

## РАЗРАБОТКА ДЕЙСТВУЮЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

*Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Россия*

Большинства хвостохранилищ находятся в эксплуатации горно-обогатительными комбинатами. Разработка их механизированным способом невозможна, по причине обильного водопритока, нарушения устойчивости дамбы и возможности её прорыва.

В этой связи, решение задачи по разработке действующих хвостохранилищ позволит уже сейчас повысить конкурентоспособность предприятия и снизить себестоимость железорудного концентрата.

Горнодобывающее предприятие представляет собой комплексный источник негативного воздействия на окружающую природную среду. Распространение вредных веществ связано как с технологией добычи полезных ископаемых, так с получением полезного концентрата в процессе обогащения минерального сырья. Извлечение из недр огромных объемов горных пород и размещение вскрыши в отвалах, а отходов обогащения в шламо- и хвостохранилищах, затрагивают нарушениями значительные земли, как по площади, так и по глубине. При этом из-за несовершенства технологий в отходы попадает значительное количество полезных компонентов, которые, впрочем, могут быть вторично переработаны по мере развития научно-технического прогресса.

На основании этого фактора В.И. Вернадским было сформулировано понятие «техногенного месторождения», которое подразумевает собой скопление вторичных минеральных ресурсов, образовавшееся в результате складирования отходов производства и пригодное для разработки и производства товарной продукции в будущем по мере развития науки и техники. Однако применительно к большинству уже существующих отвалов и хвостохранилищ данное определение будет некорректно, поскольку при их формировании не учитывалась возможность их вторичной переработки. В отходах горного производства сконцентрированы громадные запасы полезных компонентов, представляющих большую ценность для восстановления минерально-сырьевого комплекса. Уже сейчас из отходов, находящихся в железосодержащих хвостохранилищах, можно извлекать железный концентрат с содержанием полезного компонента до 60%. Но разработка хвостохранилищ ограничена сложными горно-техническими и гидрогеологическими условиями их залегания.

На сегодняшний день известен способ разработки, подходящий для «обводненных» хвостохранилищ, с помощью земснаряда. Сущность этого способа заключена в том, что выемку лежалых хвостов производят земснарядом, разделяя их в гидроциклоне на крупную и мелкую фракцию. Складирование различных фракций осуществляют с помощью гидротранспорта, обезвоживание происходит в картах намыва, отгрузку обезвоженных мелких фракций осуществляют экскаватором в автотранспорт.

К недостаткам такого способа разработки «обводненных» хвостохранилищ можно отнести: валовую выемку хвостов из хвостохранилища, при которой извлекаются как кондиционный так и некондиционный песок; большие энергозатраты, связанные с разработкой «обводненного» хвостохранилища, быстрый износ основного оборудования; большое количество оборудования, связанного с разработкой.

В этой связи, в статье решаются задачи снижения энергозатрат, повышения эффективности разделения хвостов уже на стадии добычи и снижения количества техники, вовлекаемой в разработку. Предложенный способ позволяет существенно сократить затраты на разработку действующих обводненных хвостохранилищ а также снизить разубоживание хвостов [1].

Сущность этого способа заключена в создании наклонной системы осадительных траншей около действующего хвостохранилища, представленного на рис. 1.

Разработка действующего хвостохранилища, включает в себя разделение хвостов на фракции и отгрузку их экскаватором типа обратная лопата из железобетонных осадительных лотков в автотранспорт. Транспортирование только кондиционных песков позволяет в значительной степени снизить затраты на обогащение.

