УДК 622.008.48

И.А.БОСТАН
Горно-электромеханический факультет, группа ГМ-01-1
Н.А.ЕКИМОВ
Горно-электромеханический факультет, группа ГМ-01-2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ТЕЧЕНИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

Запасы руды цветных металлов в настоящее время значительно истощились, а производство металлов не сократилось и с каждым годом возрастает. Для извлечения металла в концентрат необходимо тонко измельчить руду. При таких технологиях резко возрастает выход мелкофракционных хвостов обогащения и увеличивается нагрузка на гидравлический транспорт. Для повышения эффективности гидравлического транспорта необходимо увеличивать концентрацию мелких твердых частиц в объеме пульпы. Важное значение имеет способность твердых частиц образовывать в объеме пульпы пространственную структуру, при которой гидросмеси можно рассматривать как седиментационно-устойчивые. Вопросу исследования седиментационной устойчивости хвостов обогащения медной руды посвящена данная статья.

Reserves of nonferrous metal ores have depleted in resent years, but metal fabrication hasn't been reduced and is increasing from year to year. Consequently mining industry has to extract and process very big quantities of ores. Complex ores usually contain less than 1 percent of useful metal. It is necessary to crush the ore into small particles for metal extraction. Due to this technology the amount of fine mill tailings sharply increases as well as loads on hydraulic transport of the tailings. To increase the efficiency of hydraulic transport it is necessary to increase concentration of fine solid particles in the slurry. The ability of solid particles to form spatial structures in the slurry is of primary importance as such hydromixtures can be considered as stable to sedimentation. This paper studies issues of sedimentation stability of copper ore mill tailings.

При гидравлическом транспорте мелкодисперсных хвостов обогащения в объеме пульпы при определенных концентрациях (относительно высоких) образуется устойчивая структура, определяемая количеством частиц в сечении трубопровода. Такие гидросмеси относятся к жидкостям 3-го порядка [3]. При течении таких гидросмесей по трубопроводам начинают проявляться реологические свойства в виде начального напряжения сдвига и зависимости вязкости смеси от градиента скорости, что можно записать в виде уравнения Бингама-Шведова:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dr}, \qquad (1)$$

где τ – напряжение на стенке трубопровода, Па; τ_0 – начальное (статическое) напряжение сдвига, Па; η – динамический коэффициент вязкости, являющийся функцией концентрации твердых частиц, $\eta = f(c_v)$, c_v – объемная концентрация твердых частиц.

Интегрирование формулы (1) приводит к уравнению Букингама, которое устанавливает зависимость расхода пульпы от кинематических параметров потока и учитывает соотношение радиуса ядра потока и радиуса трубопровода для различных зон течения по сечению трубы (рис.1). При определенных условиях ($\tau_0 = 0$ и $r_0 = 0$) ядра потока нет, и уравнение Букингама переходит в уравнение Пуазеля.

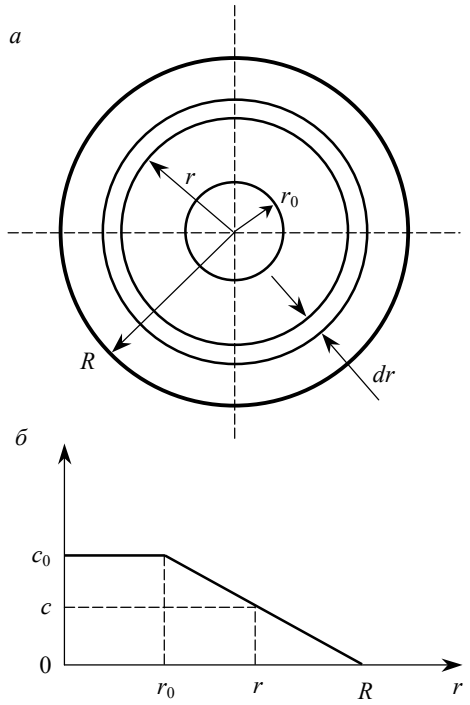


Рис.1. Схема (*а*) и график (*б*) потока в поперечном сечении трубопровода

Уравнение Букингама справедливо в полной мере для жидкостей, у которых вязкость не изменяется по сечению, например смола (бингамовские пластики). Для большинства гидросмесей, у которых вязкость – функция концентрации, вязкость изменяется по сечению. В ядре потока (рис.1) концентрация максимальная и она убывает от границы ядра потока до нуля на стенки трубопровода радиусом R.

Для чистых жидкостей (бингамовских пластиков) вязкость – постоянная величина, и интегрирование уравнения Бингама-Шведова приводит к интегралу Букингама, справедливого во всей области изменения градиентов скорости при постоянной вязкости [2]. В применении к гидросмесям (мелкофракционным) формула Букингама не дает правильного решения, так как вязкость смеси, являющаяся функцией концентрации твердых частиц, не является постоянной величиной, а изменяется по сечению трубопровода так же, как и концентрация.

Принимая линейный характер, можно получить значения концентрации для любой произвольной точки сечения. Путем несложных математических рассуждений была получена зависимость значения средней (исходной) концентрации гидросмеси как функции концентрации в ядре потока и радиуса течения, а также формула для концентрации в ядре потока c_0.

Фактически концентрация гидросмеси в ядре потока определяет значение структурной вязкости, величина которой зависит от коэффициента структуры. В этом случае запишем

$$\eta_0 = \eta_{st} = \eta_p K_p k_{st} = \eta_p k_\eta, \qquad (2)$$

где $\eta_0 = \eta_{st}$ – структурная вязкость в ядре потока; η_p – пластическая вязкость; K_p – коэффициент пластичности; k_{st} – коэффициент структуры; k_η – коэффициент вязкости.

С другой стороны, вязкость гидросмесей пропорционально возрастает при увеличении концентрации. Тогда справедлива формула [1]

$$\eta = \mu k_c(c_v),$$

где k_c – функция, определяющая численное значение коэффициента изменения вязкости чистой жидкости от концентрации твердых частиц.

В соответствии с этим для вязкости гидросмеси в ядре потока получим формулу

$$\eta_0 = \mu k_c(c_0) = \mu k_c\left(\frac{3c_v}{1+\rho_0+\rho_0^2}\right), \qquad (3)$$

которую удобно представить в виде экспоненты

$$\eta = \mu e^{kc_v}, \qquad (4)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости чистой жидкости; k – экспериментальный коэффициент, определяемый на основе вискозиметрических измерений; c_v – объемная концентрация твердых частиц в данном сечении.

Зная закон изменения концентрации, можно для любой точки сечения определить величину вязкости и далее приступить к интегрированию уравнения Бингама для новых граничных и начальных условий.

Выводы

1. При гидравлическом транспорте хвостов обогащения гидросмесей полиметаллических руд концентрация твердых частиц в сечении потока изменяется от максимального значения на границе ядра потока до нуля на стенке трубопровода. В связи с этим при расчете системы гидротранспорта необходимо учитывать, что вязкость гидросмеси как функция концентрации твердых частиц не является постоянной величиной по сечению потока, а изменяется от максимального значения на границе ядра потока до вязкости чистой жидкости на стенке трубопровода.

2. Зависимость вязкости гидросмеси от концентрации твердых частиц можно представить в виде экспоненциальной зависимости (4), в которой эмпирический коэффициент k определяется экспериментальным путем на основе вискозиметрических данных для различных концентраций гидросмеси.

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*