

А.А. Бондаренко

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ ПРИ ИХ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧЕ

В результате выполненного обзора и анализа устройств для обогащения природных и техногенных песков установлена рациональность применения горизонтальных гидравлических классификаторов.

У результаті виконаного огляду і аналізу пристроїв для збагачення природних і техногенних пісків встановлена раціональність використання горизонтальних гідравлічних класифікаторів.

As a result of the executed review and analysis of devices for sands enriching rationality horizontal hydraulic classifiers application is set.

Обзор и анализ месторождений нерудных кварцевых песков, расположенных на территории Украины показывает, что подавляющее их количество обводнено.

Сложившиеся горно-геологические и гидрогеологические условия способствуют гидромеханизированной разработке таких месторождений с применением плавучих землесосных снарядов [1].

На этапе сравнения различных технологических схем, посредством которых они могут быть освоены, в ходе разработки экономико-математической модели карьера, по критерию минимальной энергоемкости или себестоимости единицы выпускаемой продукции, обоснованна рациональность применения плавучих земснарядов [2].

Природные нерудные пески по набору основных контролируемых физико-механических свойств (модуль крупности, процент глинистых и пылевидных частиц и др.) редко соответствует таким действующим сейчас в Украине нормативным документам как:

1. ДСТУ БВ.2.7-32-95 «Песок плотный натуральный для строительных материалов, изделий, конструкций и работ»;

2. ДСТУ БВ.2.7-29-95 «Мелкие заполнители натуральные, из отходов промышленности, искусственные для строительных материалов, изделий, конструкций и работ»;

В связи с этим, актуальным является вопрос применения различных технических и технологических средств для обогащения нерудных песков непосредственно в месте их разработки.

Обогащение нерудных строительных материалов предусматривает обычно отделение от песка крупных включений, например гравийных фракций, мелких пылеватых и глинистых (диспергированных) примесей, комовой глины, растительных включений и примесей ракушки.

Простейшим способом обогащения песков от глинистых примесей при гидромеханизированной разработке является складирование песков на карты намыва (рис. 1, 2).

Преимущества такого способа состоят в отсутствии капитальных затрат на приобретение обогатительного оборудования и необходимости высокой квалификации операторов. При правильном выборе параметров карты намыва можно добиться высоких показателей классификации материала. Однако данному способу разделения присущи следующие недостатки:

- значительный объем бульдозерных и экскаваторных работ с целью строительства и обслуживания первичной и попутных дамб обвалования;
- значительная площадь территорий, занятых под гидроотвал;
- необходимость строительства водоотводящих устройств;
- необходимость постоянной переукладки трубопроводов по мере намыва гидроотвала;
- постоянное изменение дальности гидротранспортирования и геометрической высоты подъема пульпы, приводящие к изменению эксплуатационных характеристик гидротранспортной системы;
- большие потери полезного ископаемого за счет разубоживания его накапливающимися в карте намыва глинистыми частицами.

Все выше перечисленное приводит к увеличению себестоимости добычи песков. Снижение эксплуатационных затрат на получение товарного песка возможно путем применения специальных обогатительных устройств.

Известно, что обогащение песков в условиях гидромеханизированного карьера может осуществляться следующими группами устройств: аппараты в которых разделение по крупности осуществляется путем грохочения; устройства, в которых разделение по крупности частиц происходит путем гидравлической классификации, то есть за счет различия в скорости их падения в воде, находящейся в покое или в движении.

Устройства для обогащения песков, добываемых гидромеханизированным способом можно классифицировать по следующим основным признакам:

- Грохоты:
 - неподвижные:
 - 1) колосниковые;
 - 2) дуговые;
 - 3) конические.
 - подвижные:
 - 1) вибрационные;
 - 2) вращающиеся.
- Гидроклассификаторы:
 - центробежные:
 - 1) гидроциклоны;
 - 2) шнековые классификаторы;
 - 3) цилиндрические классификаторы.
 - гравитационные:
 - 1) обогатительные конвейеры;
 - 2) конические;
 - 3) вертикальные;
 - 4) горизонтальные;
 - 5) спиральные;

б) корытные мойки.

