



**В. П. Надутий /д. т. н./**  
Институт геотехнической механики имени  
Н. С. Поляков НАН Украины

**З. Р. Маланчук /д. т. н./, Е. З. Маланчук /д. т. н./,**  
**В. Я. Корниенко /к. т. н./**  
Национальный университет водного хозяйства  
и природопользования, Ровно, Украина

## Моделирование вибропросеивания для улучшения извлечения металла из базальта

*Изложены результаты моделирования вибропросеивания при комплексной переработке полезных ископаемых базальтового месторождения для извлечения металлов. Составляющие месторождения в виде базальта, цеолит-сметитового туфа и лавобрекчии содержат высокий процент железа, титана и самородной меди. Их добыча требует специальной технологии предварительной обработки. (Табл. 7. Библиогр.: 4 назв.)*

**Ключевые слова:** классификация, металл, вибропросеивание, базальт.

*Results of modeling of vibrational screening at complex processing of minerals of the basalt deposit for extraction of metals are stated. Deposit components in the form of basalt, zeolite-smectite tufa and lava-breccia contain high percent of iron, titan and native copper. Their extraction requires special technology of preliminary processing.*

**Key words:** classification, metal, vibroscreening, basalt.

### Введение

Целью этих исследований является определение зависимости эффективных регулируемых параметров базальтовых породных масс при тонком вибрирующем просеивании.

Учитывая, что процесс методом тонкой классификации вибрацией не полностью изучен, а существующее вибропросеивание требует адаптации его характеристик к требованиям технологии для выполнения этих целей, исследование было проведено для тонкого грохочения классификации с динамически активной рабочей поверхностью, специально разработанной в ИГТМ НАН Украины. Ее особенность состоит в следующем: экранирование в процессе сепарации осуществляется в режиме виброударных импульсов (ударов), что поддерживает динамически активные резиновые резонансно-полосовые струны сита (нейлоновую сетку) в верхнем ряду классификатора, жесткого металла.

### Процесс вибропросеивания

В связи с тем, что физико-механические характеристики горных пород оказывают значительное влияние на производительность классификации и ранее установленные термины в соответствии с конкретной классификацией требуют уточнения и коррекции, нашим экспериментальным исследованием определена эффективность тонкого грохочения базальтового сырья в зависимости от ряда переменных параметров, в частности:  $\gamma$  – плотности горной массы ( $\gamma_1 = 2,6$  – базальт,  $\gamma_2 = 2,2$  – лавабрекчия,  $\gamma_3 = 1,4$  – туфа),  $\beta$  – угла наклона возмущающей

силы,  $\alpha$  – угла наклона рабочего механизма вибропросеивания,  $\Delta$  – размера открытого экрана,  $q$  – экрана блока загрузки,  $\omega$  – частоты возмущения привода экрана и его длины  $L$ . Изменения этих параметров оказывает существенное влияние на эффективность просеивания. Для анализа влияния этих факторов на системы необходимо выработать многомерные регрессионные зависимости [1–3].

Расчет линейных зависимостей регрессии был проведен по методу наименьших квадратов. Эти нелинейные зависимости от ряда факторов были заменены переменными линейным способом. В нашем случае это зависимость эффективности от величины открытия сита  $E = F(\Delta)$ , а для остальных, вышеперечисленных, – более адекватной оказалась параболическая зависимость. На основе коэффициента корреляции  $R$  для каждой пары ряда была построена корреляционная матрица; был рассчитан коэффициент множественной детерминации, который показывает, в какой части вариация результирующего ряда объясняется фактором вариационной модели. В свою очередь, адекватность модели была оценена с помощью статистического коэффициента Фишера  $F$ , который находился по сравнению с его критическим значением  $F_{кр}$  в соответствии с уровнем достаточности  $\alpha = 0,05$  или  $\alpha = 0,01$ .

