Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т.110

УДК 622.648

КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОСМЕСЕЙ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНОЙ РУДЫ ДЖЕЗКАЗГАНСКОГО ГМК

И.Ш.ДЖУНУСОВ

Отличительной особенностью хвостов обогащения горно-металлургических предприятий является их мелкодисперсность. Это объясняется необходимостью переработки обедненных руд, что требует тонкого помола для более полного извлечения полезных компонентов. Наличие мелких классов в объеме гидросмеси во многом определяет ее качественные и количественные характеристики. Это проявляется в том, что гидросмесь при определенном содержании твердой фазы должна рассматриваться как неньютоновская жидкость, для которой известные расчетные формулы, применяемые обычно в гидравлическом транспорте, не могут быть использованы.

Процесс течения неньютоновских жидкостей условно можно разделить на три фазы. В первой фазе напряжения, возникающие в потоке, не превышают начального напряжения сдвига, обусловленного физико-химическим взаимодействием частиц твердой фазы и несущей жидкости. В этой фазе течение гидросмеси отсутствует. Вторая фаза наступает при возникновении в потоке напряжений, превышающих начальное напряжение сдвига. При этом происходит разрушение пространственной структуры жидкости, но оно не захватывает всего объема потока и происходит в основном в области гидродинамической оси, не доходя до периферии. При уменьшении напряжений в потоке гидросмесь восстанавливает начальную структуру. В третьей фазе наступает режим развитой турбулентности. Разрушение структурных связей охватывает весь поток, который при этом движется всем сечением. Из этой схемы видно, что наиболее выгодным режимом течения является режим, при котором происходит полное разрушение внутренней структуры потока, а удельные потери давления имеют минимальное значение. Для определения этого режима и соответствующей ему скорости потока, которую в данном случае можно рассматривать как предельную, необходимо установить значения начальных напряжений сдвига дисперсной системы.

В общем виде напряжения, возникающие в реологической системе, выражаются законом Шведова – Бингама

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{dv}{dn}, \qquad (I)$$

где τ – касательное напряжение сдвига в произвольный момент времени, Па; τ_0 – начальное напряжение сдвига (величина постоянная для данной системы), Па; μ – динамическая вязкость дисперсной системы, Па·с; dv/dn – градиент скорости по сечению потока, $с^{-1}$.

Из формулы (I) получим

$$\mu = \frac{(\tau - \tau_0)\, dn}{dv} \quad . \tag{2}$$

Заменив μ на $v \rho_г d$, будем иметь

$$v = \frac{(\tau - \tau_0)\, dn}{\rho_г d\, dv} \quad ; \tag{3}$$

где $\rho_г$ – плотность гидросмеси, $кг/м^3$; d – диаметр трубопровода, м.

Для развитого турбулентного режима число Рейнольдса $Re > 3200$, тогда

$$v_{пр} = \frac{\mu Re_{кр}}{d \rho_г} \quad , \tag{4}$$

$$v \geqslant v_{пр} \quad . \tag{5}$$

Таким образом, при известных значениях напряжений сдвига и плотности гидросмеси по формулам (I)–(5) можно определить необходимую скорость потока для данного диаметра трубопровода, а далее по формуле Дарси – Вейсбаха установить удельные потери давления и необходимое потребное давление, развиваемое при этом насосом.

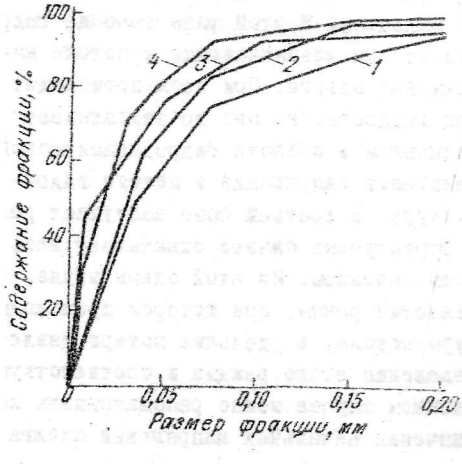


Рис.1. Функция распределения гранулометрического состава текущих хвостов обогащения: 1 – сульфидных руд Лениногорского ПМК; 2 – медно-цинковых руд Лениногорского ПМК; 3 – Иртышского ПМК; 4 – медных руд ОФ № 3 Джезказганского ГМК

Анализ фракционного состава хвостов обогащения медной руды Джезказганского ГМК и ряда других предприятий показывает, что в основном они представлены частицами мелких классов (52 % и более класса –40 мкм) (рис.I). Наличие мелких классов в объеме гидросмеси при определенной их концентрации приводит к образованию некоторой пространственной структуры гидросмеси, так как составляющая силы тяжести для таких частиц соизмерима по величине с силами физико-химических взаимодействий частиц твердого и жидкости. Применение формулы Стокса в данном случае для определения гидравлической крупности твердого приводит к результатам, не совпадающим с экспериментальными данными (см. таблицу).

