторы рудника стали уделять большое внимание восстановлению технологической воды.

Первый опыт сотрудничества компании Flottweg из Нижней Баварии, специализирующейся на технологиях разделения, и операторами рудника состоялся в 2006 году. На сегодняшний день рудник потребляет 650 000 м³ пресной воды в год. Задача состояла в переработке использованной воды таким образом, чтобы ее можно было немедленно вернуть в технологический цикл.

После многочисленных испытаний и сравнения различного оборудования для обезвоживания операторы рудника (компания Eramet) сделали выбор в пользу декантерных центрифуг Flottweg. Всего за несколько месяцев было установлено восемь декантеров Z92-4 Flottweg. Модель Z92 – одна из крупнейших в мире декантерных центрифуг с диаметром чаши барабана 920 мм. Каждая машина обрабатывает 130 м³ в час. Доля твердых частиц в обработанном шламе хвостов составляет около 10 %. Добывающая компания высоко оценила достигнутый результат. Таким способом можно восстанавливать 98 % технологической воды ежедневно. Кроме того, операторы смогли избавиться от дорогостоящих дамб, одновременно исключив опасность их прорыва и связанные с этим риски для людей и природы.

Flottweg в России

Немецкий производитель технологий для механического разделения представлен на российском рынке уже более 30 лет, а с 2017 в г. Химки Московской области располагаются офисное здание, сервисный центр, склад оригинальных запасных частей и парк мобильных контейнерных установок для проведения опытно-промышленных испытаний на объектах заказчиков российского филиала компании.

За 30 лет работы в России и странах СНГ компания «Flottweg» ввела в эксплуатацию свыше 350 установок и реализовала около 60 проектов. В горнодобывающей отрасли в России и СНГ выполнен ряд проектов по обезвоживанию кислой биопульпы (Олимпиадинский ГОК, Полюс-Красноярск), обезвоживанию шахтных вод (АО Учалинский ГОК, УГМК), регенерации органического растворителя при экстракционном извлечении меди (Уралгидромедь, РМК и ТОО «Медная компания Коунрад», Казахстан), регенерация органического растворителя при экстракционном извлечении Кобальта (Кольская ГМК).

Перспективы и тенденции развития

В ближайшей перспективе законодательство, регламентирующее вопросы переработки хвостов, будет оказывать значительное влияние на выбор способа их складирования. Для обеспечения эффективности предприятий придется разрабатывать стратегии управления и эксплуатации хвостовыми хозяйствами, которые будут учитывать требования местных жителей и акционеров. Уже имеются технологии для достижения этих целей. При этом наилучшие результаты достигаются в том случае, если при определении оптимального

решения по складированию хвостов учитываются проектные риски и расходы в течение всего срока службы месторождения.

Использование центрифуг – отличный способ обезвоживания шлама или хвостов обогащения руд. Дорогую технологическую воду можно вернуть в технологический процесс за очень короткое время. Подачу свежей воды можно свести к минимуму. В то же время исключается возможность прорыва дамбы, что значительно снижает риски для людей и окружающей среды.

Центрифуги нуждаются в меньшем количестве воды для собственных нужд, и менее требовательны к обслуживанию для эффективного обеспечения процесса обезвоживания, а также имеют более низкую стоимость. Кроме того, центрифуги имеют значительно меньшие размеры, что облегчает их эксплуатацию в труднодоступных местах.

Результаты, полученные в Новой Каледонии и в рамках других проектов, показали, что при выборе правильной системы обезвоживания осушение хвостов может оказаться полезным и рентабельным делом.

Использование центрифуг для обезвоживания хвостов является жизнеспособной альтернативой существующим технологиям. Основываясь на значении таких факторов как воздействие на окружающую среду, потребность в пространстве и инвестиционных затратах, можно прогнозировать, что механическое разделение с помощью центробежной силы будет все больше и больше внедряться в современные процессы по добыче и обогащению полезных ископаемых. ■