

УДК 622.7

**А.П. ГОРБАЧЕВА**

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ГЛУБИНЫ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ В ТЯЖЕЛЫХ СРЕДАХ**

При обогащении полезных одним из главных параметров является глубина обогащения. От данного параметра зависят реологические свойства суспензии, производительность процесса и даже эксплуатационные расходы. Одной из проблем при обогащении в тяжелых средах является уменьшение крупности утяжелителя и угля в результате усовершенствования оборудования для дробления и измельчения. Данное обстоятельство приводит к повышению вязкости, а также потерям утяжелителя, так как крупность угля и магнетита, который используется для создания тяжелой среды, близки по крупности.

Делались попытки обогащения в суспензиях мелкого угля до 1 мм в ламинарных мойках и даже до 0.1 мм в гидроциклонах, но опыты не вышли за пределы лаборатории. Причиной данных ограничений было снижение производительности при уменьшении крупности. [1] Одной из физических величин, характеризующей размер взвешенных частиц в дисперсных системах является дисперсность. Дисперсность определяется как отношение площади поверхности частиц к занимаемому ими объёму или к их суммарной массе. Уменьшение степени дисперсности не приводит к качественному изменению свойств суспензии и плотность может исчисляться как средневзвешенное значение плотностей твердой и жидкой фаз, при условии определенного соотношения частиц утяжелителя и кусков обогащаемого угля.

Увеличение дисперсности твердой фазы увеличивает количество жидкости образующей защитные слои на твердых частицах, что ведет к уменьшению подвижности системы. Помимо этого, при увеличении дисперсности утяжелителя возрастает вероятность образование сольватных оболочек вокруг зерен дисперсного вещества, сопровождающаяся повышением вязкости. Для повторного применения утяжелителя нецелесообразно использовать суспензии низкой дисперсности, так как они кинетически неустойчивы и твердая фаза быстро выпадает в осадок, что приводит к нарушению постоянной плотности и невозможности разделения угля по удельному весу с рациональной точностью. При этом возникает проблема выбора крупности утяжелителя.

Ограничения по крупности происходят по причине неравномерного распределения скоростей потока суспензии по сечению ванны, вследствие чего возникают местные токи большой скорости и образуются вихри, которые нарушают состояние покоя суспензии и препятствуют свободному расслоению угля и ведут к снижению точности разделения. [2]

При разделении в суспензии очень большую роль также играет форма зер-

## Гравітаційна сепарація

на. Зерна с угловатой формой более высокого удельного веса при движении встречают большее сопротивление, чем частицы округлой формы. Угловатая форма частиц приводит к повышению вязкости частиц и тем самым к потерям утяжелителя и ценного компонента. Так как частицы имеют несферическую форму, в результате исследований была принята кубическая форма упаковки частиц. Коэффициент кубической упаковки твердой фазы равен  $\pi/6$ , а для реальных суспензий 0,625. Также важным параметром, который характеризует форму частиц, является коэффициент формы частиц, который обозначается  $k_s$  и равен 10,6.

Для того, чтобы определить влияние выше описанных параметров на глубину обогащения, была использована ниже приведенная формула скорости падения частицы в жидкой среде. [3]

$$v = \frac{d^2(\delta - \Delta)g}{18\mu}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр материала, м;  $\delta$  – плотность магнетита,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Delta$  – плотность воды;  $\mu$  – вязкость суспензии,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Из формулы (1) был выведен параметр диаметра частиц:

$$d = \sqrt{\frac{18v\mu}{(\delta - \Delta)g}}. \quad (2)$$

В формуле (2) вязкость магнетитовой суспензии будет равна

$$\mu_c = \frac{\mu_0}{1 - \sqrt[3]{c_v(1 + \lambda s)/k_y}}, \quad (3)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент динамической вязкости магнетитовой суспензии,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $c_v$  – объемная концентрация твердой фазы, %;  $\lambda$  – толщина пограничного слоя, м;  $s$  – удельная поверхность,  $\text{м}^{-1}$ ;  $k_y$  – коэффициент формы частицы.

Подставив параметр вязкости в формулу (2), было получено диаметр частиц:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu v}{1 - \sqrt[3]{c_v(1 + \lambda S)/K_y} \cdot (\delta - \Delta)g}}. \quad (4)$$

Параметр  $S = k_s/d$ .

Значения следующих параметров были приняты:  $\mu_0 = 0,01$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$c_v = 0,2$  дол. ед.;  $\lambda = 10^{-6}$  м;  $s = 10,6/0,05$ ;  $k_y = 0,625$ ;  $\delta = 4,5$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta = 1$  кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,81$  м<sup>2</sup>/с.

Подставив данные значения в формулу (4), была получена зависимость

$$d = 0,04v$$

Данная зависимость дает представление о взаимосвязи между пределом обогащения и скоростью осаждения материала в суспензии. Используя полученную взаимосвязь между данными параметрами, можно проанализировать каким все-таки является нижний предел обогащения. На рисунке 1 представлен график зависимости между крупностью материала и его скоростью осаждения.

