УДК 622.008.48

С.Е.ДЕМЬЯНОВ
Горно-электромеханический факультет,
группа ГМ-00-1, ассистент профессора

ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ НА ГИДРОКРУПНОСТЬ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНОЙ РУДЫ

Трубопроводный гидравлический транспорт широко применяется в шахтах, карьерах, обогатительных фабриках и на внешних коммуникациях предприятий для перемещения различных горных пород. В смеси с водой угли и породы, отличающиеся гранулометрическими и петрографическими характеристиками, дают различные виды гидросмесей, для которых характерны определенные закономерности движения в трубопроводах. К таким гидросмесям относятся хвосты обогащения медной руды, для которых проведены исследования по гранулометрическому составу и гидравлической крупности. Также выведена формула для расчета коэффициента формы частиц и найдено его значение для рассматриваемой гидросмеси.

Pipeline hydraulic transport is widely used in underground and open-cast mines, in concentration plants and external factory communications to transfer different rocks. Being mixed with water, coal and rocks become different types of hydromixtures because of different granulometric and petrographic parameters and are characterized by certain regularities of movement inside a pipeline. Copper-ore mill tailing is one of the hydromixture types. This article offers research results on granulometric composition and hydraulic size of these hydromixtures as well as a formula to calculate the particle drag coefficient. The particle drag coefficient is calculated for the studied hydromixtures.

На Джезказганском месторождении, медная руда которого относится к комплексным рудам, проведены исследования гидравлической крупности и седиментационной устойчивости мелкофракционных гидросмесей хвостов обогащения медной руды. Особенностью таких руд являются соединения галенита преимущественно с борнитом, халькозином и халькопиритом. Вмещающие породы этих руд представлены в основном кварцем, полевым шпатом, карбонатами, серицитом и хлоритом.

Интегральная кривая гранулометрического состава твердых хвостов обогащения приведена на рис.1. Из графика видно, что твердые частицы представлены в основном мелкими фракциями. Средневзвешенный диаметр частиц рассчитывался по формуле

$$d_{\text{о}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} d_i P_i}{100\,\%} = 0{,}038 \text{ мм}.$$

Анализ гранулометрического состава проводился путем отбора проб, фильтрации, сушки и просеивания сухого материала через стандартный набор сит. Определение количества материала проводилось взвешиванием отдельных фракций. Точность ситового анализа на механическом анализаторе составляла 5 %.

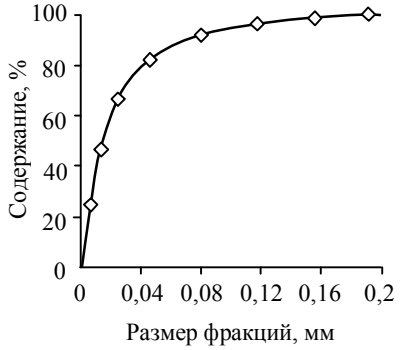


Рис.1. Гранулометрический состав хвостов обогащения медной руды ДГМК

Выполнен седиментационный анализ твердых частиц и построены седиментационные характеристики на основе замеров времени осаждения твердого в зависимости от средней концентрации твердого материала. Установлено, что с увеличением концентрации время осаждения твердого увеличивается, т.е. гидросмесь становится седиментационно-устойчивой.

В процессе исследований измерялась полная высота гидросмеси в цилиндре и высота осадка смеси: через 5 мин после начала эксперимента, а затем через каждые 10 мин. Для каждого замера рассчитывалась относительная высота осадка. Эксперименты были выполнены для различных концентраций. Результаты замеров и расчетные значения в виде графических зависимостей относительной высоты осадка от времени отстаивания показаны на рис.2.

Из анализа седиментационных кривых следует, что гидросмеси хвостов обогащения медной руды с увеличением концентрации твердой фазы становятся все более устойчивыми к расслоению. С ростом концентрации все меньшая часть выпадает в осадок, скорость осаждения уменьшается и твердые частицы равномерно распределяются по объему смеси.

При исследовании характеристик твердого материала определялась гидравлическая крупность частиц. Исследования проводились на приборе, основным элементом которого является стеклянный цилиндр диаметром 40 мм и высотой 1,5 м с нанесенной масштабной линейкой, вертикально закрепленный в штативе. Мерный участок цилиндра равнялся 0,84 м. Прибор заполнялся чистой водой, которая затем выдерживалась в течение 48 ч. Отдельные частицы твердого материала опускались в цилиндр и при прохождении ими мерного участка фиксировалось время осаждения. Перед началом экспериментов пробы хвостов обогащения разделялись на соответствующие классы крупности. Каждый опыт повторялся не менее 10 раз. Усредненные результаты замеров приведены в табл.1, где также приведены значения гидравлической крупности, рассчитанные по формуле Стокса [2].

