

И. З. МАРГОЛИН

**К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТЯЖЕЛЫХ СУСПЕНЗИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ  
МИНЕРАЛОВ ПО УДЕЛЬНОМУ ВЕСУ \***

*(Представлено академиком П. А. Ребиндером 12 XII 1952)*

Грубодисперсные, легко седиментирующие суспензии ферросилиция с удельным весом 2,5—3,2 (объем твердой фазы до 44%) широко применяются в технике для отделения легкой пустой породы от кусков, содержащих более тяжелый полезный минерал (1).

Успешность процесса определяется точностью разделения мелких (1—3 мм в поперечнике) зерен с удельным весом немного большим, чем у среды. Они движутся в последней столь медленно, что слабый восходящий поток, создаваемый в сепараторе с целью сохранения постоянной плотности суспензии по высоте, может выносить их с пустой породой, увеличивая этим потери ценного ископаемого.

Единственным прибором, которым пользуются для оценки технологических свойств таких сред в настоящее время, является капиллярный вискозиметр Шелтона — де Вани с мешалкой, помещенной в расширенной части прибора и делающей 900 об/мин (2, 3). Общеизвестно, что «кажущаяся вязкость», определяемая при помощи капиллярных вискозиметров, в случае вязко-пластических сред вообще не может служить их реологической характеристикой. Параметры же, получаемые посредством упомянутого выше прибора, имеют недостаточно ясный физический смысл, тем более что нижняя лопасть мешалки, находящаяся у самого входа в капилляр, резко турбулизирует поток и усложняет картину истечения \*\*.

Предлагаемый метод принципиально отличается от вышеописанного тем, что здесь измеряются не параметры, характеризующие свойства среды косвенным образом, а непосредственно оценивается сопротивление, которое испытывает мелкое зерно руды, медленно движущееся в суспензии. Это движение моделируется перемещением в восходящем потоке тонкой пластинки, имеющей такую же удельную поверхность, как и рассматриваемое зерно.

Сравнивая эффективный удельный вес пластинки с удельным весом самого тяжелого кусочка породы, всплывшего в сепараторе, удается, во-первых, оценить степень соответствия вычисленного сопротивления сдвигу и истинного, а во-вторых, предсказать результаты процесса разделения руды в данной суспензии (по кривым обогатимости).

Для испытаний служит простой пластометр. На легком дюралевом барабане при помощи двух ниток подвешиваются железные, заостренные на концах пластинки толщиной от 0,4 до 1 мм, шириной 50 мм,

\* Экспериментальная часть работы выполнена А. Г. Зуевой.

\*\* Мы доказали опытным путем (4) отсутствие соответствия «кажущейся вязкости» (по Шелтону) с поведением кусков ископаемого в суспензии.

длиной 30, 40, 60 и 80 мм \*. По другую сторону подвешивается бумажная чашечка для разновеса. Сначала подбирается такой груз  $P_1$ , чтобы пластинка перемещалась вниз со скоростью 0,10—0,15 см/сек, а затем — груз  $P_2$ , при котором она движется снизу вверх со скоростью, немного большей скорости слабого восходящего потока в коробке пластометра. Испытуемая суспензия нагнетается сюда снизу миниатюрным центробежным насосом и возвращается в него по желобку из верхней части коробки.

При отсутствии в потоке неразрушенной структуры определяют «условное предельное сопротивление сдвигу»

$$\tau_0 = \frac{G - A - P_2}{F},$$

где  $G$  — вес пластинки \*\*,  $F$  — ее площадь,  $A$  — вес вытесненной среды.

В прочих случаях пользуются значениями «эффективного напряжения от собственного веса»:  $\tau_a = \frac{G - P_2}{F}$  и «эффективного удельного зеса»

$$\gamma_a = \frac{G - P_2}{V} \quad (V \text{ — объем пластинки}).$$

Из сказанного видно, что наш пластометр в известном смысле сходен с прибором Вейлера — Ребиндера. Однако, в отличие от последнего, здесь определяют не инвариантные реологические параметры неразрушенных структур, а величину удельного веса зерна руды заданной крупности, при котором это зерно не утонет в испытуемой суспензии.

Рассматриваемые среды характеризуются высокой пластичностью, по сравнению с которой вязкость играет второстепенную роль. Впрочем, самая постановка задачи — исследование крайне медленных перемещений рудных зерен — предопределяет малое значение кинетического фактора (вязкости). Практически характеризовать суспензию ее вязкостью не имеет смысла. Так, в одном случае, когда в суспензию ферросилиция было добавлено немного бентонита, условное предельное сопротивление сдвигу  $\tau_0$  достигло огромного значения 170 мГ/см<sup>2</sup>. Увеличение нагрузки до 172 мГ/см<sup>2</sup> вызвало повышение скорости пластинки с 0,15 до 2 см/сек, т. е. более чем в 13 раз. Отсюда вытекает важное для технолога следствие: если кусок руды обладает достаточным запасом пловучести для преодоления  $\tau_0$ , то дальнейшее всплывание будет происходить под влиянием ничтожного добавочного усилия со скоростью несколько меньшей, чем в воде.

Предлагаемый метод позволяет определить, насколько среда сходна по своему поведению с истинной жидкостью. Чем больше это сходство, тем меньше разнятся  $P_1$  и  $P_2$ . Так как прибавление пептизатора вызывает обычно сближение  $P_1$  и  $P_2$  и снижение условного предельного напряжения сдвига, то можно предположить, что разность  $P_2 - P_1 = \Delta P$  характеризует прочность структуры, сохраняющейся в потоке, а разность значений  $P_1$  при частичном и полном разрушении — долю коагуляционных сил в общем пластическом сопротивлении.