Для отделения в исходной пульпе гравия, комков глины, мусора, ракушки и др. обычно применяют неподвижные грохоты, ввиду наличия движущегося потока гетерогенной смеси, обладающего кинетической энергией [3].

Колосниковый или плоский стационарный грохот малоэффективен и применяется только для отделения фракций более 100...150 мм. Такой грохот устанавливают с наклоном 30...40° к горизонту, что вызывает значительную потерю высоты. Единственным преимуществом колосниковых грохотов является простота их конструкции.

Отличительной особенностью дуговых грохотов является то, что их сито изогнуто по дуге окружности, радиус которой выбирается в зависимости от производительности грохота (Рис. 3). Грохоты этого типа пригодны для отделения песка и гравия, но имеют относительно малую (около 80%) эффективность грохочения.

Конические грохоты являются наиболее совершенными конструкциями неподвижных грохотов, эффективность которых составляет 85...95%, причем она возрастает по мере снижения концентрации пульпы, подаваемой на грохот (Рис. 4) [3]. К недостаткам конических грохотов относят чрезвычайно быстрый износ сит, являющийся результатом больших скоростей попадающего на них потока пульпы. Несмотря на такой недостаток, конические грохоты наиболее часто применяются для выделения из природных песчаных материалов и отходов дробления крупных фракций +3...5 мм.

Из подвижных грохотов на гидромеханизированных карьерах широко применяются только вибрационные грохоты.

С целью получения песка, отвечающего нормам по крупности зерен, содержанию глинистых частиц и других физико-механических характеристик все большее внимание уделяется гидравлическим классификаторам, так как доказано, что наиболее эффективным способом разделения песков на фракции различной крупности является гидравлический способ [3-5].

По принципу действия различают классификаторы, в которых процесс разделения осуществляется под действием гравитационных сил и сил сопротивления среды (конические, вертикальные, горизонтальные прямоточные, горизонтальные с изменяющимся рабочим сечением, спиральные, элеваторные классификаторы), и классификаторы, в которых помимо указанных сил действуют еще центробежные силы (гидроциклоны, конические центробежные, цилиндрические, шнековые классификаторы).

Принцип действия всех гравитационных классификаторов основывается на том, что частицы разной крупности (с одинаковой плотностью) осаждаются в воде с разной скоростью. В случае если процесс осаждения протекает в восходящем потоке, то частицы, скорость осаждения которых (гидравлическая крупность) будет меньше скорости восходящего потока, окажутся вынесенными вверх в составе мелкой фракции. Частицы с гидравлической крупностью большей скорости восходящего потока под действием силы тяжести опустятся вниз и составят крупную фракцию.

Из всего многообразия гидравлических классификаторов более основательно

остановимся на обзоре конструкций и принципе действия установок, применяемых непосредственно на карьерах с гидромеханизированной технологией разработки песков. Упомянем только, что ввиду громоздкости, стационарности исполнения, больших затрат на строительство и эксплуатацию непосредственно на карьерах не применяют такие устройства как: элеваторные классификаторы (багер-зумпфы), прямоточные пирамидальные и конические классификаторы, центрифуги, механические классификаторы отстойного типа и др.

При гидромеханизированных разработках до настоящего времени наибольшее распространение получили вертикальные классификаторы такие как: ВНИИГС типа ГКД-2, ВНИИжелезобетон типа ГКХ, ВНИИнеруд, «Реакс», ВНИИГС с крутопадающим потоком типа СК [3,4].

Представителем классификаторов с традиционной схемой работы является гидроклассификатор института ВНИИжелезобетон. Выпускаются классификаторы с маркировкой ГКХ-20, 40, 80, 120, 200. Схема устройства классификатора и принцип его работы показан на рисунке 5. Исходный материал, в виде пульпы, поступает по трубопроводу 1 в бак-дозатор 2 классификатора. В баке-дозаторе с помощью клапана 3 регулируется расход исходной гидросмеси, подаваемой в приемно-разделительную камеру 5.

Избыток гидросмеси, содержащей зерна крупнее 0,15 мм, сливаются в отвал по трубопроводу 4. Классификатор может быть выполнен и без дозатора. В случае отсутствия бака-дозатора исходная гидросмесь поступает в трубопровод 1а.

