

УДК 622.7.017,2:622.002.68

М.С. Четверик, Г.Д. Пчелкин, В.В. Кустов

ПАРАМЕТРЫ СЕГРЕГАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработана программа для ПК, которая позволяет численно моделировать процесс сегрегации при отсыпке сыпучих материалов. На основании математического моделирования явления сегрегации, которое наблюдается в горном производстве при формировании техногенных месторождений, установлены закономерности распределения исходного материала с учетом качественной характеристики различных фракций. Определены параметры, определяющие практическое значение результатов моделирования. Даны рекомендации по применению полученных результатов в горной промышленности.

Ключевые слова: сегрегация, месторождение, сыпучий материал, моделирование.

В практике горного производства эффект сегрегации проявляется при отсыпке отвалов пустых пород, рудных складов, при формировании гидроотвалов и шламохранилищ, при транспортировании и грохочении горной массы, а также при отсыпке плотин и дамб. Эффект сегрегации находит применение при обогащении руд черных и цветных металлов, используется в химической промышленности [1, 2, 3, 4].

В практике открытой разработки месторождений полезных ископаемых существует проблема прогнозирования распределения исходного материала на конечной стадии технологического процесса с учетом качественной характеристики различных фракций (размера, плотности, содержания полезного компонента и т.п.) в зависимости от всей совокупности факторов, определяющих условия его отсыпки. Таким образом, теоретическое обоснование физического механизма явления сегрегации горной массы при отсыпке отвалов и рудных складов с учетом исходного гранулометрического состава и технологии складиро-

вания следует считать актуальной научной задачей, имеющей важное практическое приложение. Знание законов сегрегации приобретает важное практическое значение еще и по той причине, что на ряде месторождений выявлена устойчивая статистическая зависимость качественных показателей от класса крупности куска породы.

В последнее время большой вклад в изучение процесса сегрегации горных пород при отсыпке внесли Черней Э.И., Лаптев Ю.В., Гальянов А.В., Маланчук З.Р. и другие. Так математическая модель, предложенная Лаптевым Ю.В. (5), позволяет достаточно хорошо описать сегрегацию сыпучей горной массы на наклонной поверхности откоса отвала, и получить связь между качественными показателями минерального сырья и его гранулометрическими характеристиками. В других работах [2, 6], посвященных моделированию сегрегации при гидроразработке и разработке россыпных месторождений, исходят из основных уравнений механики многофазных сред.

Так, на основании модели процесса течения пульпы на конечной стадии потока, предложенной Маланчуком Е.З. [6], определяются параметры зон (ядер) концентрации тяжелых металлов, а, следовательно, и запасы полезного компонента (1) после определения параметров самого техногенного месторождения. Разведанные запасы ядра:

$$Z_p = \frac{\pi}{12} \alpha \psi \left[1 + 4\psi \left(1 + \alpha \psi \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right] \rho d_{\text{я}}^3; \\ \psi = \frac{H_0}{d_{\text{я}}}; \quad \sigma = \frac{H_{\text{я}}}{H_0}, \quad (1)$$

где ρ — плотность пульпы, т/м³; H_0 — максимальная высота россыпи, м; $d_{\text{я}}$ — диаметр верхней части ядра; $H_{\text{я}}$ — высота ядра; β — угол конусности ядра.

Проведенный анализ современного состояния изученности процесса сегрегации позволяет сделать следующие выводы:

- сегрегация дробленого материала до сих пор не имеет удовлетворительного аналитического описания, адаптированного к различным технологическим процессам и многообразию проявлений;
- параметры для математического описания сегрегации существенны только для решаемой конкретной задачи и не обладают общностью, что ограничивает возможности аппроксимации полученных результатов на другие случаи проявлений сегрегации.

Целью работы является определение таких технологических параметров, которые одновременно являлись исходными как для построения математической модели, так и позволяли бы дать оценку области практического применения сегрегации при фор-

мировании и разработке различных техногенных месторождений.

В теоретической физике разделимые процессы описываются кинетическим уравнением (2) диффузионного типа (уравнением Эйнштейна — Фоккера — Планка — Колмогорова).

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \left[- \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial x_i} D_i^1(x_1, \dots, x_N) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} D_{ij}^2(x_1, \dots, x_N) \right] W, \quad (2)$$

где $W(v, t)$ — функция плотности вероятности, описывающая вероятность того, что частица имеет скорость в интервале $(v, v + dv)$, если в момент времени 0 она имела начальную скорость v_0 ; D^1 — вектор сноса, а D^2 — вектор диффузии, причем диффузия вызвана действием сил стохастической природы.

В большинстве случаев решение дифференциального уравнения упирается в численные методы, а само представление результатов сложно для восприятия. Трудности математического описания процесса сегрегации приводит к введению в аналитические зависимости вспомогательных коэффициентов, которые затрудняют инженерные расчеты и не позволяют достигнуть адекватного описания движения горной массы в реальных условиях горных работ [4].