Приведем характерный пример влияния пептизатора (см. табл. 1). Часто бывает, что добавка пептизатора снижает только величину  $G - P_1$ , разность же  $G - P_2$  остается без изменения. Например, до прибавления сульфитного щелока  $G - P_1$  в одном опыте равнялось 10,6 Г,  $G - P_2 = 6,3$  Г; после прибавления щелока  $G - P_1$  оказалось равным 6,5 Г,  $G - P_2 = 6,3$  Г \*\*\*.

\* Различные длины и толщины пластинок берут лишь для доказательства инвариантности получаемых сопротивлений сдвигу. Практически удобно пользоваться только двумя пластинками: 0,05 × 5 × 8 см и 0,1 × 5 × 8 см. При больших толщинах и малой длине заметно сказываются краевые эффекты, влияние которых трудно исключить.

\*\* С поправкой на вес осевшего суспензоида.

\*\*\* Ср. также опыты 1 и 4 в табл. 1. Здесь  $G - P_2$  очень близки между собой.

№ опытов		$G - P_1$ в Г	$G - P_2$ в Г	$\Delta P$ в Г
1	Суспензия чистого ферросилиция (уд. вес 2,70)	8,0	6,9	1,1
2	То же с добавкой 4 г/л бентонита	13,7	11,2	2,5
3	То же с добавкой 2 г/л пирофосфата натрия	11,2	9,3	1,9
4	То же с добавкой еще 2 г/л пирофосфата	6,7	6,6	0,1
5	То же с добавкой еще 2 г/л пирофосфата	8,6	8,2	0,4
6	То же с добавкой еще 2 г/л пирофосфата	17,1*	—	—

\* Пластика тонет чрезвычайно медленно.

Можно предположить, что в первом случае структура полностью разрушилась верхней кромкой пластинки. Среда воздействовала на нижний торец ее как жидкость, и архимедова сила проявилась целиком. При ходе же вниз нижняя кромка все время находилась в структуре, разрушенной лишь частично, а потому «потеря в весе» не равнялась весу вытесненной среды.

Если суспензия не седиментирует слишком быстро, то для изучения хода разрушения структуры в потоке при разных его скоростях лучше не пользоваться насосом, а выпускать суспензию в пластометр непосредственно из сосуда, поставленного на известной высоте.

При медленном равномерном движении сопротивление  $\tau_0$  на поверхности пластинки уравнивается ее весом, приходящимся на 1 см<sup>2</sup> этой поверхности.

Так как для пластинки  $\frac{\text{объем}}{\text{поверхность}} = \frac{bhl}{2hl} = \frac{b}{2}$  ( $b, h, l$  — толщина, ширина и длина ее в см), то

$$\tau_0 = \frac{b}{2} (\gamma_s - \gamma_c), \quad (1)$$

где  $\gamma_c$  — удельный вес суспензии.

Если зерно руды всплывает с очень малой скоростью, величина  $P_2$  близка к  $P_1$  и значения  $\tau_0$  не слишком велики, то для приближенного определения граничного удельного веса  $\gamma_p$  этого зерна имеем из формулы (1):

$$\gamma_p - \gamma_c = k \frac{\tau_0}{d}, \quad (2)$$

где  $d$  — диаметр зерна,  $k$  — коэффициент для перехода от пластинки к эквивалентной по удельной поверхности форме зерна. Для форм, близких к кубу или шару, можно принять  $k = 6$ . Для кусков пластинчатой формы, по предварительным данным,  $k = 7-7,5$ .

При больших значениях  $\tau_0$  начинает сказываться влияние слоя суспензии, движущегося вместе с пластинкой, и  $\gamma_p$  получается завышенным по сравнению с истинным. Например, в одном опыте наиболее тяжелый кусок всплывшей руды диаметром 0,6 см имел фактический удельный вес 2,88. Суспензия при  $\gamma_c = 2,61$  оказывала сопротивление  $\tau_0 = 0,030$  Г/см<sup>2</sup>, т. е.  $\gamma_p = 2,91$ . В другом же случае фактический удельный вес куса руды диаметром  $d = 0,9$  см равнялся 3,31, а вычисленный 3,56. Здесь при  $\gamma_c = 2,70$  сопротивление  $\tau_0$  достигало совершенно недопустимо высокого значения 130 мГ/см<sup>2</sup>; кроме того, в сепараторе, откуда была взята проба всплывших хвостов, наблюдался слабый нисходящий поток вместо восходящего. Вообще, на основании опыта мы считаем, что в обычных случаях при минималь-

ном размере кусков руды в 0,5 см  $\tau_0$  не должно превышать 30—50 мг / см<sup>2</sup>, однако допустимая величина условного предельного сопротивления сдвигу определяется в каждом отдельном случае в зависимости от характера руды и заданного извлечения полезного минерала в мелких классах.

На основе вышесказанного можно вычислить изменения кривой распределения крупности всплывшего и осевшего материала по сравнению с исходным, а также приблизительно определить увеличение содержания полезного минерала во всплывшей мелочи за счет обеднения осевших мелких фракций.

Государственный научно-исследовательский  
институт горно-химического сырья  
(ГИГХС)

Поступило  
17 XI 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. З. Марголин, Обогащение руд в тяжелых суспензиях, 1946. <sup>2</sup> Report of Investigations U. S. Bureau of Mines, № 3469-R (1940). <sup>3</sup> С. Г. Евсикович, Канд. диссерт., Ин-т Механообр, Л., 1952. <sup>4</sup> Справочник по обогащению полезных ископаемых под ред. Таггарта, доп. И. З. Марголина к т. III, 1952.