

УДК 622.7:669.265

**Ю.С. МОСТЫКА** (д-р техн. наук, проф.)**А.И. ЗУБАРЕВ** (аспирант)

Национальный горный университет, Днепропетровск

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СУХОГО БАРАБАННОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА

Проведен анализ существующего состояния и последствий складирования отходов обогащенного производства марганцевых руд. Рассмотрены вопросы повторного использования отходов производства марганца в качестве вторичного сырья. На основе рассмотренных тенденций развития и расширения рынка высокоэнергетичных магнитов, позволяющих расширить и возможности магнитного обогащения слабомагнитных минералов, приведены перспективы извлечения марганецсодержащего сырья методом сухой магнитной сепарации.

**Ключевые слова:** магнитный барабан, сепаратор, частица, коэффициент трения, центробежная сила, марганцевый минерал.

Разделение частиц в процессе их обогащения на сухом магнитном барабанном сепараторе происходит под действием сил, оказывающих противоположные действия на них. В зависимости от направления равнодействующих векторов этих сил существует два принципиально разных способа разделения:

- отклонения частиц;
- извлечения частиц.

В любом случае происходит изменение траектории движения частиц под действием главной разделяющей силы, воздействующей на разделительный признак [1].

Ниже рассмотрены силы и характер движения частицы слабомагнитного материала на поверхности и в рабочей зоне сухого барабанного магнитного сепаратора.

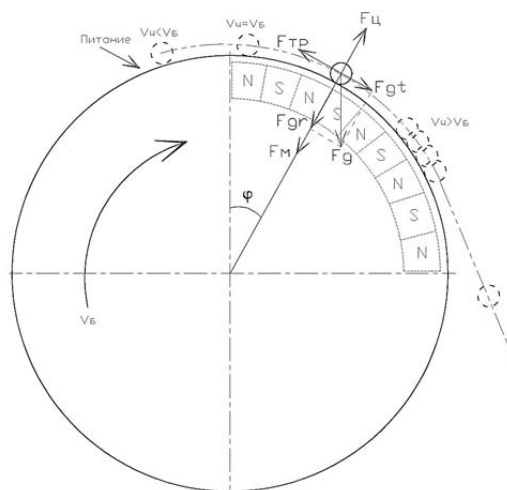


Рис.1. Силы действующие на частицу помещенную на поверхность вращающегося барабанного магнитного сепаратора

Движение частицы радиуса  $b$ , помещенной на поверхность сухого барабанного магнитного сепаратора радиуса  $R$ , может быть описано тремя фазами [2] как показано на рис.1. В начале первой фазы, частица помещенная на вращающийся

барабан разгоняется под действием силы трения  $F_{тр}$ , и тангенциальной компоненты силы тяжести  $F_{gt}$ , которые могут быть записаны как:

$$F_{тр} = \mu_c * (F_M + F_{gr} - F_{ц}) \quad (1)$$

$$F_{gt} = gm_q \sin \varphi \quad (2)$$

где  $\mu_c$  – коэффициент трения скольжения,  
 $\varphi$  – угол показанный на рис.1.

Окончанием первой фазы станет момент, когда частица набирает скорость равную скорости вращения поверхности барабана.  $V_б = V_ч$ .

Как только частица набирает скорость равную скорости вращения поверхности барабана, наступает вторая фаза движения, в которой коэффициент трения скольжения частицы  $\mu_c$  в уравнении (1) заменяется коэффициентом трения покоя  $\mu_n$ . Частица продолжает двигаться с постоянной скоростью равной скорости вращения поверхности барабана. После того как тангенциальная составляющая силы тяжести  $F_{gt}$  станет больше чем сила трения  $F_{тр}$ , или когда частица оторвется от поверхности барабана, движение войдет в третью фазу. В конце второй фазы, соответственно:

$$F_{тр} = \mu_n * (F_M + F_{gr} - F_{ц}) = F_{gt}$$

В процессе третьей фазы движения частица начинает ускоряться относительно скорости барабана. Радиальный компонент силы тяжести уменьшается, пока центробежная сила не превышает сумму радиальной компоненты силы тяжести  $F_{gr}$  и магнитную силу  $F_M$ , и частица отрывается от барабана:

$$F_{ц} = F_M + F_{gr}$$

Таким образом, как показали предварительные аналитические исследования, расчеты и лабораторные опыты одним из основных факторов, влияющих на характер движения частиц рабочих зонах сухих магнитных сепараторов, является коэффициент трения [3]

Проведенный аналитический обзор показал, что взаимодействие движущихся частиц с вращающейся рабочей поверхностью сепараторов, влияние формы, массы и размера частиц оказывает существенное влияние на процесс формирования их траектории движения. Поэтому, для определения параметров, которые существенно влияют на процесс разделения марганецсодержащих и породных частиц, необходимо изучить возможность их скольжения по рабочей поверхности барабана. Естественно, что главным показателем этого является такая величина как коэффициент трения [3,4]

Как известно, влияние силы трения особенно велико при сепарации слабомагнитных материалов на сухих барабанных магнитных сепараторов. Причем, влияние силы трения может рассматриваться и как детерминированный фактор и как случайный. В первом случае речь идет об общей характеристике силы трения на поверхности барабана, т.е. об одном из конструктивных параметров рабочей зоны. Во втором случае учитывается изменение силы трения на различных участках

барабана, например за счет износа его поверхности, а также особенности формы и характера поверхности самих сепарируемых частиц.

