

є важливим для розробки технології переробки сировини.

Ключові слова: мідь, сепаратор, тонка класифікація, напруженість поля

The paper considers the results of laboratory research on electrical separation of the basic kinds of rocks from basalt quarry – lavabreccia, basalt and tuff – used for extraction of native copper out of them. It has been established, that the method of electrostatic separation is ef-

fective for extraction native copper from basalt raw material of 1,0–0,2 mm fineness. The most effective size of raw material used for separation has been determined. It is important for further development of processing technology.

Keywords: copper, separator, thin classification, electric field intensity

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.О. Блюссом. Дата надходження рукопису 04.03.11

УДК 622.7.002.2:622.349.002.68

**В.П. Надутый¹, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Сухарев, П.В. Левченко**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: nanu@igtm.dp.ua

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВНУТРИВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

**V.P. Nadutyi, Dr. Sc. (Tech.), Professor,
V.V. Sukharev, P.V. Levchenko**

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: nanu@igtm.dp.ua

IDENTIFICATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF VIBRATING ROLL GRINDING MILL PRODUCTIVITY

На основании экспериментальных исследований и их идентификации установлена обобщенная математическая модель в виде нелинейной регрессионной зависимости производительности внутривалковой мельницы вибрационного типа от частоты вращения вала вибровозбудителя и величины разгрузочного отверстия мельницы. Данная модель позволяет выбирать рациональные параметры мельницы и прогнозировать результаты ее работы при вибрационном режиме.

Ключевые слова: внутривалковая мельница, производительность, вибрация, режимные параметры, идентификация

Валковые мельницы широко используются в горной промышленности. Одним из путей их совершенствования является использование сдвиговых деформаций вместо механизма раздавливания при разрушении кусков горной массы, поскольку в этом случае необходимы значительно меньшие усилия для их разрушения, чем при раздавливании. Это связано со свойством горных пород [1] и использование указанного свойства позволяет уменьшить металлоемкость и энергопотребление мельниц при равной производительности. Выполненный экспериментальный комплекс исследований зависимости производительности внутривалковой мельницы [2,3], в которой реализуется принцип разрушения при деформации сдвига со сжатием, позволил получить характер зависимости производительности от крупности исходной горной массы и размера разгрузочного отверстия [4]. Для выполнения расчетов при проектировании мельницы необходимы дальнейшие исследования параметров внутривалковой мельницы.

Целью данных исследований является идентификация результатов экспериментальных исследований

и получение достоверных аналитических зависимостей для определения производительности мельницы в зависимости от частоты вращения вала вибровозбудителя и величины разгрузочного отверстия.

С целью получения аналитических зависимостей для определения производительности мельницы при изменении частоты вращения вала вибровозбудителя, в пределах от 700 до 1000 об/мин, была проведена идентификация результатов экспериментальных исследований. При этом величина разгрузочного отверстия изменялась в пределах от $\Delta = 3$ до 5 мм, крупность исходного материала (гранит) -10+5 мм, обороты вала мельницы постоянны $\omega = 60$ об/мин.

Зависимость производительности мельницы от частоты вращения вала вибровозбудителя с высоким уровнем достоверности идентифицируется параболической моделью

$$Q = a + b_1\omega + b_2\omega^2,$$

где Q – производительность мельницы, кг/ч; ω – частота возмущающей силы, об/мин.

Результаты расчета параболической модели при различных зазорах разгрузочного отверстия представлены в табл. 1.

В приведенной таблице параметр R^2 – коэффициент детерминации, который, в зависимости от ширины разгрузочного отверстия, принимает значения в диапазоне $0,98 \div 0,991$. Адекватность модели проверялась по статистике Фишера $-F$. Этот показатель сравнивался с критическим значением $F_{крит}$, взятым из таблицы распределения Фишера при степенях свободы $\nu_1 = m$ и $\nu_2 = n - m - 1$. В нашем случае $n = 7$ – объем выборки (семь значений частоты); m – число объясняющих переменных (в нашем случае $m = 2$, т.е. переменные ω и ω^2).