В этом плане наиболее перспективным представляется использование математической модели процесса сегрегации построенной на основании фундаментальных законов теоретической механики реализуемой с использованием современных программных продуктов. В качестве начальных условий принимаются: характеристика

горной массы (гранулометрический состав, связность элементов между собой, фактор «лешадности»); модель технологии образования техногенного объекта; задания характера взаимодействия между кусками породы, т.е. двухмерную систему действующих сил (3).

$$\begin{cases} f_x = f_{x1} - G \cdot v_{x1} \cdot R^2, \\ f_z = f_{z1} - g \cdot m + B \cdot \exp\left(-\frac{z_1}{b}\right) \cdot R^2 - G \cdot v_{z1} \cdot R^2; \end{cases}$$

где G , B — коэффициенты, соответственно характеризующие вклад во взаимодействие сил связанных со свойствами взаимодействующих поверхностей кусков и ограничивающей поверхности и частицы; f_x , f_z , v_{x1} , v_{z1} — проекции действующих на частицу сил и соответствующих скоростей; b — характерный размер среднего куска.

Разработанная программа позволяет задавать не только необходимый гранулометрический состав и характеристики разгрузки, но и изменять, в известных пределах, характер взаимодействия между элементами системы (кусками породы), характер граничных условий, качественные показатели различных фракций. Последнее крайне важно учитывать, когда при самопроизвольной сегрегации скальной горной массы на отвалах и перегрузочных площадках создаются предпосылки для селективной их отработки с учетом гранулометрического состава горной массы, накопленной в различных слоях насыпи по высоте отвала.

Данная программа реализует различные варианты соотношения между плотностью породы и размером куска, например в виде линейной зависимости плотности породы ρ от радиуса частицы (куска) R вида: $\rho \sim$

$(1 - A(R - R_0)/R_0)$. При этом масса m частицы (куска) предполагается пропорциональной величине R^3 .

Генерация случайных чисел и статистическая обработка осуществляется с помощью программы Matlab.

Анализ полученных результатов, а так же работ [2, 5, 6] показывает, что в общем случае наиболее комплексным показателем, характеризующим сегрегацию как процесс и ее результат, является размер среднего куска d_{cp} (рис. 1). Моделирование сегрегации по параметру d_{cp} для различного гранулометрического состава горной массы при различной высоте отвала дает результаты хорошо согласующиеся с данными в работе [5].

Зависимость плотности породы ρ от радиуса частицы (куска) целесообразно выразить через отношение этих величин, которое может быть постоянным или иметь определенную зависимость. В последнем случае целесообразно ввести параметр оценки сегрегации по концентрации полезного компонента. По этому параметру в некоторых случаях целесообразно производить оценку техногенных месторождений.

Моделирования процесса формирования конусообразного объекта из материала, у которого плотность частиц обратно пропорционально размеру куска (рис. 2).

Особенности перераспределения фракций в пределах поперечного сечения насыпного конуса необходимо учитывать в процессах усреднения рудной массы по грансоставу на складах готовой продукции. Если при этом наблюдается определенная зависимость процентного содержания полезного компонента от величины среднего размера куска, то это потребует изменения технологии погрузочно-разгрузочных работ на складах и системы контроля качеством продукции.

Таким образом, предлагаемый нами подход к определению параметров сегрегации и решению этой задачи позволяет прогнозировать качество сегрегационного эффекта как на наклонной поверхности не зависимо от фракции

породы, угла наклона и высоты насыпи, так и при формировании рассыпных техногенных месторождений. Экспериментально доказана адекватность математической модели, рассматриваемому в работе процессу.

