УДК 622.17

В.И.ЭКГАРДТ, *д-р техн. наук, генеральный директор, spmi@mail.wplus.net*
ОАО «Воркутауголь»
В.В.КВИТКА, *д-р техн. наук, директор, spmi@mail.wplus.net*
НПК «Механобртехника», Санкт-Петербург
Г.А.ХОЛОДНЯКОВ, *д-р техн. наук, профессор,*
К.Р.АРГИМБАЕВ, *аспирант, diamond-arg@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.I.EKGARDT, *Dr. in eng. sc., general director, spmi@mail.wplus.net*
Vorkutaugol'Co
V.V.KVITKA, *Dr. in eng. sc., director, spmi@mail.wplus.net*
Mekhanobr'Co, Saint Petersburg
H.A.KHOLODNYAKOV, *PhD in eng. sc., professor,*
K.R.ARGIMBAEV, *post-graduate student, diamond-arg@mail.ru*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА РАЗРАБОТКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ОВРАЖНОГО ТИПА

В Российской Федерации около 40 % хвостохранилищ находится в эксплуатации горно-обогатительных комбинатов. Разработка хвостохранилищ механизированным способом невозможна, по причине обильного водопритока, нарушения устойчивости дамбы и возможности ее прорыва.

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

***Ключевые слова*:** хвостохранилище, экскаватор типа обратная лопата, хвосты, траншея.

RATIONALE FOR THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF EXISTING IRON TYPETAILING GULLY

In the Russian Federation, about 40 % of tailings dumps are in operation GOK. The development of mechanized impossible, due to heavy water production, the stability of the dam breach and the possibility of a breakthrough.

In this regard, the task of developing the existing tailings dumps will now increase the competitiveness of enterprises and reduce the cost of iron ore concentrate.

Key words: tailing dump, excavator «backdigger», tailing dump, trough.

Складируемые отходы горного и обогатительного производства являются потенциальными полезными ископаемыми. 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 горнотехническими 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

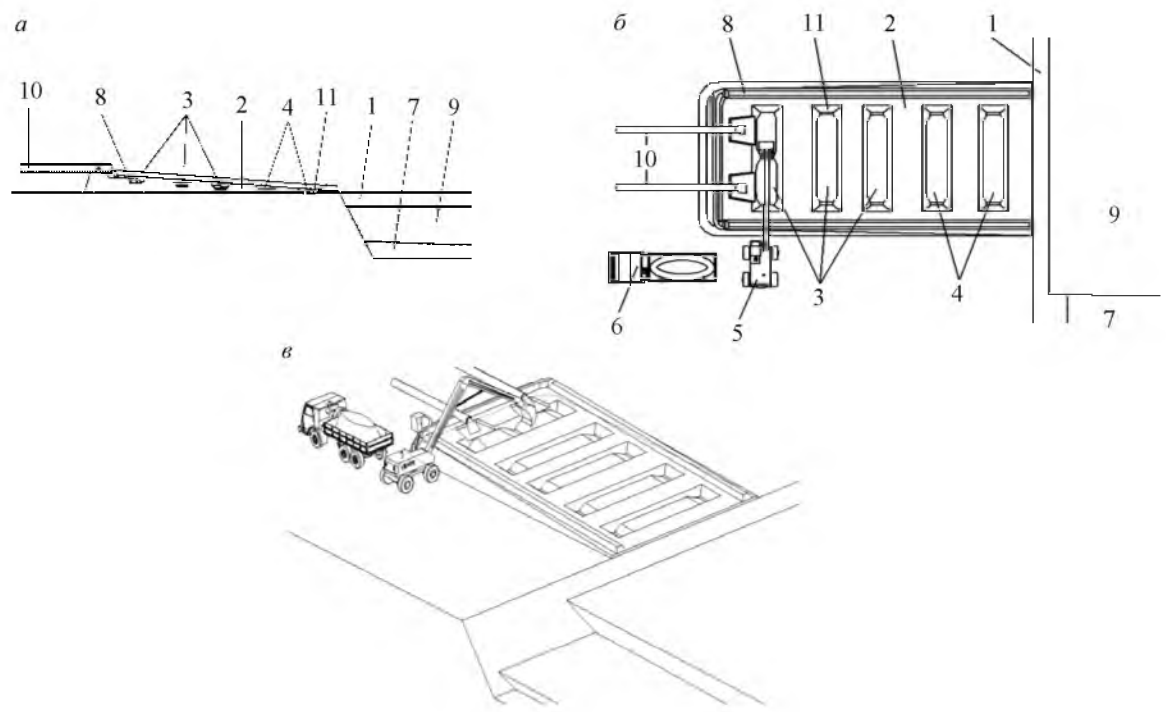


Рис.1. Способ разработки действующего хвостохранилища: *а* – разрез; *б* – вид сбоку; *в* – 3D-модель

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»

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.

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.

