УДК 658.52

А.М.ВАСИЛЬЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВЯЗКОСТИ ВОДЫ И ЯВЛЕНИЯ СЕГРЕГАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рассмотрен метод изучения явления сегрегации и полученные с его помощью количественные данные. Приведено влияние вязкости воды на показатели обогащения полезных ископаемых с разных точек зрения: теоретической и экспериментальной. После анализа соответствующей литературы сделан выбор формулы и проведен по ней расчет, который показал различия в средних скоростях потока движения воды по винтовой поверхности. В экспериментальной части проведены опыты на винтовом шлюзе ВШ-350.

In the given article the method of analysis of a phenomenon of a segregation and its quantitative datas, obtained with the help is reviewed, influence of viscosity of water on parameters of enrichment of minerals, from two different points of view is considered: theoretical and experimental. After gathering and the analysis of the corresponding literature the choice of the formula is made and calculation which has shown distinctions in average speeds of a stream of movement of water on a screw surface is made on it. In an experimental part, experiences on screw sluice VS-350 are lead.

В последнее время наиболее широко применяемым методом обогащения многих полезных ископаемых является флотация. Однако гравитационные процессы до сих пор имеют значительное распространение в практике обогащения руд черных, цветных и редких металлов и преобладающее при обогащении углей, руд и россыпей благородных металлов и неметаллических полезных ископаемых. Среди всего многообразия гравитационных аппаратов заслуживает отдельного внимания винтовой сепаратор [9].

В винтовых сепараторах разделение руды по плотности зерен осуществляется благодаря воздействию на частицы пульпы центробежной силы и силы тяжести в условиях движения потока по наклонной гладкой или рифленой плоскости [3, 5-7, 14]. Важными этапами процесса концентрации на винтовых аппаратах является расслоение и сепарация минеральных зерен. Расслоение – это распределение по крупности минеральных зерен (по глубине постели); сепарация – рассигнование уже распределенных частиц [6]. В процессе расслоения частиц в потоке по наклонной плоскости еще много неясного. Для оценки этого явления создано множество теорий, но ни одна из них не давала полного представления о процессе расслоения. Для исследования процессов сегрегации нами было сконструировано устройство [2]. С использованием предложенного устройства нами были поставлены опыты на смесях двух классов крупности кварцевого песка месторождения Центральное (Тамбовская область): –1 +0,8 мм и –0,2 +0,1 мм. В качестве вибратора применялся ситовой анализатор с ударным встряхивающим механизмом, частота круговых колебаний в горизонтальной плоскости составляла 120 мин$^{-1}$, частота ударов – 60 ударов в минуту. Использовался метод ортогонального планирования экспериментов второго порядка. Изучалось влияние на сегрегацию двух факторов: времени воздействия вибраций (от 1,4 до 11,4 мин) и содержания мелкого класса в смеси (от 30 до 70 %).

После выполнения всей серии опытов (13 опытов) был получен полином второго порядка, отражающий изменение массы мелкой составляющей (–0,2 +0,1 мм) в слоях смеси на различной глубине от совмест-

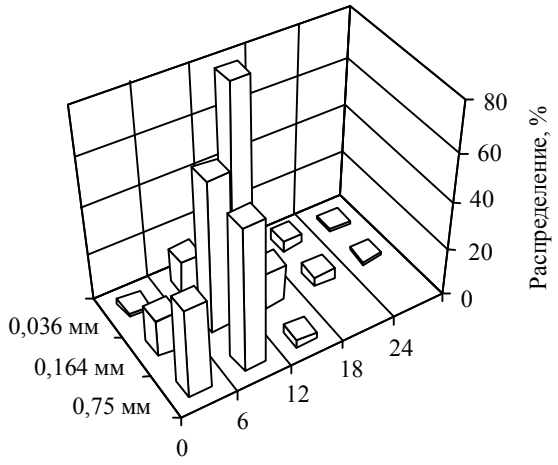


Рис.1. Диаграмма распределения частиц ферросилиция разной крупности по глубине кварцевой постели после наложения вибраций в течение 1 мин

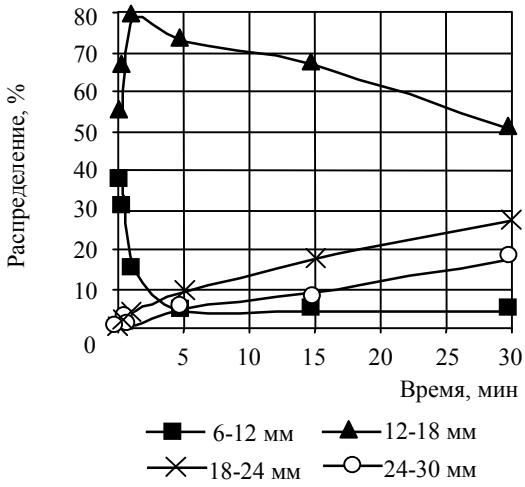


Рис.2. Изменение распределения частиц ферросилиция крупностью 0,036 мм в слоях кварцевой постели (−0,2 +0,1 мм) от времени наложения вибраций

ного влияния двух указанных факторов. Некоторые зависимости приведены в графическом виде.