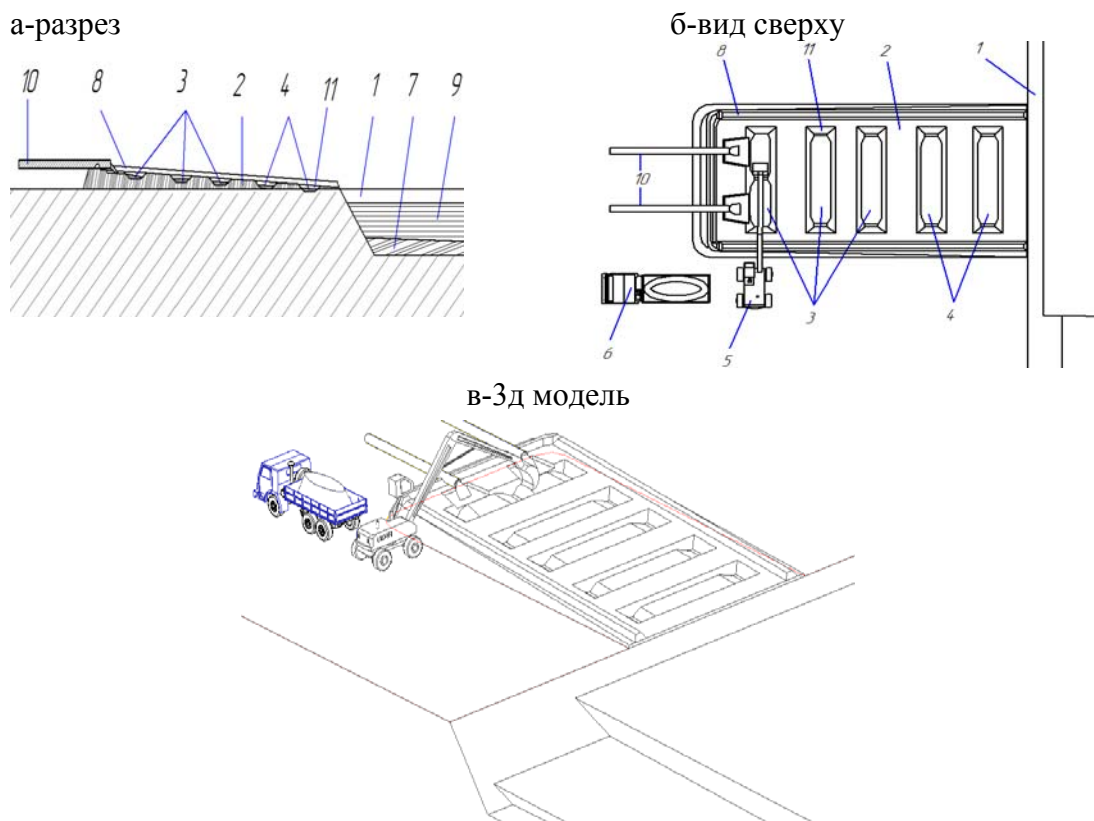


Рис. 1. Способ разработки действующего хвостохранилища

1- действующее хвостохранилище овражного типа; 2- система осадительных траншей; 3- тяжелая «богатая» фракция хвостов; 4- хвосты со средним содержанием полезного компонента; 5- выемочно-погрузочное оборудование («обратная лопата» Fuchs); 6- автотранспорт; 7- некондиционные хвосты с малым содержанием полезного компонента; 8- оградительная насыпь; 9- вода; 10- выпуск пульпы; 11- железобетонные «лотки».

Эффективность этого способа была изучена с помощью кластерного анализа [2], который является одним из важнейших результатов исследований инженерно-геологического районирования в системе осадительных траншей (железобетонных лотков).

Целью районирования является выделение зон (участков), имеющих по всей площади одинаковые или близкие свойства или закономерности их изменения. Например, для хвостохранилищ это могут быть: несущая способность, гранулярный состав, время достижения необходимой несущей способности, содержание ценного компонента в хвостах. Все это нужно учитывать для разработки технологии и способов использования этих участков как техногенных месторождений.

Как правило, критерий районирования достаточно сложен и не может быть определен каким-либо одним параметром или свойством объекта. В этом случае может вводиться расчетная характеристика, условно называемая «суперкритерием» или суперпозицией критериев и определяемая как:

$$\Phi(\tau) = A(\varphi_1(\tau), \varphi_2(\tau) \dots, \varphi_n(\tau)), \quad (1)$$

где  $\Phi$  - «суперкритерий»;  $\varphi_1, \varphi_2$  и т.д. - физические свойства объекта;  $A$  - математическая функция любого рода (система дифференциальных или линейных уравнений, элементарные математические действия и т.д), зависящая от численно определенных свойств объекта и определяющая в результате численное значение суперпозиции критериев.