Эффективность этого способа была изучена с помощью кластерного анализа [3], 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 свой-

ством объекта. В этом случае может вводиться расчетная характеристика, условно называемая «суперкритерием» или суперпозицией критериев и определяемая как

$$\Phi(\tau) = A(\varphi_1(\tau), \varphi_2(\tau)..., \varphi_n(\tau)),$$

где Φ – «суперкритерий»; φ_1, φ_2, …, φ_n– 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 точка, значение параметра районирования в которой принимает либо заранее оговоренное значение, либо некоторое критическое – (максимум, минимум на рассматриваемом отрезке самого критерия или скорости его изменения).

В случае, когда исследование ведется квазиодновременно (считаем, что некоторая часть исследований была произведена в один и тот же промежуток времени), уместно производить моделирование намывного участка или же пространственной изменчивости некоторых его параметров. В этом случае определение границ принципиальных зон в наклонной системе осадительных траншей будет сводиться к итерационной модели. Каждая следующая последовательность действий состоит из добавления новых точек изъятия проб из железобетонных лотков и анализа полученных данных, на основании которого будет приниматься решение: при достижении требуемой погрешности следует остановка исследований, или их продолжение.

При проведении натурных исследований наблюдается множество показателей для одной пробы. Пусть имеется матрица наблюдений X размерностью $n \times m$, строки i которой соответствуют пробам $i = 1, 2, \ldots, n$ а столбцы j содержат конкретные показатели, $j = 1, 2, \ldots, m$ полученные в точке наблюдения i. При исследовании техногенных массивов возникает проблема невозможности сравнения проб, так как большинство показателей измеряется в различных шкалах. Для предотвращения этой ситуации необходимо ввести относительную шкалу схожести объектов между собой, тогда получим новую матрицу, симметричную относительно главной диагонали размером $n \times n$, каждый элемент которой будет показывать в относительных долях единицы, насколько элемент h похож на g. Такое преобразование выполняем с помощью метода информационных мер, общая схема которого представлена на рис.2.

Если полученные в результате такого преобразования данные понимать как точки в признаковом пространстве, то задача фактически сводится к разбиению проб на ряд подмножеств, количество которых может быть определено заранее или в процессе анализа. Каждая из групп в рассматриваемом случае будет являться единицей районирования.

Разбиение может проводиться различными способами (дисперсный анализ, классификация с помощью нейронных сетей, теория множеств, кластерный анализ и др.), в некоторых случаях уместно использовать несколько способов и затем производить сравнительный анализ результатов. Остановимся на наиболее простом и в тоже время универсальном способе – кластерном анализе, у которого существует ряд модификаций, которые однако принципиально не влияют на результат.

Важно отметить, что все алгоритмы кластеризации подчиняются гипотезе компактности, т.е. в используемом базисном пространстве объекты, принадлежащие одному и тому же классу, максимально близки между собой, а объекты, принадлежащие разным классам хорошо разделимы друг от друга. Уместнее судить о достаточной раз-

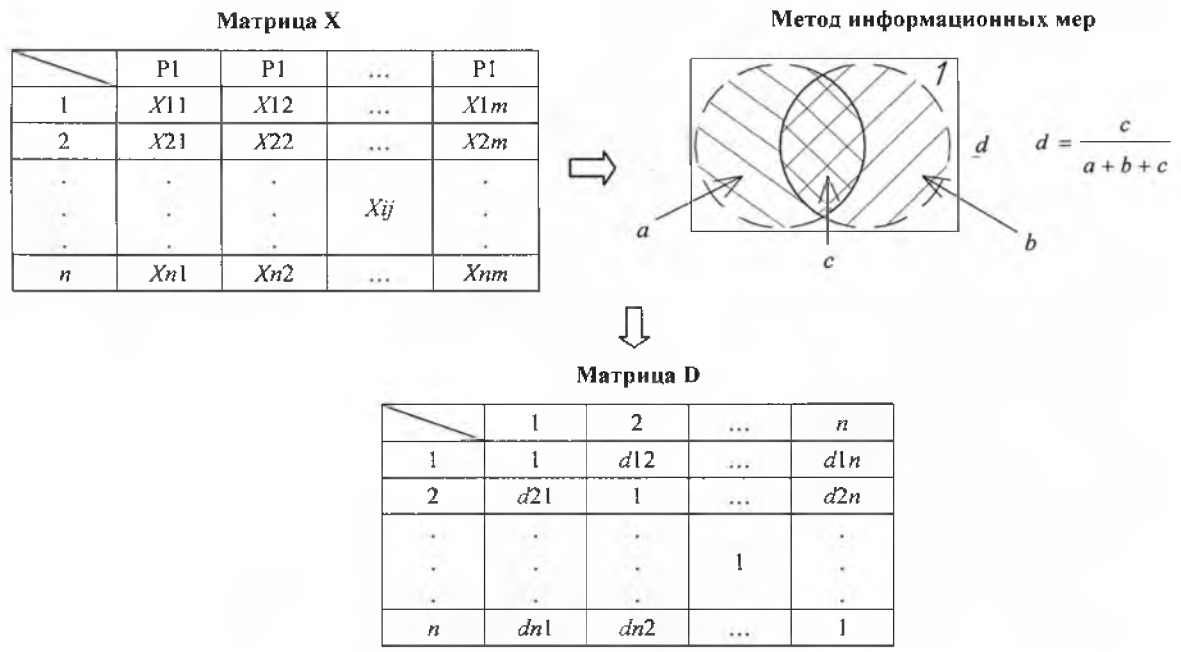


Рис. 2. Вычисление мер сходства между объектами

a – мера отличия первого объекта от второго; *b* – мера отличия второго от первого; *c* – относительная мера сходства между объектами; *d* – приведенная мера сходства