Пройдя диффузор 8 и неподвижную крыльчатку 7, поток исходной гидросмеси теряет скорость и получает вращательное движение, благодаря чему достигается более равномерное распределение его по кольцевому сечению приемно-разделительной камеры. Встретившись с поплавком 9 – конусом регулятора, поток гидросмеси изменяет направление движения и переходит из нисходящего в восходящий. В кольцевом сечении приемно-разделительной камеры достигается такая скорость, при которой крупные зерна осаждаются, а мелкие выносятся вверх по трубопроводу 13 наружу. Благодаря сетчатым цилиндрам-успокоителям 6, устроенным в приемно-разделительной камере при небольшой ее высоте, достигается быстрое осреднение скоростей потока гидросмеси по всему кольцевому сечению камеры. Зерна песка крупной фракции осаждаются вниз и попадают в классификационную камеру 10, выполненную в виде кольцевого пространства, образованного между регулятором и конической частью корпуса. Для более качественного отделения мелких зерен навстречу осаждающимся крупным зернам по водоводу 15 к кольцу 11 подается чистая вода. Разгрузка товарного песка осуществляется через камеру 12 и регулируется клапаном 14.

Особенность принципиальной схемы гидравлического классификатора ВНИИГС, отличающая его от большинства других конструкций, состоит в том, что ввод исходного материала осуществляется снизу (Рис. 6). В диффузоре 4 происходит снижение скорости восходящего потока пульпы, благодаря чему частицы крупной фракции начинают осаждаться в камеру классификации 5, представляющую собой кольцевое пространство между диффузором 4 и нижней цилиндрической частью корпуса классификатора.

Восходящий поток чистой воды в этой камере образуется подачей воды по патрубку 8, тангенциально подключенному к кольцевому коллектору, из которого вода в камеру классификации поступает через окна, сделанные в нижней его части. Система окон и тангенциальный подвод обеспечивают достаточно равномерное поступление воды в классификатор. В камере 5 восходящим потоком воды происходит разделение песка по заданному граничному зерну, причем крупная фракция попадает в сборник 3 и далее по патрубку 6 транспортируется на склад. Мелкие фракции восходящим потоком воды выбрасываются в обогатительную камеру 1 и далее через трубу 7, присоединенную к корпусу 2, выводятся из классификатора в шламоотстойник. Двухпродуктовые классификаторы ВНИИГС сохраняют удовлетворительную устойчивость режима работы при значительных колебаниях расхода исходной смеси. На базе классификаторов ВНИИГС разработана целая серия обогатительных аппаратов ГКД-2-100, 400, 800, 1200, 1600, отличающихся производительностью и габаритными размерами.

На принципе действия вертикальной классификации работают также классификаторы ВНИИГС с крутопадающим потоком (Рис. 7) [4]. Пульпа от землесосного снаряда поступает в верхнюю часть расширительной камеры аппарата, где скорость ее движения уменьшается. Далее в восходящем потоке крупные частицы песка осаждаются в нижнем конусе, а затем по разливочной трубе подаются на карту намыва или баржу. Более мелкие частицы из нижнего конуса восходящим потоком поднимаются по шести сливным колонкам в верхнюю часть аппарата и выходят по общей сливной трубе в шламоотстойник или за борт. На базе такого аппарата созданы конструкции обогатительных устройств типов СК-3, СК-6,5, СК-10.

Анализ конструкций вертикальных классификаторов показал, что вертикальная схема обогащения дает хороший результат только при выделении песка на границах 0,5 мм. Деление же более мелкого песка, к которому принадлежит подавляющее большинство природного полезного ископаемого, являющегося в настоящее время сырьем для строительной и стекольной промышленности происходит лучше в горизонтальных классификаторах.

Для обогащения исходного песчаного материала и сгущения пульпы на карьерах с гидромеханизированной технологией добычи и переработки активно применяются гидроциклоны (Рис. 8)[5].