Класс, мм	Время осаждения, с	Гидравлическая крупность, м/с	
		Эксперимент	Расчетная
0,21	28,72	$2,924 \cdot 10^{-2}$	$3,475 \cdot 10^{-2}$
0,15	42,18	$1,990 \cdot 10^{-2}$	$1,773 \cdot 10^{-2}$
0,10	44,97	$1,868 \cdot 10^{-2}$	$0,778 \cdot 10^{-2}$
0,074	57,4	$1,463 \cdot 10^{-2}$	$0,432 \cdot 10^{-2}$
0,044	91,35	$0,92 \cdot 10^{-2}$	$0,153 \cdot 10^{-2}$
0,030	109,84	$0,765 \cdot 10^{-2}$	$0,071 \cdot 10^{-2}$
0,019	196	$0,429 \cdot 10^{-2}$	$0,028 \cdot 10^{-2}$

Из таблицы следует, что фактическое время осаждения частиц значительно отличается от расчетных значений, начиная с размера $d = 0,1$ мм. С уменьшением крупности различие во времени увеличивается.

С помощью методов математической статистики была определена регрессионная зависимость коэффициента отклонения экспериментальных значений времени осаждения от теоретических, рассчитанных по формуле Стокса. Получена обобщенная формула для определения гидравлической крупности твердой фазы для хвостов медной руды Джезказганского ГМК:

$$w_{\Phi} = K w_0 = e^{-2,115} \frac{g(\rho_T - \rho) d n^{1,749}}{18 \mu_0 \rho}, \qquad (6)$$

где w_{Φ} – фактическая скорость осаждения частиц твердого, м/с; w_p – расчетное значение скорости осаждения, м/с; K – коэффициент отклонения экспериментальных значений от расчетных, $K = e^{-2,115} / d n^{1,251}$; ρ_T, ρ – плотность, соответственно твердой фазы и воды; μ_0 – динамическая вязкость воды, Па·с.

Значения гидравлической крупности, рассчитанной по формуле (6), с достаточной для практики точностью совпадают с экспериментальными данными. Несовпадение действительных значений гидравлической крупности с расчетными может быть оценено как косвенное подтверждение возникновения реологической структуры гидросмеси хвостов переработки при достижении определенных значений концентраций твердого.

Экспериментальное определение вязко-пластичных характеристик производилось на ротационном вискозиметре для легко расслаивающихся суспензий в лаборатории ВНПОбумпрома. Содержание твердой фазы изменялось от 20 до 75 % по массе. Было установлено, что до концентрации 62 % вязкопластичные свойства не проявляются. При этих концентрациях гидросмесь проявляет обычные свойства разделяющихся систем. Начало проявления реологических свойств соответствует концентрации более 62 % (40 % по объему). Начальное напряжение сдвига возрастает по мере увеличения концентрации до 24 Н/м^2.

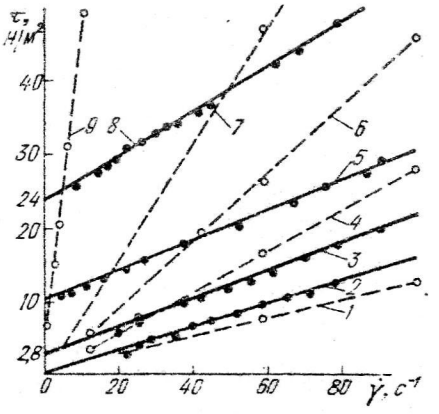


Рис.2. Экспериментальные реологические зависимости для различных концентраций гидросмеси: 1 - C_p = 17,4 %; 2 - 62,23; 3 - 65,7; 4 - 42,0; 5 - 71,0; 6 - 49,3; 7 - 59,0; 8 - 73,2; 9 - 61,0
— — — данные Соботы и Кемпински;
—— данные автора

На рис.2 приведены зависимости напряжения сдвига от градиента скорости для различных значений концентраций хвостов в гидросмеси. Из графиков следует, что вязкость гидросмеси в определяющей степени зависит от концентрации твердой фазы. При изменении концентрации C_p от 62 до 71 % эта зависимость выражена незначительно. Но при переходе к более высоким концентрациям (в эксперименте 73,2 %) происходит резкий скачок в сторону увеличения величины вязкости, так как увеличивается угол наклона прямой к оси абсцисс.

Сравнение приведенных экспериментальных результатов с данными, полученными при исследовании хвостов переработки медной руды, но большей крупности[x], подтверждает вывод о том, что реологические свойства таких хвостов возникают при гранулометрическом составе, соответствующем содержанию классов -0,040 мм не менее 50-60 %. В работе Соботы и Кемпински эксперименты проводились в аналогичных условиях на ротационном вискозиметре, но в качестве несущей среды использовалась водно-глицериновая смесь, поэтому начальные напряжения сдвига при всех значениях концентраций были равны нулю или около нуля, что говорит об отсутствии вязко-пластичных свойств данной гидросмеси.

Выводы

I. Гидросмеси хвостов обогащения минерального сырья при объемных концентрациях 40 % и более обладают реологическими свойствами. Это определяется возникновением в объеме потока определенной пространственной структуры, связи которой зависят от крупности частиц твердого и физико-химического взаимодействия твердой и жидкой фаз.

2. При расчете систем гидравлического транспорта для данной гидросмеси необходимо учитывать наличие реологических и вязко-пластичных свойств при выборе оптимальных параметров транспортирования.

3. Определяющее влияние на проявление реологических свойств оказывает содержание частиц мелких классов (40 % и более по объему).

---

[x] S o b o t a J., K e m p i n s k i J. - Hidromechanisation 4. Karl-Marx Stadt, 2.10-4.10, 1985, Teil II.