Частицы различной крупности движутся в постели с разными скоростями. Из диаграммы (рис.1) видно, что скорость перемещения частиц ферросилиция уменьшается с увеличением их крупности. На рис.2 показано изменение распределения частиц ферросилиция крупностью 0,036 мм в слоях кварцевой постели на разной глубине. В слое постели на глубине от 6 до 12 мм (второе кольцо) содержание частиц ферросилиция быстро уменьшается. Из первого и из второго кольца частицы ферросилиция быстро перемещаются в пространство третьего кольца на глубину от 12 до 18 мм, в котором скорость движения существенно меньше, из-за чего в третьем кольце сначала идет их накопление и лишь примерно через 2-3 мин содержание частиц ферросилиция начинает снижаться. В 4 и 5-м кольцах наблюдается непрерывное медленное накопление тяжелых мелких частиц.

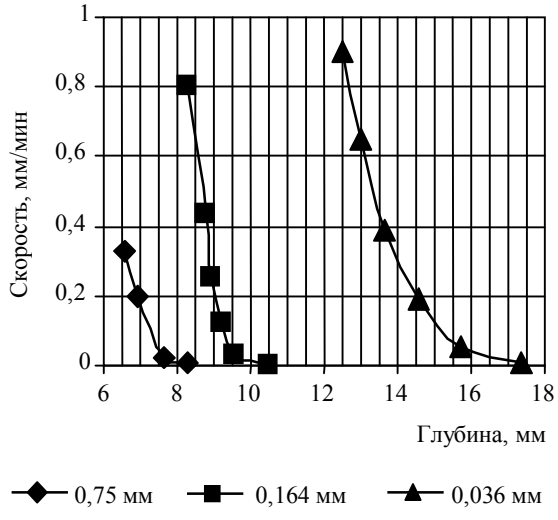


Рис.3. Средние скорости перемещения частиц ферросилиция на разной глубине кварцевой постели

Следующая зависимость движения частиц показывает (рис.3), что скорости перемещения на одной и той же глубине постели мелких частиц ферросилиция больше, чем крупных. Кроме этого, на некоторой глубине, характерной для каждой крупности частиц ферросилиция, скорость перемещения снижается почти до нуля, т.е. расстояние между зернами кварцевой постели становится слишком малым для проникновения в нее частиц тяжелого компонента. Это дает возможность оценивать на разных глубинах эффективные размеры пор постели, через которые проваливаются тяжелые частицы. Эффективный размер пор, безусловно, будет зависеть от параметров вибрационных воздействий, возможность его определения в дальнейшем позволит оптимизировать режимы работы вибраторов и создавать новые конструкции гравитационных разделительных аппаратов.

Таким образом, предлагаемое устройство и метод являются эффективным инструментом для изучения механизма сегрегации.

Кроме явления расслоения, очень важен коэффициент вязкости среды. Коэффициент вязкости среды присутствует во всех формулах для расчета скорости падения зерен различной крупности, приводимых разными авторами. Однако влияние вязкости жидкой фазы на процесс гравитационного обогащения изучено мало. В то же время вязкость воды сильно зависит от температуры, что может существенно сказываться на показателях работы винтовых сепараторов, концентрационных столов, классификаторов и других гравитационных аппаратов [8, 9].

На кафедре обогащения полезных ископаемых СПГГИ (ТУ) на винтовом шлюзе ВШ-350 наблюдалась зависимость вязкости воды от температуры. Исследования велись в двух направлениях: теоретические расчеты влияния вязкости воды на средние скорости потока на винтовой поверхности; проведение опытов при различной температуре на пульпах разного состава.

Предложено большое количество формул для расчета средней скорости потока движения пульпы по винтовой плоскости [1, 8, 10-13]. Представляет интерес формула Б.В.Кизевальтера и А.М.Базилевского [6], рассчитанная по данным, полученным на винтовых сепараторах диаметрами 400 и 500 мм. Авторами показана близость расчетных и экспериментальных данных. К сожалению, зависимость не была распространена на сепараторы больших размеров.

В нашем случае для расчета средней скорости потока движения воды по винтовой поверхности использована формула, приведенная В.Д.Ивановым и С.А.Прокопьевым [1]. Таким образом, мы видим, что уменьшение вязкости воды приводит к значительному росту скорости водного потока, что, безусловно, будет влиять на разделение минеральных частиц на винтовом шлюзе.

