Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Том 141. СПб, 1995

УДК 622.799.5:622.348.9

МАНУЭЛЬ СУАРЕС, В.И.АЛЕКСАНДРОВ,
В.П.ДОКУКИН, А.К.НИКОЛАЕВ

МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ГИДРОСМЕСИ МЯГКОЙ СЕРПЕНТИНИТОВОЙ РУДЫ

Существующие запасы окисленных никелевых руд Республики Куба состоят из лимонитовой (железистой) и серпентинитовой (магнезиальной) фракций, при этом серпентиниты составляют примерно одну треть запасов. Технологический процесс переработки серпентинитовых руд на предприятии имени Педро Сото Альба и разница геодезических высот между заводом и месторождением делают более выгодным применение самотечного гидротранспорта обогащенного минерала до металлургического завода как наиболее экологически чистого вида транспорта продуктов обогащения и к тому же не требующего снабжения энергией. Однако состав твердой фазы пульпы создает определенные трудности для ее движения. В таблице приведены основные параметры, характеризующие состав серпентинитовой мягкой руды.

Гранулометрический и химический составы
серпентинитовой руды

Класс, мм	Содержание по массе, %	Химический состав					
		Ni	Co	Fe	Al	Mg	Zn
+0,83	5,5	0,43	0,05	46,2	9,4	1,5	1,66
0,83–0,5	1,5	0,68	0,25	38,1	9,9	2,1	2,12
0,50–0,2	2,1	0,89	0,28	32,1	8,8	2,	2,67
0,20–0,1	2,5	1,01	0,24	33,7	8,4	1,9	3,83
0,10–0,04	3,4	1,22	0,29	37,1	6,3	1,5	5,53
-0,044	85,0						

Из таблицы видно, что основу твердой фазы составляют классы крупности менее 0,044 мм, а это связано с возможностью образования структурной гидросмеси.

Эксперименты с гидросмесью мягкой серпентинитовой руды показали, что при увеличении концентрации до критического значения начинают проявляться

вязкопластичные свойства пульпы, т.е. действительно образуется структурированная система.

Лабораторные исследования реологических свойств гидросмеси серпентинитовой мягкой руды были выполнены на капиллярном вискозиметре химического факультета Политехнического института г.Сантьяно де Куба и ротационном вискозиметре в Санкт-Петербургском горном институте. Результаты исследований показали, что гидросмеси с массовой концентрацией до 40 % твердого проявляют свойства ньютоновских жидкостей, а после 40 % характер течения меняется: течение гидросмеси начинается только после приложения определенного усилия, характеризующего начальное напряжение сдвига, что присуще неньютоновским жидкостям.

В основе модели течения такой гидросмеси лежит уравнение Шведова - Бингама, т.е. основную роль приобретает структурная вязкость гидросмеси. Вязкость является функцией концентрации $\eta = f(S)$, которая в свою очередь является функцией радиуса потока пульпы. Следовательно, можно записать

$$\eta = f\left[S(r)\right]. \qquad (I)$$

В настоящее время наиболее обоснованным решением для определения кинематических и интегральных характеристик реологического потока является уравнение Букингама, но в случае течения неньютоновских жидкостей уравнение Букингама также не вполне корректно, так как в нем предполагается, что вязкость является постоянной характеристикой смеси, т.е. $\eta = const$. Однако это противоречит нашему выводу (I).

В итоге задача сводится к интегрированию уравнения Шведова - Бингама и определению функции $\eta = f\left[S(r)\right]$.

При движении в потоке разнородные твердые частицы будут сегрегироваться по кольцевым зонам разной крупности. Причем ширина зон и концентрация твердой фазы в них будут зависеть от начального гранулометрического состава. Из этого следует, что вязкость в каждой кольцевой зоне вполне определенная. Рассматривая каждую зону как самостоятельный поток, зная зависимость вязкости от концентрации частиц для данной кольцевой зоны крупности, установим формулу для определения вязкости гидросмеси, содержащей мягкую серпентинитовую руду.

Рассмотрим течение исследуемой гидросмеси в цилиндрической трубе радиусом R, длиной l и перепадом давления ΔP.

Уравнение Шведова - Бингама

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dr}.$$

Откуда

$$du = \frac{(\tau - \tau_0)}{\eta} dr. \qquad (2)$$

Зная, что

$$\tau_0 = \frac{\Delta P}{2l} r_0 \quad \text{и} \quad \tau = \frac{\Delta P}{2l} r,$$

а также принимая, что концентрация потока изменяется от центра трубы к стенкам и соответственно $\eta = \eta(r)$, получаем

$$du = \frac{\Delta P}{2l} \cdot \frac{r - r_0}{\eta} dr. \qquad (3)$$

Когда $r = R$, скорость потока $U = 0$. Интегрируя уравнение (3), получим

$$U = \frac{\Delta P}{2l} \int_r^R \frac{r - r_0}{\eta} dr. \qquad (4)$$

Из зависимости (4), принимая $r = x$, можно получить значения скорости для кольцевой зоны U и для ядра потока U_0.

Принимая во внимание функцию (I), установим соотношения

$$\frac{r_0}{R} \longrightarrow \frac{\tau_0}{\tau}; \quad r = R\,x, \quad x = \frac{r}{R}.$$

При $r = R$

$$x = 1; \quad r = r_0; \quad x = \frac{r_0}{R} \longrightarrow \frac{\tau_0}{\tau}.$$

Предполагая, что вязкость находится в экспоненциальной зависимости от концентрации, можно записать

$$\eta = A\, e^{\alpha\left[S_0 - \frac{S_0 - S}{1 - \frac{\tau_0}{\tau}}\left(x - \frac{\tau_0}{\tau}\right)\right]}, \qquad (5)$$

где

$$A = \int_{\frac{\tau_0}{\tau}}^{1} \frac{x^2\left(x - \frac{\tau_0}{\tau}\right)}{e^{\alpha(1 - x^2)}} dx.$$

Коэффициент α для большого класса гидросмесей со значительным содержанием мельчайших частиц близок к единице.

Экспериментальными исследованиями вязкопластичных характеристик серпентинитовых мягких руд на ротационном вискозиметре в отраслевой лаборатории гидротранспорта Санкт-Петербургского горного института были установлены численные значения составляющих формулы (5) и она приобрела вид, удобный для использования в гидравлических расчетах гидросмесей подобного типа:

$$\eta = 8{,}78 \cdot 10^{-5}\ e^{16{,}4\,S}, \qquad (6)$$

где S – объемная концентрация гидросмеси.

Как показали эксперименты, выполненные на полупромышленной установке (г. Моа, Куба), распределение скоростей в поперечном сечении трубопровода при течении пульпы серпентинитовой мягкой руды аналогично распределению скоростей при движении структурной суспензии угля. При скоростях потока $U < 2$ м/с ядро занимает бо́льшую часть поперечного сечения трубопровода. Турбулентный режим потока начинается при скорости $U > 2\text{–}1{,}5$ м/с.