Гранулометрический состав горной массы

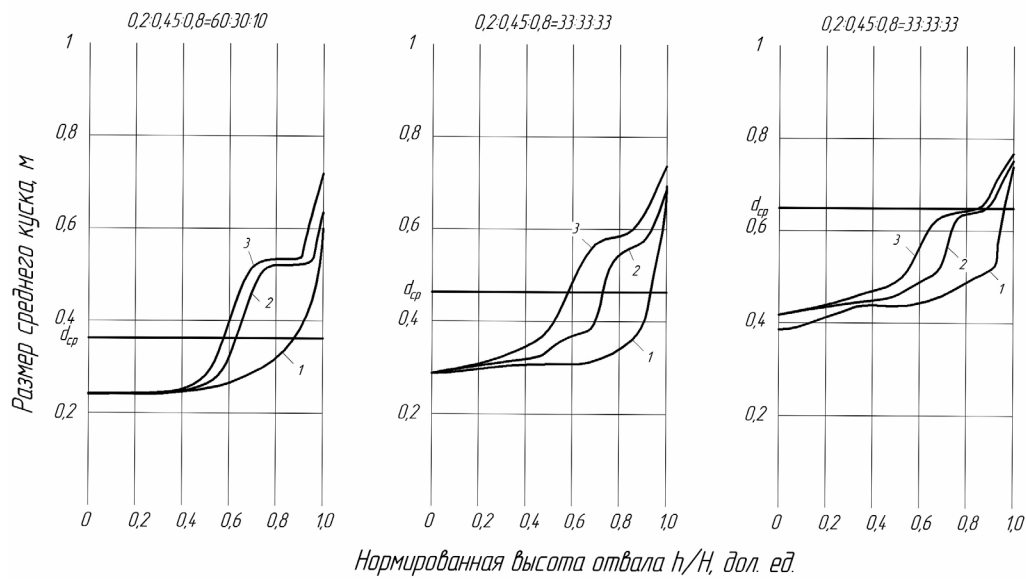


Рис. 1. Изменение размера среднего куска горной массы (\bar{d}) по высоте откоса отвала при различном гранулометрическом составе:

H — высота откоса; 1 — 10 м; 2 — 20 м; 3 — 30 м

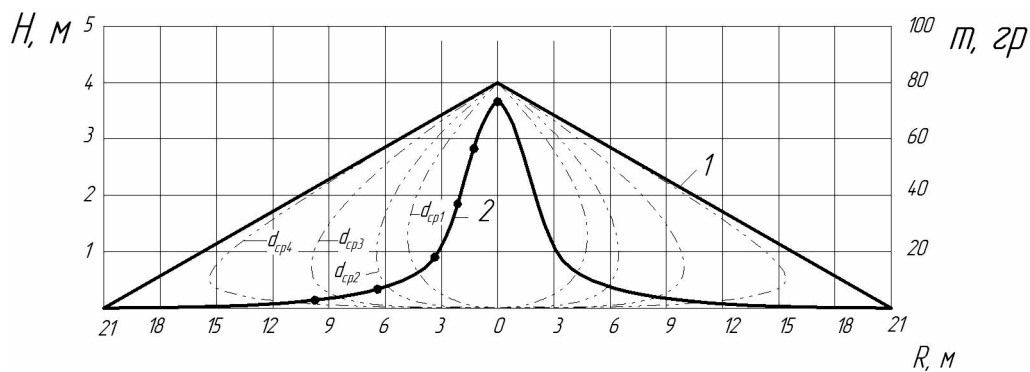


Рис. 2. Концентрации металла в техногенном месторождении (конусе):

$d_{ср1}$, $d_{ср2}$, $d_{ср3}$, $d_{ср4}$ — изолинии ограничивающие области соответственно 0,25 мм, 0,5 мм, 1,25 мм, 1,5 мм; 1 — техногенное месторождение (конус); 2 — кривая концентрации полезного компонента, $г/м^3$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гальянов А.В.* Совершенствование методики планирования и прогнозирования качества добываемого сырья на комбинате «Магнезит». — Огнеупоры. — 1993. — № 12.
2. *Черней Э. И. и др.* Закономерности количественного распределения минералов в техногенных россыпях. А.С. № 1676304, 1990.
3. *Гальянов А.В.* Исследование эффекта сегрегации при отсыпке рудных перегрузочных складов. — Изв. УГГА. Серия: Горное дело. — 1998. — Вып.7.
4. *Гальянов А.В., Лаптев Ю.В., Ковалев М.Н.* Закономерности сегрегации при складировании скальных пород и руд на карьерах ОАО «Комбинат «Магнезит». — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1997.
5. *Лаптев Ю.В.* Закономерности сегрегации горной массы при формировании насыпных техногенных объектов: Автореферат, дис. ... док. тех. наук. — Екатеринбург, 2006.
6. *Маланчук Е.З.* Обоснование параметров зон концентрации тяжелых металлов в техногенных россыпях при гидродобыче: Автореферат, дис. ... канд. тех. наук. — Днепропетровск, 2009.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Четверик М.С. — доктор технических наук, профессор, Институт геотехнической механики НАН Украины,
Пчелкин Г.Д. — кандидат технических наук, профессор,
Кустов В.В. — аспирант,
Национальный горный университет, г. Днепропетровск, rector@nmu.org.ua



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ БУРОВЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

(№913/08-12 от 14.05.12, 8 с.)

Ивченко И.А. — старший преподаватель,

Меркулов М.В. — доктор технических наук, профессор,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

BASIC PROVISIONS TO DEVELOPMENT OF POWER COMPLEXES FOR CHISEL WORKS ON THE BASIS OF DIESEL POWER PLANTS AND WINDGENERATORS

Ivchenko I.A., Merkulov M.V.