Поскольку влияние силы трения на характер движения частиц в рабочих зонах сепараторов весьма значительно, этот вопрос требует более подробного изучения.

Экспериментальная установка для определения коэффициента трения частиц состоит из электродвигателя, редуктора, рабочего колеса, измерительного штатива, питателя, тахометра с датчиком и блока управления (рис.2)

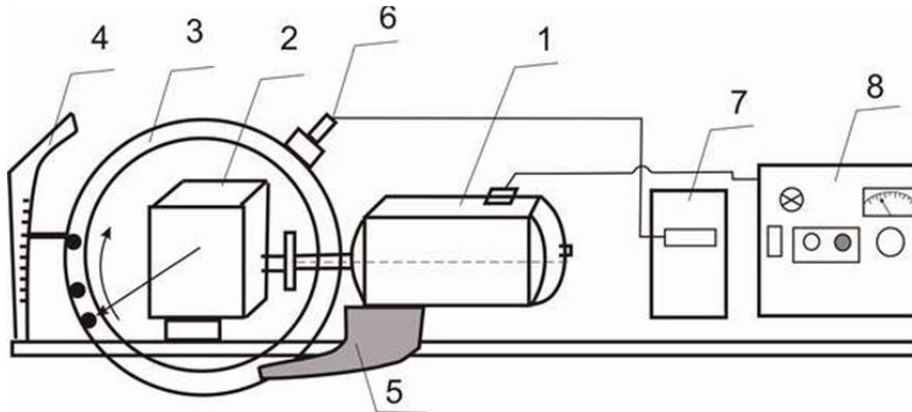


Рис. 2. Экспериментальная установка для определения коэффициентов трения исследуемых частиц: 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – рабочее колесо; 4 – измерительный штатив; 5 – питатель; 6 – датчик тахометра; 7 – тахометр; 8 – блок управления

Исходная навеска исследуемого продукта загружается в питатель после включения электродвигателя и подается на рабочее колесо. С помощью блока управления увеличивается скорость вращения рабочего колеса до того момента, когда частицы исследуемого материала не начнут съезжать по внутренней поверхности рабочего колеса (рис.3).

Этот момент, т.е. угол подъема исследуемой навески (или полярный угол  $\varphi$ ) фиксируется с помощью измерительного штатива и заносится в таблицу измерений. При этом фиксируется и скорость вращения рабочего колеса с помощью тахометра.

При некотором значении полярного угла  $\varphi$  наступит динамическое равновесие частиц на поверхности рабочего барабана.

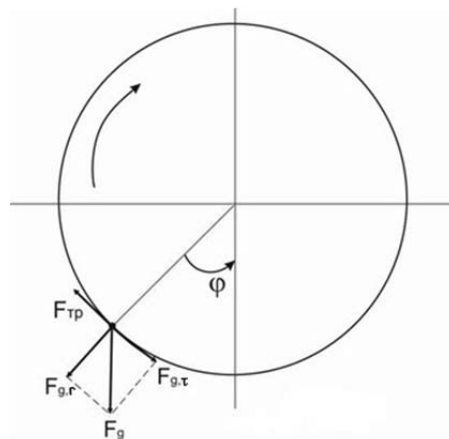


Рис. 3. Распределение сил, действующих на частицу в установке по измерению коэффициентов силы трения исследуемых частиц

Это значение определяется из условия равенства силы трения скольжения  $F_{тр}$  и тангенциальной составляющей силы тяжести  $F_{gt}$

$$F_{тр} = F_{gt} \quad (3)$$

$$F_{gt} = F_g * \sin\varphi \quad (4)$$

$$F_{тр} = f * F_{gr} \quad (5)$$

$$F_{gr} = F_g * \cos\varphi \quad (6)$$

где  $F_{gr}$  - радиальная составляющая силы тяжести.

После преобразований получаем:

$$F_{тр} = f * F_g * \cos\varphi \quad (7)$$

$$f * F_g * \cos\varphi = F_g * \sin\varphi \quad (8)$$

Отсюда:

$$f = \operatorname{tg}\varphi \quad (9)$$

В процессе исследований использовалось рабочее колесо, сделанное из нержавеющей стали.

Эксперименты производились на узких классах крупности исследуемых частиц проб лежалого зернистого марганцевого шлама.

Определение коэффициентов трения частиц марганцевых минералов проводилось по следующей методике.