Общий принцип работы гидроциклонов следующий. Пульпа в гидроциклон подается тангенциально и приобретает внутри циклона вращательное движение. Под действием центробежных сил наиболее крупные частицы прижимаются к стенкам циклона и удаляются в виде сгущенного продукта через выпускное отверстие. Основное количество пульпы, содержащей тонкий продукт, уходит в слив. В гидроциклоне имеют место внешний (нисходящий) и внутренний (восходящий) вращающиеся потоки. Режим работы гидроциклонов регулируется изменением размера выпускного отверстия насадки. Увеличение диаметра отверстия насадки дает более разжиженный крупнозернистый материал с одновременным снижением твердого в сливе и уменьшением размера граничного зерна. Уменьшение отверстия насадки позволяет получить крупнозернистый

материал более сгущенным, но при этом увеличиваются размер граничного зерна разделения и содержание твердого в сливе.

На базе технологии разделения материала под действием центробежных сил, возникающих при напорном движении пульпы в неподвижных аппаратах, разработано большое разнообразие сгустительно-обогащительных устройств: ГЦГ-1м, ГЦГ-1500, 2000М, 2000Ф, 4500 и др. (рис 9) [6].

Представленные аппараты работают на гидромеханизированных карьерах, обеспечивая выброс в слив от 40 до 98% воды из исходной гидросмеси и вместе со сливом удаляют пылеватые, илистые и мелкие органические примеси, а сгущенную пульпу под напором по трубопроводу направляют на карту намыва, склад готовой продукции или для дальнейшей переработки (Рис. 10).

Основными достоинствами гидроциклонов являются компактность, низкая металлоемкость, технологичность. Однако такие аппараты обладают существенными недостатками, заключающимися в значительном абразивном износе конструктивных элементов и необходимости подачи пульпы на вход с большим избыточным давлением. Указанные недостатки приводят к увеличению эксплуатационных затрат на обогащение полезных ископаемых в основном по статье «электроэнергия на технологические нужды» из-за необходимости обеспечения грунтовым насосом большего напора подаваемой гидросмеси.

Принцип действия разделения пульпы в центробежно движущемся потоке заложен также в конструкциях аппаратов, разработанных в лабораториях гидромеханизации ЛИВТа [4] и МГГУ (рис. 11) [7].

Конструктивно представленные аппараты имеют различия, однако принцип действия таких сгустителей аналогичен. Исходная пульпа, проходя в кольцевом пространстве между корпусом и потокообразующим цилиндром, вращается вокруг оси и одновременно перемещается вдоль оси аппарата по направлению к выходному патрубку. Возникающая при вращении потока центробежная сила вызывает радиальное перемещение твердых частиц, движущихся по спиральным траекториям. Мелкие частицы вместе с частью воды удаляются из аппарата по центральному патрубку и направляются в слив, а крупные частицы материала вместе с остальным количеством воды через выходной тангенциально расположенный патрубок направляются на карту намыва или на баржу для обезвоживания.

Аппараты описанной конструкции по опыту эксплуатации обеспечивают получение обогащенного песка с содержанием частиц меньше 0,15 мм до 5...8% при их наличии в исходном материале до 20%. Несмотря на небольшие размеры и массу рассмотренных аппаратов, им присущ значительный недостаток, заключающийся в интенсивном гидроабразивном износе отдельных элементов. А с учетом незначительной степени сгущения пульпы, такие устройства не получили распространения при гидромеханизированных разработках полезных ископаемых.

Для обезвоживания и попутного обогащения материала при гидромеханизированной разработке песков в настоящее время применяется обезвоживающе-обогащительные транспортеры (рис. 12) [3].

Обезвоживание и разделение материала таким устройством происходит

следующим образом (рис. 13). Пульпа поступает на отсадочный участок *a*, представляющий собой лоток трапецеидального сечения, образованный из транспортной ленты и соответственно поставленными боковыми роликами. В начале этого участка неподвижно установлена запрудная доска, препятствующая сливу пульпы в обратном направлении. На отсадочном участке осаждаются частицы крупнее 0,1 мм. Часть воды вместе с оставшимися в ней во взвешенном состоянии частицами мельче 0,1 мм сливается через запрудную доску в водоем, дальнейшее обезвоживание происходит на участке *b*.