В работе установлена зависимость эффективности тонкого грохочения от самых значимых факторов характеристик в виде:

$$E = F(\beta, \alpha, \omega, q, \Delta, l, \gamma). \quad (1)$$

Этап за этапом была изучена модель эффективности зависимости просеивания от одиночных факторов при фиксированных отверстиях сита размером  $\Delta$  и вариаций типа породы, характеризуемой  $\gamma$  плотностью. Кроме того, была получена обобщенная модель с коэффициентом  $\gamma$  плотности с учетом влияния угла наклона возмущающей силы. Расчет выполнен с  $\Delta = 2$  мм, 3 мм, 5 мм, результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчета параметров регрессии**

$\Delta$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R^2$	$F$
2	-25,12	-11,7	5,9	3,94	-0,038	0,979	153,2
3	-47,08	29,58	-4,17	3,35	-0,032	0,979	154,4
5	-35,82	3,33	2,43	4,07	-0,039	0,099	341,6

**Результаты расчетов**

Регрессионная модель была определена как:

$$E'(\gamma, \beta) = a_0 + a_1 \gamma + a_2 \gamma + a_3 \beta + a_4 \beta^2. \quad (2)$$

Обобщена модель с определенным размером  $\Delta$  отверстия сита в зависимости от ряда переменных и других факторов ( $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $q$ ,  $L$ ):

$$E'(\Delta, \gamma, \beta) = a_0 + a_1 \Delta + a_2 \gamma + a_3 \beta + a_4 \beta^2. \quad (3)$$

Результаты расчетов параметров этой регрессии приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета параметров регрессии**

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$R^2$	$F$
-45,45	2,83	7,07	1,39	3,78	-0,036	0,972	331,3

Для каждого размера ячейки сита  $\Delta$  была определена регрессионная модель как переменные параметры  $\gamma$  и  $\alpha$ :

$$E'(\gamma, \beta) = a_0 + a_1 \Delta + a_2 \gamma + a_3 \alpha + a_4 \alpha^2 \quad (4)$$

Таблица 3

**Результаты расчета параметров регрессии**

$\Delta$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R^2$	$F$
2	61,93	-8,0	5,21	-0,337	-0,036	0,991	271,7
3	68,12	-6,5	4,58	-0,6	-0,031	0,986	176,7
5	36,79	34,5	-5,83	0,439	-0,081	0,963	64,9

Обобщенная модель с включением угла наклона просеивания и ряда переменных факторов была определена как:

$$E'(\Delta, \gamma, \alpha) = a_0 + a_1 \Delta + a_2 \gamma + a_3 \gamma^2 + a_4 \alpha^2 + a_5 \alpha^2. \quad (5)$$

Факторы, не включенные в модели, являются фиксированными с постоянными значениями. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Зависимость эффективности экранирования от частоты возмущений вибратора  $\omega$ , удельной нагрузки на экране  $q$  и длины сита на экране,

как и в предыдущем случае, была определена в несколько этапов.

Таблица 4

**Результаты расчета параметров регрессии**

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$R^2$	$F$
39,4	4,71	6,67	1,32	-0,166	-0,49	0,973	282,5

Модель с множителем влияния  $\omega$  имеет следующий вид:

$$E(\gamma, \omega) = a_0 + a_1 \gamma + a_2 \gamma^2 + a_3 \omega + a_4 \omega^2. \quad (6)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты расчета параметров регрессии**

$\Delta$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R^2$	$F$
2	-50,88	10,42	0,0	0,156	-0,000058	0,866	93,2
3	-62,65	38,33	-6,42	0,146	-0,000057	0,949	60,2
5	-43,07	15,83	-0,694	0,159	-0,000065	0,934	46,1

Обобщенная модель в этом случае представлена в виде:

$$E = -62,84 + 3,19\Delta + 21,53\gamma - 2,37\gamma^2 + 0,154\omega - 0,00006\omega^2. \quad (7)$$

Модель, включающая удельную нагрузку на экран  $q$ , имеет вид:

$$E'(\gamma, q) = a_0 + a_1 \gamma + a_2 \gamma^2 + a_3 q + a_4 q^2. \quad (8)$$

Результаты расчета коэффициентов в модели даны в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты расчета параметров регрессии**