В соответствии с таблицей распределения Фишера $F_{крит} = 6,94$ при $\nu_1 = 2$ и $\nu_2 = 4$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Поскольку расчетные значения F

больше критического, то полученные параболические модели могут быть признаны адекватными. В табл. 1 показатели t_1 и t_2 – коэффициенты достоверности коэффициентов регрессии модели при переменных b_1 и b_2 . Для проверки значимости показатели t_k (где $k = 1, 2, \dots, n$) сравниваем с критическим значением $t_{крит}$, представленным в таблице распределения Стьюдента для принятого уровня значимости $\alpha = 0,05$, и числе степеней свободы $\nu_2 = 4$. В нашем случае $t_{крит} = 2,132$ для всех моделей, $t_1 \geq t_{крит}$ и $t_2 > t_{крит}$, следовательно коэффициенты регрессии b_1 и b_2 являются значимыми, т.е. как показатель при ω , так и показатель ω^2 являются влиятельными переменными для производительности мельницы. Расчетный график приведен на рис. 1.

Таблица 1

Параметры параболической модели зависимости производительности мельницы от частоты вращения вала вибровозбудителя при различных зазорах разгрузочного отверстия

Δ , мм	Расчетные параметры модели						
	a	b_1	b_2	R^2	F	t_1	t_2
3,0	-70,579	0,1944	-0,0000970	0,987	147,00	5,570	4,730
3,5	-92,914	0,2470	-0,0001240	0,990	195,48	6,482	5,523
4,0	-78,207	0,2070	-0,0000930	0,983	114,14	3,230	2,470
4,5	-86,036	0,2290	-0,0001030	0,986	138,23	3,595	2,780
5,0	-82,364	0,2210	-0,0000948	0,991	221,29	3,930	2,870

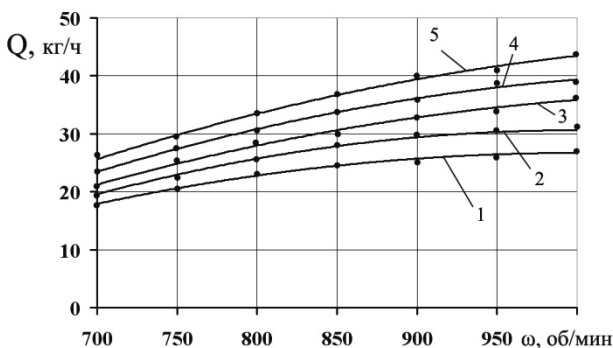


Рис. 1. Зависимость производительности мельницы (Q) от частоты вращения вала (ω) вибровозбудителя при различной величине разгрузочного отверстия (Δ): 1–3 мм; 2–3,5 мм; 3–4 мм; 4–4,5 мм; 5–5 мм

Учитывая полученные экспериментальные графики зависимости производительности мельницы от величины зазора разгрузочного отверстия Δ , мм, ее можно описать линейной моделью

$$Q = a + b\Delta.$$

Результаты расчета линейных моделей для различных оборотов вала вибровозбудителя приведены в табл. 2.

Высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,987 \div 0,999$ свидетельствует о том, что варьируемый (объясняющий) фактор (зазор) полностью объясняет изменение производительности мельницы.

Для исследуемой модели $\nu_1 = 1$; $\nu_2 = 5 - 1 - 1 = 3$ при уровне значимости критическое значение статистики Фишера $F_{крит} = 10,13$.

Для всех моделей $F > F_{крит}$, следовательно, полученные линейные модели адекватны. Критическое значение статистики Стьюдента $t_{крит} = 2,353$ при $\nu_2 = 3$ и $\alpha = 0,05$. Поскольку для всех моделей $t > t_{крит}$, то коэффициенты регрессии для всех моделей являются значимыми. Итоговые графики расчетных зависимостей представлены на рис. 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что зависимость производительности мельницы от величины разгрузочного отверстия имеет линейный характер при разных оборотах вибровозбудителя. В то же время зависимость производительности от частоты вибровозмущения (как показано на рис. 1) описывается параболической моделью. Следовательно, можно ожидать, что обобщенная регрессионная зависимость будет иметь такой вид

$$Q = a + b_1\omega + b_2\omega^2 + b_3\Delta.$$

Расчет модели выполнялся средствами SPSS Statistics 17.0 методом „Исключение“, при котором расчет начинался с результата, содержащего все независи-

мые переменные. Затем исключаются независимые переменные с наименьшими частичными корреляционными коэффициентами, пока соответствующий регрессионный коэффициент не оказывается незначимым.