Благодаря постепенному изменению углов наклона боковых роликов лента на участке обезвоживания постепенно распрямляется и даже принимает выпуклое очертание. Шаг роликов также изменяется.

Транспортный участок *c* аналогичен обычным транспортерам. Этот участок делается с подъемом 5-17°, что также способствует обезвоживанию.

Обезвоживающе-обогащительные конвейеры представленной конструкции устанавливаются на драгах «Гидрон» (Венгрия) [3].

В последнее время при обогащении песков на гидромеханизированных карьерах применяют технологические комплексы под общим названием корытная мойка (рис. 14). Принцип действия таких устройств можно описать в следующем виде (рис. 15). Исходная пульпа поступает на 2-х ситовой вибрационный грохот, где выделяется мусор и крупная фракция, а подрешетный продукт поступает в корыто и осаждается. При помощи шнека осажденный материал транспортируется к роторному колесу с закрепленными на нем ковшами. При вращении роторного колеса материал захватывается ковшами, обезвоживается благодаря сетчатым фильтрам, установленным в основании ковша, и разгружается в бункер отвального конвейера.

Полученный в результате обогащения продукт, складывается в конусные отвалы посредством отвальных ленточных конвейеров. Мелкодисперсные частицы, не успевшие осесть в корыте, вымываются из него в шламоотстойник в составе шламовых вод.

По критерию минимизации эксплуатационных расходов на переработку полезного ископаемого, добываемого гидромеханизированным способом, наиболее привлекательным является гравитационный способ обогащения в горизонтальном потоке пульпы. Такой способ реализуется в горизонтальных классификаторах (Рис. 16). Рассмотрим преимущества и недостатки горизонтальных гидроклассификаторов по сравнению с другими типами описанных выше аппаратов:

- горизонтальные классификаторы обладают меньшими габаритными размерами и, соответственно, меньшей металлоемкостью чем вертикальные. Это объясняется тем, что разделение материала в горизонтальном классификаторе обеспечивается при скорости потока пульпы большей, чем в вертикальном классификаторе;

- разделение пульпы в горизонтальном классификаторе не требует дополнительных затрат энергии, т.к. пульпа разделяется под действием гравитационных сил;

– не требуется подача в классификатор пульпы с большим напором как в гидроциклон. В связи с этим гидроабразивный износ в горизонтальном классификаторе практически отсутствует;

– выгрузка осажденного материала из классификатора может осуществляться как порционно, посредством затворов различных конструкций, так и постоянно с применением шнеков или элеваторов. Это обеспечивает высокую степень обезвоживания, достаточную для складирования полезного ископаемого в конусный или штабельно-кольцевой склад. При этом отпадает необходимость организации карт намыва.

Вывод

В результате обзора и анализа устройств для обогащения песков, применяемых при гидромеханизированных разработках, рассмотрены достоинства и недостатки каждого принципа обогащения и установлена рациональность применения горизонтальных гидравлических классификаторов.

Список литературы

1. Бондаренко А.А., Виноградова М.А., Холоменюк М.В. Анализ месторождений песчаных пород Украины.-
2. Бондаренко А.О. До питання побудови економіко-математичної моделі кар'єру для розробки обводнених родовищ пісків/ Науковий вісник НГУ.-2006.-№11.-С.16-20.
3. Шкундин Б.М. Машины для гидромеханизации земляных работ.- М.:Стройиздат,1982.-184с.
4. Дударев П., Сухарев В. Опыт обогащения песка при его добыче.-Водный транспорт.-№6, 1973.-С.36-38.
5. Бедрань Н.Г. Машины для обогащения полезных ископаемых. Учеб. пособие для вузов.-Киев-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1980.-416с.
6. Чудинов В.И., Волков В.Г., Жученко В.А. Авт. свид. № 294645. Бюллетень №7, 1971.
7. Кононенко Е.А. Научное обоснование гидровскрышных технологий, комплексно обеспечивающих формирование и сбережение ресурсов: автор. дисс. ... докт.техн.наук.- Москва, 1999.- 49с.

Рекомендовано д.т.н Франчуком В.П.