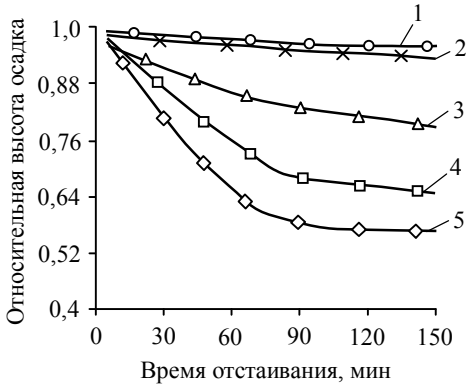


Рис.2. Седиментационные характеристики гидросмеси хвостов обогащения медной руды [1]
1 – $C_{ср}$ = 56,0 %; 2 – 53,8 %; 3 – 50,0 %; 4 – 42,6 %; 5 – 38,9 %

Таблица 1

Опытные данные по гидравлической крупности хвостов обогащения медной руды

Размер частиц, *d*, мм	Время осаждения, с		Гидравлическая крупность, м/с	
	замеренное	расчетное	фактическая	расчетная
0,21	28,72	24,17	0,02924	0,03475
0,15	42,18	47,38	0,0199	0,01773
0,1	44,97	106,60	0,01806	0,0078
0,074	87,4	194,44	0,01463	0,00432
0,044	91,35	549,02	0,0092	0,00153
0,03	109,84	1183,1	0,00705	0,00071
0,019	196	2957,75	0,00429	0,000284
0,015	–	4666,67	–	0,00018
0,01	–	10500	–	0,00008

Из табл.1 видно, что наблюдается значительное расхождение расчетных и действительных значений времени осаждения и гидравлической крупности. Это расхождение обусловлено отличием действительной формы частиц твердого от шарообразной, принятой в формуле Стокса. Влияние формы твердых частиц на скорость их осаждения учитывалось коэффициентом формы, значение которого было установлено по экспериментальным данным. Результаты расчетов приведены в табл.2, а на рис.3 показан график изменения коэффициента формы от гранулометрического состава твердого.

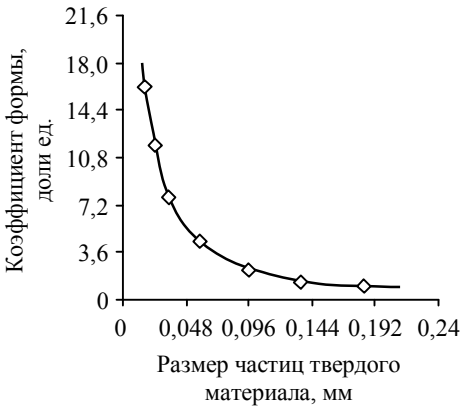


Рис.3. Изменение коэффициента формы частиц

Для определения расчетной формулы коэффициента формы экспериментальные данные были обработаны с помощью метода наименьших квадратов.

Таблица 2

Опытные данные по коэффициенту формы частиц

Параметры	Замеренные и расчетные значения параметров						
Диаметр частиц d, мм	0,21	0,15	0,1	0,074	0,044	0,019	0,015
Замеренное время $t_д$, с	28,72	42,18	44,97	87,4	91,35	196	–
Расчетное время $t_р$, с	24,17	47,38	106,6	194,4	549,02	1183,1	4666,67
Коэффициент формы $k_ф = t_р / t_ф$	0,842	1,123	2,37	3,387	6,01	15,091	–

График зависимости коэффициента формы от размеров частиц (рис.3) показывает, что кривая может быть записана в виде функции [3]

$$k_ф = e^{\alpha_o}\left(\frac{1}{d}\right)^{\alpha_i}; \quad \ln k_ф = \alpha_o + \alpha_i \ln d^{-1}.$$

В конечном виде линейное уравнение приводит к формуле коэффициента формы:

$$k_ф = e^{-2,115} d^{-1,25} = 0,121 d^{-1,25}.$$

Для исследуемого гранулометрического состава руды со средневзвешенным размером частиц твердого материала диаметра $d_o = 0,038$ мм, коэффициент формы будет иметь значение $k_ф = 7,21$. Расчетные параметры линейной модели приведены в табл.3.

Таблица 3

Параметры линейной модели для коэффициента формы частиц

d, мм	$k_ф$	$y_i = \ln k_ф$	$x_i = \ln d^{-1}$	$x_i y_i$	x_i^2
0,21	0,842	–0,172	1,561	–0,258	2,437
0,15	1,123	0,116	1,897	0,22	3,599
0,1	2,37	0,863	2,303	1,987	5,304
0,074	3,387	1,22	2,604	3,177	6,781
0,044	6,01	1,792	3,124	5,601	9,759
$\sum_{i=1}^{n} y_i$	$y'_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$	$\sum_{i=1}^{n} x_i$	$x' = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$	$\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$	$\sum_{i=1}^{n} x_i^2$
8,911	1,273	18,959	2,708	29,809	55,884

В итоге получен поправочный коэффициент, учитывающий форму частиц и рассчитывающийся по формуле $k_ф = t_р / t_д = \omega_д / \omega_р$, а также найдена средняя гидравлическая крупность для заданного гранулометрического состава ($d_o = 0,038$ мм, $\omega_д = 7,81 \cdot 10^{-6}$ м/с).

Выводы

1. Для снижения энергоемкости гидротранспорта необходимо создать условия, при которых гидросмеси можно рассматривать как седиментационно-устойчивые.

2. Важное значение для расчета гидрокрупности твердого материала представленного гранулометрическим составом с неравномерным распределением размера частиц, имеет коэффициент формы, который показывает соотношение между реальной формой частицы и идеальной – шарообразной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров В.И.* Методы снижения энергоемкости гидротранспорта смесей высокой концентрации. Санкт-Петербургский горный ин-т, СПб, 2000.

2. *Покровская В Н.* Трубопроводный транспорт в горной промышленности. М.: Недра, 1985.

3. *Смолдырев А.Е.* Гидротранспорт высококонцентрированных гидросмесей в горной промышленности. М.: Недра, 1983.

Научный руководитель д.т.н. проф. *В.И.Александров*