Для подтверждения этого были поставлены опыты по разделению минеральных смесей на винтовом шлюзе ВШ-350 [4]. В качестве материала для разделения был выбран кварцевый песок месторождения Центральное (Тамбовская область) крупностью –0,2 +0,1 мм, в котором присутствуют тяжелые минералы, такие как титан, циркон и др. Опыты проводились при двух разных производительностях по твердому и трех различных температурах. В результате эксперимента были получены средние скорости воды и пульпы (40 % твердого) при различных коэффициентах вязкости воды:

Кинематический коэффициент вязкости, $см^2/с$	0,0152	0,00511
Теоретическая средняя скорость воды, см/с	101,3	140,2
Экспериментальная средняя скорость пульпы, см/с	70	85

Приведенные данные подтверждаются опытами, проведенными на винтовом шлюзе ВШ-350, с использованием смеси кварцевой постели и ферросилиция крупностью 36 мкм. В результате опытов была получена зависимость извлечения ферросилиция из кварцевого песка от кинематического коэффициента вязкости воды (содержание твердого в пульпе 40 %, выход концентрата шлюза ВШ-350 около 15 %):

Кинематический коэффициент вязкости, $см^2/с$	1,567	0,800	0,556
Температура, ^oC	4	31	50
Извлечение, %	66,0	74,0	71,5

Следовательно, вязкость среды (температура) оказывает заметное влияние на процесс обогащения на винтовом шлюзе. Это влияние, видимо, также проявляется и на других гравитационных аппаратах. Таким образом, можно утверждать, что наиболее высокие показатели обогащения на гравитационных сепараторах будут иметь место в определенном оптимальном диапазоне температур пульпы. Контроль за температурой пульп в производственных условиях поможет избежать дополнительных потерь ценных компонентов, особенно в зимний период, когда на обогатительных фабриках технологическая вода имеет очень низкую температуру, а следовательно, и высокую вязкость.

В результате проведенных исследований можно рекомендовать более подробно изучать основы разделения минеральных частиц

на винтовой поверхности и не ограничиваться качественными данными. В дальнейшем планируется провести опыты по изучению влияния амплитуды, частоты и других параметров на явления сегрегации и вязкости среды на процесс расслоения; созданию методики определения коэффициента вязкости среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аникин М.Ф.* Винтовые сепараторы для обогащения руд / М.Ф.Аникин, В.Д.Иванов, М.Л.Певзнер. М.: Недра, 1970. 124 с.

2. *Богданович А.В.* Метод исследования процесса сегрегации мелкозернистых материалов / А.В.Богданович, А.М.Васильев // Обогащение руд: Всероссийская школа-семинар молодых ученых «Современные методы переработки минерального сырья». Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. 235 с.

3. *Блехман И.И.* Движение частиц в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения / И.И.Блехман, В.В.Горловский, Г.Е.Птушкина // Изв. АН СССР. Механика и машиностроение. 1963. № 4. С.31-41.

4. *Васильев А.М.* Влияние вязкости воды на процесс гравитационного обогащения / А.М.Васильев, А.В.Богданович // Обогащение руд. 2005. № 4. С.65-68.

5. *Исаев И.Н.* Концентрационные столы. М.: Изд-во института ГНТИ. 1962. 100 с.

6. *Кизевальтер Б.В.* Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. М.: Металлургия, 1979. 296 с.

7. *Краснов А.А.* Сегрегация зернистого материала при сдвиговой деформации слоя // Исследование процессов, машин и аппаратов разделения материалов по крупности / Труды института «Механобр». Л., 1988. С.50-64.

8. *Левенсон Л.Б.* Спиральный классификатор, его теория, расчет и проектирование. Труды института «Механобр». Л., 1925. С.140-143.

9. *Непомнящий В.А.* К теории самосортирования сыпучих смесей // Изв. ЛЭТИ. 1961. Вып.46. С.217-227.

10. *Подкосов Л.Г.* Исследование условий разделения материала в винтовом сепараторе / Л.Г.Подкосов, Е.П.Бродкина, О.С.Комиссаров // Труды ВИМСа. Вып.21. 1970. С.142-148.

11. *Прокопьев С.А.* Винтовые аппараты для обогащения руд и песков в России / С.А.Прокопьев, В.Д.Иванов. М.: Дакси, 2000. 239 с.

12. *Соломин К.В.* Винтовые сепараторы. М.: Металлургиздат, 1956. 153 с.

13. *Стаханов Г.А.* К вопросу определения скорости зерна в винтовом сепараторе / Г.А.Стаханов, В.Н.Шохин // Изв.вузов. Горный журнал. 1968. № 8. С.110-115.

14. *Учитель А.Д.* К анализу процесса сегрегации сыпучих материалов на вибрационных грохотах // Исследование процессов, машин и аппаратов разделения материалов по крупности / Труды института «Механобр». Л., 1988. С.71-80.