$\Delta$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R^2$	$F$
2	66,09	2,86	2,53	-6,06	0,302	0,986	279,4
3	86,25	-15	6,84	-3,34	-0,079	0,985	269,4
5	71,64	7,5	1,19	-3,46	0,012	0,977	170,9

В своем окончательном виде обобщенная регрессионная модель приняла форму:

$$E = 59,82 + 4,45\Delta - 1,55\gamma + 3,52\gamma^2 - 4,29q + 0,078q^2. \quad (9)$$

Модель, включающая длину сита  $L$ , представлена в виде:

$$E = a_0 + a_1 x + a_2 \gamma^2 + a_3 L + a_4 L. \quad (10)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Результаты расчета параметров регрессии**

$\Delta$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R^2$	$F$
2	0,896	-3,214	2,98	24,59	-2,13	0,991	458,0
3	13,92	-11,43	5,36	24,49	-2,17	0,983	235,0
5	3,54	5,0	1,34	23,49	-1,97	0,993	541,0

Расчеты показали, что обобщенная модель имеет вид:

$$E = -5,23 + 3,4\Delta - 3,21\gamma + 3,22\gamma^2 + 24,19L - 2,09L^2. \quad (11)$$

Представленные модели позволяют решать индивидуальные проблемы выбора параметров оборудования и определения их эффективности. Конечной целью нашего исследования было моделирование зависимости эффективности просеивания на комплекс факторов в виде:

$$E = F(\Delta, \gamma, \beta, \alpha, \omega, q, L). \quad (12)$$

Оценки коэффициентов модели были проведены в соответствии с методами, описанными выше, и в этом случае для параметра  $\Delta$  была принята линейная зависимость (на основе экспериментальных данных), а для других факторов – параболическая. Общий объем выборки был  $n = 279$ , число наложения ссылками  $m = 14$ , а число степеней свободы  $\nu = n - m = 265$ .

В результате из расчета была получена обобщенная модель просеивания эффективности вибрационного грохота на основе зависимости от следующих факторов:

$$E = -161,42 + 3,7\Delta + 5,54\gamma + 1,54\gamma^2 + 1,67\beta - 0,012\beta^2 + 2,12\alpha - 0,153\alpha^2 + 0,162\omega - 0,00065\omega^2 + 4,18q - 0,863q + 17,28L - 1,25L^2. \quad (13)$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,88$ , статистический коэффициент Фишера  $F = 150,3$ , адекватность полученной модели была доказана.

### Выводы

Выполненные исследования позволили определить рациональные параметры классифицирующего оборудования для требуемой эффективности просеивания. Эта стадия подготовки горной массы является важной, поскольку тонкие классы крупности содержат значительное

количество самородной меди и титаномагнетита, а высокая эффективность сепарации мелких фракций позволяет использовать принятую схему для извлечения полезных компонентов и обеспечивать безотходную технологию.

### Библиографический список

1. Булат А. Ф. Перспективи комплексної переробки базальтової сировини Волині / А. Ф. Булат, В. П. Надутий // Геотехнічна механіка: зб. наук. пр. ІТМ НАНУ. – Дніпропетровськ. – 2010. – Вип. 85. – С. 3–8.
2. В. П. Надутий Обґрунтування необхідності комплексної переробки цеоліто-сметитових туфів Волині / В. П. Надутий // Матеріали Міжнародної конференції. Секція «Геологія». Форум гірників, 2010 р.; Національний гірничий університет, 21–23 жовтня 2010 р., м. Дніпропетровськ – Дніпропетровськ, 2010. – С. 50–55
3. Franchuk V. P. Mathematical modeling of vibrating screening with regard to sensitive, constructive and technological parameters of thunder. Scientific-technical collection / V. P. Franchuk, V. P. Naduty, A. I. Egurnov; National mining University. – Dnipropetrovsk, 2011. – Vol. 45 (86). – Pp. 48–52.
4. Malanchuk Z. R. Experience in the use of products processing of basalt raw material in Ukraine / Z. R. Malanchuk, E. Z. Malanchuk // American Journal of Scientific and Educational Research. – New York: Columbia Press, 2014 – July – December. – № 2 (5). – 642–648.

Поступила 15.02.2016