1. Подготовка исходного сырья.

Пробы изучаемого материала, зернистого лежалого марганцевого шлама, массой 1 кг предварительно дешламируется по классу -0,15мм и высушиваются в сушильном шкафу при температуре 100- 130° С в течение 1 часа. Затем исследуемый материал сепарируется на сухом магнитном сепараторе, а его концентратная часть подвергают классификации по классам крупности «0,1÷0,45мм»; «0,45÷1,0мм»; «+1,0мм»; на лабораторном просеивающем сепараторе типа СПЭ.

2. Подготовка экспериментальной установки.

Необходимо точно выставить измерительный штатив по горизонтальной и вертикальной оси. На неподвижное рабочее колесо загружается навеска исходного сырья массой 15-20 г и включается электродвигатель.

3. При вращении рабочего колеса навеска исследуемого сырья выходит из исходного состояния покоя и отклоняется на определенный угол подъема, который фиксируется на лимбе измерительного штатива и заносится в таблицу измерений. Производится несколько измерений, которые заносятся в таблицу измерений.

Результаты определения коэффициентов трения частиц различных минералов, приведены в таблице 1.

Полученные результаты позволят с большей степенью точности рассчитывать необходимые конструкционные и режимные параметры процесса сухой магнитной сепарации слабомагнитных материалов

Таблица 1 – Определение коэффициента трения исследуемых марганцевых минералов на стальном барабане

№ п/п	Наименование пробы	Класс крупности, мм	№ испытания	Угол подъема	К-т трения, $\mu$
1	Марганцевый шлам	исходный	1	25-60	0,47-1,73
			2	30-60	0,57-1,73
			3	25-65	0,47-2,15
2	Марганцевый концентрат № 1	0,1-0,45	1	35-60	0,7-1,73
			2	35-65	0,7-2,15
			3	40-60	0,83-1,73
3	Марганцевый концентрат № 1	0,45-1,0	1	35-45	0,7-1,0
			2	35-50	0,7-1,2
			3	30-50	0,57-1,2
4	Марганцевый концентрат №1	+1,0	1	25-40	0,47-0,84
			2	25-35	0,47-0,7
			3	20-40	0,36-0,84
	Марганцевый концентрат № 2	исходный	1	25-65	0,47-2,15
			2	20-60	0,36-1,73
			3	25-65	0,47-2,15
5	Марганцевый концентрат № 2	0,1-0,45	1	30-60	0,57-1,73
			2	35-60	0,7-1,73
			3	35-65	0,7-2,15
6	Марганцевый концентрат № 2	0,45-1,0	1	35-45	0,7-1,0
			2	35-50	0,7-1,2
			3	30-45	0,57-1,0
7	Марганцевый концентрат № 2	+1,0	1	25-35	0,47-0,7
			2	20-40	0,36-0,84
			3	25-40	0,47-0,84

### Список использованной литературы

1. Кармазин В. И. Магнитные и электрические методы обогащения: Учебник для вузов / В.И.Кармазин, В. В. Кармазин. – М.: Недра, 1988.
2. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износ / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1981.
3. Grebenyuk L.Z. Theoretical investigation of dry frictional separation of materials on rotating cylinder. Mining of mineral deposits / L.Z. Grebenyuk, Yu.S. Mostyka, V.Yu. Shutov, I.V. Ahmetshina. – 2013.
4. Svoboda Jan. 2004. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. Kluwler Academic Publishers, 5-10.

Надійшла до редакції 01.10.2013

Ю.С. Мостика, А.І. Зубарев

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ЧАСТОК ПРИ ВИКОРИСТАННІ СУХОГО БАРАБАННОГО МАГНІТНОГО СЕПАРАТОРА

Проведено аналіз існуючого стану та наслідків складування відходів збагачувального виробництва марганцевих руд. Розглянуто питання повторного використання відходів виробництва марганцю в якості вторинної сировини. На основі розгляду тенденцій розвитку та розширення ринку високоенергетичних магнітів, які дозволяють розширити можливості магнітного збагачення слабомагнітних мінералів наведені перспективи вилучення марганцевміщуючої сировини методом сухої магнітної сепарації.

Ключові слова: магнітний барабан, сепаратор, частка, коефіцієнт тертя, відцентрова сила, марганцевий мінерал.

Yu. S. Mostyka, A.I. Zubarev

### EXPERIMENTAL STUDIES OF DETERMINING PARTICLES FRICTION COEFFICIENT BY USING DRY MAGNETIC SEPARATOR

The paper provides an analysis of the current state and the consequences of storing the wastes of manganese ore processing. The questions of reusing manganese production wastes as a secondary raw material are considered. Based on consideration of trends in the development and expansion of high-energy magnets market we discuss the prospects of manganese containing materials extraction using dry magnetic separation.

Keywords: magnetic drum separator, particle friction, centrifugal force, manganese mineral.