нице 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:

$$\Theta = \sum \sigma_i / \Omega ,$$

где Ω – 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

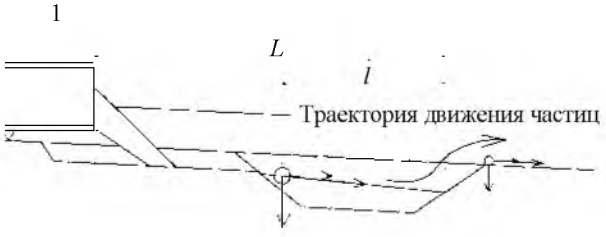


Рис.3. Осаждение частиц породы

1 – пульповод; *L*, *l* – путь осаждения

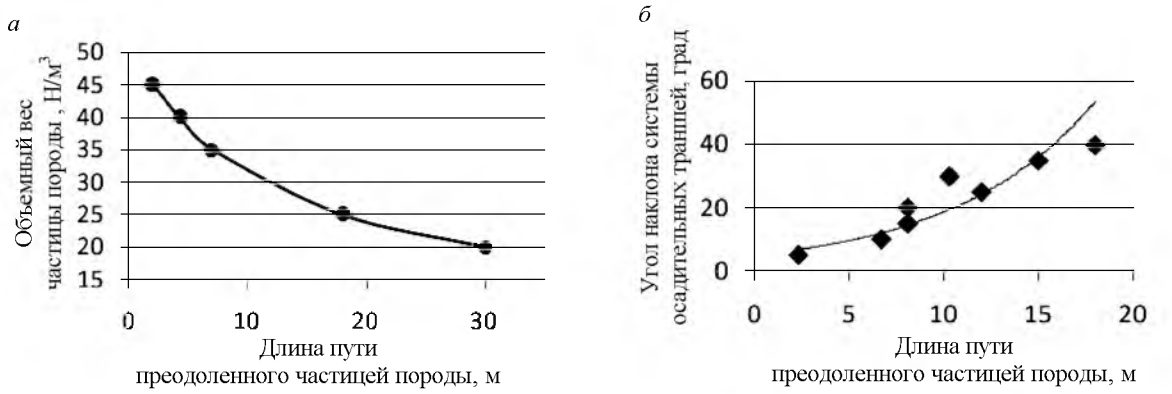


Рис.4. Зависимость длины пути, преодоленного частицей породы, от объемного веса (*а*) и угла наклона системы осадительных траншей(б)

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 [1], 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.

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

$$m\ddot{\vec{x}} = m\vec{g} + \vec{F}_m + \vec{F}\sigma .$$

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

$$m\ddot{\vec{x}} = m\vec{g} + k\dot{\vec{x}} + \rho\vec{g}V ,$$

где ρ – 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:

$$x = C_1 + C_2 \mathrm{e}^{-\frac{k}{m}t} .$$

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

$$x = C\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{k}{m}t}\right) .$$

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 пути, преодоленного частицей, от ее объемного веса [2] и угла наклона системы осадительных траншей, как показано на рис.4.

Таким образом, частицы, обладающие разным объемным весом, могут преодолеть

разное расстояние, на которую также может влиять и угол наклона самой системы осадительных траншей. Исходя из этого нами были установлены зависимости влияния объемного веса частицы на преодолеваемую длину и угол системы осадительных траншей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нурок Г.А.* Технология и проектирование гидромеханизации горных работ. М., 1965.

2. *Холодняков Г.А.* Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ / Г.А.Холодняков, К.Р.Аргимбаев, Д.А.Иконников // Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2011.

3. *Ческидов В.В.* Обоснование сети мониторинга техногенных массивов с использованием принципов кластерного анализа // Проблема освоения недр в 21 в. Глазами молодых. М., 2009.

REFERENCES

1. *Nurok G.A.* Technology and layout of plan hydraulic mining. Moscow, 1965.

2. *Kholodnyakov G.A.* Determining physical and mechanical properties of tailings of iron-bearing tailing dumps / K.R.Argimbaev, D.A.Ikonnikov // Mining informational and analytical bulletin. Moscow, 2011.

3. *Cheskidov V.V.* Rationale for monitoring network technogenic the solid uses of the principles of cluster analysis // The problem of development of mineral wealth in the 21st century. Through the eyes of the young. Moscow, 2009.