В результате расчета параметров этой зависимости методом наименьших квадратов была получена следующая обобщенная модель

$$Q = -106,397 + 0,22\omega - 0,000103\omega^2 + 6,094\Delta.$$

Таблица 2

Параметры линейной модели зависимости производительности мельницы от величины разгрузочного отверстия для различной частоты вращения вала вибровозбудителя

ω , об/мин	Расчетные параметры модели				
	a	b	R^2	F	t
700	5,68	4,08	0,998	1950,8	44,167
750	7,22	4,24	0,987	223,2	14,941
800	7,94	5,16	0,992	396,2	19,905
850	5,28	6,34	0,999	2450,9	49,507
900	6,44	6,60	0,983	176,4	13,282
950	2,38	7,98	0,999	1998,3	44,703
1000	2,02	8,26	0,998	1269,7	35,633

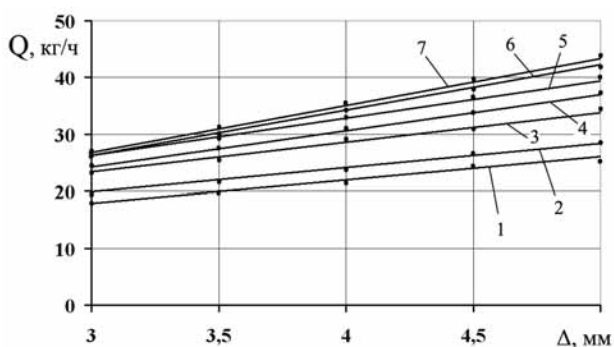


Рис. 2. Зависимость производительности мельницы (Q) от величины разгрузочного отверстия (Δ) при различной частоте вращения вала вибровозбудителя (ω): 1 – 700 об/мин; 2 – 750; 3 – 800; 4 – 850; 5 – 900; 6 – 950; 7 – 1000 об/мин

Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,964$, при этом учтены все изучаемые варьируемые факторы, влияющие на производительность. Статистика Фишера $F = 275,4$, $F_{крит} = 2,91$ при $\alpha = 0,05$, $\nu_1 = 3$, $\nu_2 = 31$, следовательно $F > F_{крит}$. Таким образом, полученная модель может быть признана адекватной. Коэффициент надежности коэффициентов регрессии $t_1 = 5,077$, $t_2 = 4,031$, $t_3 = 19,573$ при $t_{крит} = 1,698$. Следовательно, все коэффициенты регрессии являются значимыми и их влияние, участвующее участие в модели факторных признаков, является существенным.

Полученная обобщенная математическая модель, в виде нелинейной регрессионной зависимости производительности мельницы от варьируемых параметров, показала высокую достоверную вероятность в сравнении с экспериментальными результатами. Данная модель позволяет выбирать рациональные параметры мельницы и прогнозировать результаты ее работы при вибрационном режиме.

Список литературы

1. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик – М.: Недра, 1978.– 368 с.
2. Патент №42114 UA МКИ⁷ В02С2/00, В02С15/00 Внутрішньовалковий конусний млин / Надутий В.П., Сухарев В.В. / ІГТМ Заявл. 05.01.2009, опубл. 25.06.2009. в Б.И. №12.
3. Патент №48990 UA МКИ⁷ В02С2/00, В02С15/00 Внутрішньовалковий конусний млин вібраційного типу / Надутий В.П., Сухарев В.В., Кіжло Л.А. // ІГТМ Заявл. 05.11.2009, опубл. 12.04.2010. в Б.И. №7.
4. Надутый В.П. Определение зависимости производительности внутривалковой конусной мельницы от крупности исходной горной массы и размера разгрузочного отверстия / В.П. Надутый, А.М. Эрперт, В.В. Сухарев // Науковий вісник НГУ.– 2008. – №11. – С. 61–63.

На підставі експериментальних досліджень і їх ідентифікації встановлена узагальнена математична модель у вигляді нелінійної регресійної залежності продуктивності внутрішньовалкового млина вібраційного типу від частоти обертання вала вібровозбудника й від величини розміру розвантажувального отвору млина. Дана модель дозволяє обирати раціональні параметри млина й прогнозувати результати його роботи при вібраційному режимі.

Ключові слова: внутрішньовалковий млин, продуктивність, вібрація, режимні параметри, ідентифікація

On the basis of experimental researches it has been established the generalized mathematical model that corresponds to a nonlinear regression dependence of productivity of a roll grinding mill of vibrating type on rotation frequency of a vibrator and on size of a discharge opening of the mill. The given model allows to choose rational parameters of the mill and to predict results of its work at the vibrating mode.

Keywords: roll grinding mill, productivity, vibration, mode parametres, identification

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.О. Блюссом. Дата надходження рукопису 11.03.11