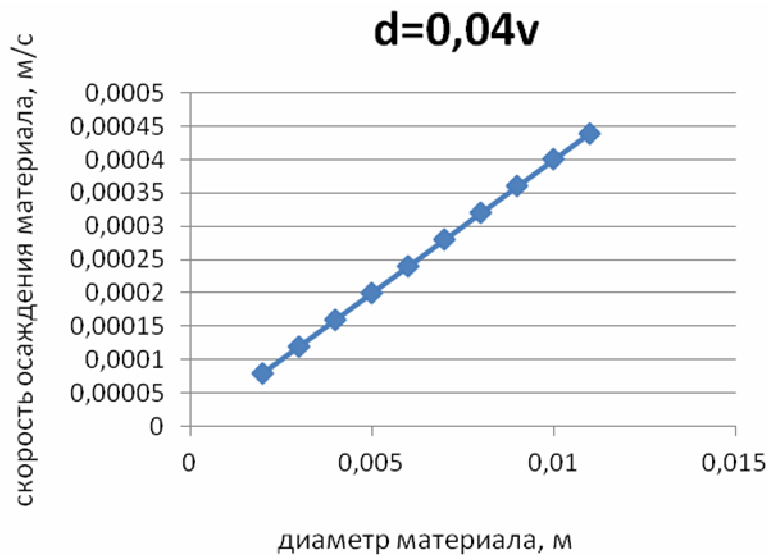


Рис. 1. График зависимости между крупностью материала и его скоростью осаждения

О пределе обогащения можно судить по необходимой нам рациональной скорости осаждения, при которой бы суспензия находилась во взвешенном состоянии и имела свойство текучести.

Пульпы со скоростью осаждения менее 0,05-0,15 мм/с при применении обычных трубопроводов, могут классифицироваться в качестве "неоседающих".

Пульпы со скоростью осаждения более чем 0,06-0,15 мм/с следует классифицировать как "оседающих".

Как известно, от скорости осаждения частиц зависит вязкость суспензии, поэтому для того, чтобы создать наиболее рациональные реологические условия для обогащения, была найдена математическая модель для выявления данной зависимости.

Так как, из выше приведенного выражения известно, что  $d = 0,04v$ , поэтому математическая модель для вязкости магнетитовой суспензии выглядит сле-

## **Гравітаційна сепарація**

дующим образом:

$$\mu = \frac{(0,04 v)^2 (\delta - \Delta) g}{18 v}. \quad (5)$$

Подставив в выражение (5) уже известные значения параметров, была получена зависимость:

$$\mu = \frac{0,0016v(\delta - \Delta)g}{18}; \quad (6)$$

$$\mu = 0,003v; \quad (7)$$

$$v = \mu/0,003. \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в формулу (1), было получено выражение для определения параметра глубины обогащения:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu 333\mu}{(\delta - \Delta)g}}. \quad (9)$$

Подставив известные значения параметров, была получена следующая зависимость глубины обогащения от вязкости суспензии:

$$d = 13,2 \mu. \quad (10)$$

Из выше приведенных выражений можно сделать вывод, что получена математическая модель, которая позволяет определить при каком диаметре частиц материала будет определенное значение вязкости суспензии, что позволит подобрать необходимые параметры с минимальными затратами и оптимальной производительностью.

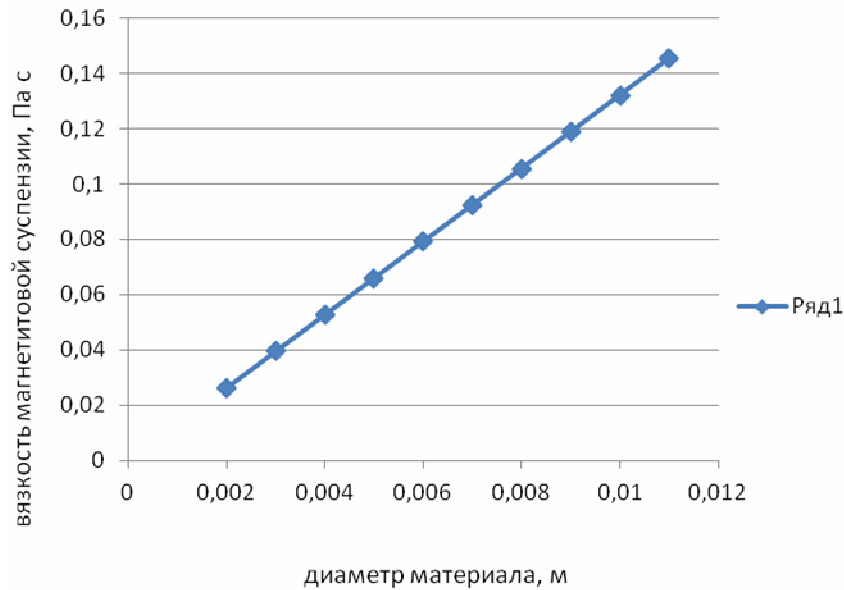


Рис. 2. Графік залежності в'язкості магнетитової суспензії від діаметра матеріала

Из графика зависимости вязкости магнетитовой суспензии от диаметра материала можно сделать вывод, что чем крупнее частицы, тем допускается большее значение вязкости суспензии, чтобы обеспечить ее текучесть и нахождение частиц в взвешенном состоянии.

### *Вывод*

Из данной статьи можно сделать вывод, что предел обогащения можно изменять в зависимости от крупности исходного материала, так как с помощью полученных математических моделей есть возможность определить как изменяться параметры скорости осаждения частиц и вязкость суспензии, что позволит контролировать реологические свойства суспензии при обогащении в тяжелых средах.

### Список литературы

1. Музылев Г.А. Обогащение угля в минеральных суспензиях. – М.: Углетехиздат, 1954. – 127 с.
2. Землянский П.П. Обогащение угля в тяжелых средах: – М.: Углетехиздат, 1953. – 168 с.
3. Пилов П.И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых: Учебное пособие. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2010. – 127 с.

© Горбачева А.П., 2015

*Надійшла до редколегії 28.06.2015 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*