В большинстве случаев получить математическое отображение критерия районирования достаточно сложно, поэтому разделение на участки в основном определяется опытом исследователя.

Современные методы районирования в основном базируются на принципе «последовательного сгущения». В этом случае при разбиении всей площади намывного участка на зоны каждая граница определяется отдельно, независимо от других. Практически находится такая



классу, максимально близки между собой, а объекты, принадлежащие разным классам хорошо разделены друг от друга. Уместнее судить о достаточной разнице между центрами кластеров, так как различие между двумя объектами, принадлежащими соседним классам, может быть меньше, чем между двумя объектами одного класса. Данная ситуация возникает при проведении границы кластеров между похожими измерениями. Исходя из упомянутого выше принципа компактности, уместно ввести количественную оценку качества кластеризации объектов. Простейшей оценкой будет отношение суммы дисперсий в каждом классе к дисперсии центров всех классов:

$$\Theta = \frac{\sum \sigma_i}{\Omega}, \quad (2)$$

где:  $\Theta$  - количественная оценка качества кластеризации;  $\sigma_i$  - дисперсия  $i$ -го класса;  $\Omega$  - дисперсия между центрами кластеров.

Процесс разбиения на группы также может выполняться различными способами, однако наибольшее распространение получили итерационные процедуры, которые позволяют найти наилучшее разбиение, ориентируясь на заданный критерий оптимизации. В начале последовательных итераций каждый объект является центром собственного кластера. Затем объединяются два наиболее схожих кластера, в рассмотренном случае находим наибольшее значение в матрице  $D$ , не лежащее на главной диагонали, и склеиваем  $i$  и  $j$  строки и столбцы, соответственно изменяется центр кластера и его меры сходства с остальными. Далее процедура повторяется до тех пор, пока не выполнится условие остановки итераций, в данном случае нам необходимо разбить все объекты на количество выделяемых зон в системе осадительных траншей (обычно выделяют основные две: лоток с тяжелой «богатой» фракцией хвостов, и со средним содержанием полезного компонента, а хвосты с низким содержанием уходя в тело хвостохранилища, так как они не пригодны для обогащения).

При проведении исследований на участках системы осадительных траншей важным фактором является определение пространственных и временных зависимостей изменения наблюдаемых параметров. Это позволяет значительно сократить объем изысканий. Существенным отличием техногенных участков системы осадительных траншей от естественных является тот факт, что большинство характеристик техногенного участка изменяется функционально, а не скачкообразно. Зная технологию намыва и свойства намывного материала можно с высокой степенью достоверности прогнозировать и пространственную, и временную изменчивость участка в системе осадительных траншей.

В процессе намыва происходит фракционирование осажденной пульпы по гранулярному составу [3], а также разделение ее на зоны с различным минеральным составом. Как фракционирование, так и разделение на зоны по минеральному составу происходит в результате того, что частицы горной массы имеют различную гидравлическую крупность. При выпуске пульпы в наклонную систему осадительных траншей, частица наряду с сохранением движения по оси потока начинает падать под воздействием силы гравитации, как представлено на рис.3.

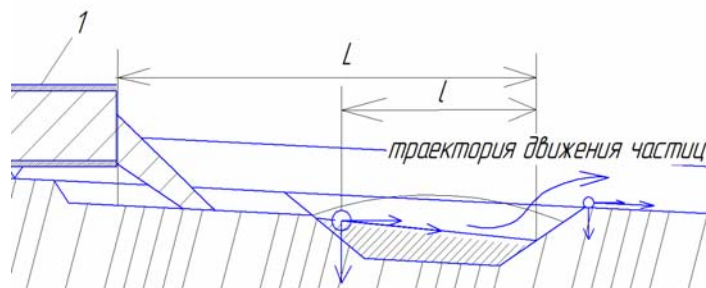


Рис. 3. Осаждение частиц породы: 1- пульповод; L,l - путь осаждения

В простейшем случае считаем, что на частицу будут действовать силы тяжести, выталкивания и трения. В векторном виде получим уравнение движения:

$$m \ddot{x} = m \vec{g} + \vec{F}_m + \vec{F}_\sigma, \quad (3)$$

С учетом того, что сила трения пропорциональна скорости частицы, а сила выталкивания равна  $V$  частицы, получим:

$$m \ddot{x} = m \vec{g} - k \dot{x} - \rho g V, \quad (4)$$

где  $\rho$  - плотность жидкости. Решая дифференциальное уравнение второго порядка в проекциях на ось  $OX$  получим, что длина пути осаждения частицы изменяется по экспоненциальному закону и зависит от массы частицы и жидкости, в которой происходит осаждение:

$$x = C_1 + C_2 e^{-\frac{k}{m}t}, \quad (5)$$

где:  $x$  - длина пути осаждения частицы, м;  $C$  - свободные величины;  $m$  - масса частицы, кг;  $k$  - масса жидкости, кг;  $t$  - время преодоления длины осаждения частицы, час.

Принимая за начало координат точку выпуска пульпы, получим, что при  $t = 0$  и  $x = 0$  соответственно  $C_1 = C_2$ . Отсюда:

$$x = C(1 - e^{-\frac{k}{m}t}), \quad (6)$$

Таким образом, изменчивость по фронту намыва подавляющего большинства параметров массива будет иметь степенную зависимость. При этом большое влияние на длину пути осаждения влияют форма, степень окатанности частицы, но общая экспоненциальная зависимость сохранится.

На основе полученных результатов и опытных данных, была построена зависимость длины преодоления частицы от ее объемного веса [4] и угла наклона системы осадительных траншей как показано на рис.4.

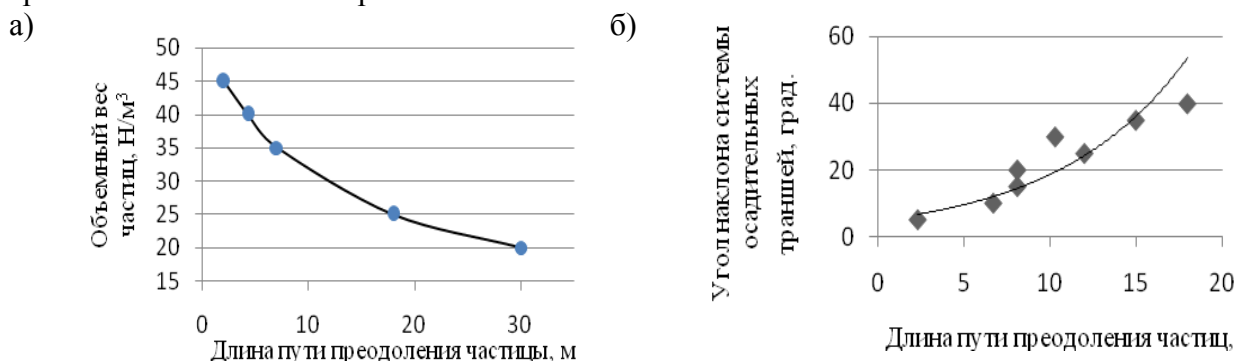


Рис. 4 Зависимость длины преодоления частицы породы от:  
а) объемного веса и б) угла наклона осадительных траншей.

По результатам расчетов можно сделать вывод, частица обладающая разным объемным весом может преодолеть разное расстояние по системе осадительных траншей. А также на нее может влиять и угол самой осадительной траншеи. Исходя из этого нами были установлены зависимости влияния объемного веса частицы на преодолеваемую длину и угла системы осадительных траншей.

Данные исследования позволят производить разработку действующих хвостохранилищ механизированным способом и извлекать железный концентрат с содержанием полезного компонента до 60%.

#### Список литературы

1. Способ разработки хвостохранилищ. Решение о выдаче патента на изобретение №2011116152/03(024041) от 14.05.2012.
2. Ческидов В.В. Обоснование сети мониторинга техногенных массивов с использованием принципов кластерного анализа / Ческидов В.В. // Проблема освоения недр в 21 в. Глазами молодых. – Москва, ИПКОН 2009.
3. Нурок Г.А. Технология и проектирование гидромеханизации горных работ. - М.: Недра, 1965.
4. Аргимбаев К.Р. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ / Холодняков Г.А., Аргимбаев К.Р., Иконников Д.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень – Москва: Горная книга, 2011. - С. 93-98.