

В.А. Козлов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ СЕПАРАТОРОВ С КАЧАЮЩЕЙСЯ ПОСТЕЛЬЮ

Рассмотрены физические основы метода обогащения угольного шлама по плотности в восходящем потоке воды при движении частиц угля в стесненных условиях. Приведены математические выражения для расчета скорости движения частиц. Определены оптимальные отношения диаметров частиц, обогащаемых в одном сепараторе.

Ключевые слова: скорость осаждения частиц, угольный шлам, диапазон крупности, сепаратор с качающейся постелью, плотность частиц, разделение частиц

Применение сепараторов с качающейся постелью (СКП) в цепях обогащения зернистого угольного шлама значительно возросло за прошедшее десятилетие.

СКП демонстрируют эффективную работу при максимальной крупности частиц до 2 мм и минимальной крупностью до 0,075 мм. Диапазон крупности ограничен фундаментальными основами процесса.

Принцип работы СКП очень наглядно демонстрирует эксперимент, описанный в работе [1] в 2004 году. В этом эксперименте, смесь двух сортов помеченных частиц (рис. 1) помещалась в колонну, скорость восходящего потока воды в которой изменялась от 0,012 м/с до 0,042 м/с. Светлые частицы плотностью 1,90 г/см³ имели крупность 0,5 x 0,7 мм. Черные частицы были легче (1,40 г/см³) и крупнее (1,4 x 2 мм). При низкой скорости восходящего потока, формировалась компактная постель, в нижней части которой располагались более тяжелые и мелкие частицы. Такие условия наиболее благоприятны для обогащения угля. При удвоении

скорости, постель разрыхлялась, частицы разных типов перемешивались между собой, не создавая четкой границы. По мере дальнейшего нарастания скорости потока воды, мелкие и плотные частицы мигрировали наверх разрыхленной постели, а то время как большие и легкие частицы оставались внизу. Самая высокая скорость обеспечила эффективную гидравлическую сепарацию по крупности, сравнимую с достигаемой в классификационных гидроциклонах.

Таким образом, изменением скорости потока воды была достигнута полная инверсия фаз. Эксперимент показал, насколько важно в СКП поддержание критической скорости восходящего потока разрыхляющей постель воды для обеспечения сепарации по плотности. При обогащении угля, добавка объемов воды, и тем самым увеличение скорости восходящего потока воды больше критического уровня, приведет к ухудшению показателей разделения в связи с потерями самых крупных угольных частиц.

При осаждении в стесненных условиях, когда при низкой скорости

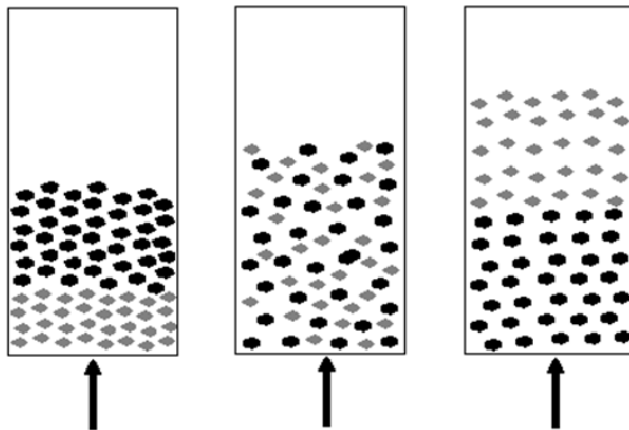


Рис. 1. Эффект влияния объема добавляемой воды на разделение частиц в СКП. (Черные – крупные и легкие частицы, светлые – мелкие и тяжелые частицы)

восходящего потока воды постель сжимается, сепарация основывается на относительной способности определенных частиц осаждаться через составляющие постель частицы. Из-за высокого содержания твердого, а соответственно, и высокой концентрации частиц в постели, скорость осаждения, в виду воздействия потоков воды, омывающих близлежащие частицы, снижается. В работах [2, 3] разработана модель осаждения в стесненных условиях частиц группы i в гомогенной суспензии:

$$V_i = U_{T,i} \left(\frac{\rho_i - \rho_s}{\rho_i - \rho} \right)^{n_i - 1}, \quad (1)$$

где V_i – скорость стесненного осаждения (см/с), $U_{T,i}$ – конечная скорость осаждения частицы i , ρ_i , ρ_s и ρ – значения плотности твердой фазы, суспензии и жидкой фазы (г/см³), соответственно. Коэффициент Ричардсона-Заки n_i , связан с диапазоном влияния эффекта стесненного осаждения на осаждение выбранной группы частиц и принимается равным 4,65. Он определен для различных групп материалов и выражается, как функция числа Рейнольдса.

Анализ уравнения (1) показывает, что снижение скорости осаждения

частиц из-за стесненных условий осаждения, уменьшается по мере роста плотности частиц. Например, при плотности суспензии 1,2 г/см³, снижение скорости осаждения частицы с плотностью 1,5 г/см³ из-за стесненных условий

составит около 85%. Для сравнения, падение скорости осаждения частицы с плотностью 2,1 г/см³ составит только 52%. Другими словами, частицы с высокой плотностью могут осаждаться сквозь слой частиц постели гораздо активней, чем менее плотные. Как результат, для достижения эффективной сепарации по плотности, различие в скоростях осаждения частиц различной плотности может быть увеличено с помощью уплотненной постели, так как это сделано в СКП.

Уравнение (1) может быть развернуто, что позволит определить скорость стесненного осаждения частиц с плотностью i и размерами j с использованием формулы, предложенной Шиллером, которая является точной для чисел Рейнольдса от 0,2 до 1000:

$$V_{i,j} = \left[\frac{d_{i,j}^2 g (\rho_{i,j} - \rho)}{18 \mu (1 + 0,15 Re^{0,6827})} \right] \cdot \left[\frac{(\rho_{i,j} - \rho_s)}{(\rho_{i,j} - \rho)} \right]^{(n_{i,j} - 1)}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения (981 см/с²), d – диаметр частицы (см) и μ – вязкость среды (0.01 сП). Число Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{d_{i,j} v_{r,i,j} \rho}{\mu} \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) были использованы для расчета скорости стесненного осаждения частиц крупностью 0,1-2 мм и плотностью от 1,3 до 2,1 г/см³. Плотность постели или суспензии принималась равной 1,2 г/см³, а значение n – постоянным и равным 4,65. Задачей анализа стояло выяснить в каком диапазоне крупности частиц будет достигаться разделение по плотности, если скорость восходящего потока воды равна, например, 2 см/с. Частицы, имеющие скорость стесненного осаждения ниже скорости восходящего потока воды, будут выноситься в верхнюю часть СКП, в то время, как частицы со скоростью осаждения выше скорости восходящего потока воды - будут оседать на дно сепаратора через постель и, соответственно, удаляться с отходами.

Как видно на рис. 2, частицы всего диапазона крупности и с плотностью 1,3 г/см³ имеют скорость стесненного осаждения меньше, чем скорость восходящего потока воды. Теоретически, в данных условиях, применительно к СКП, извлечение частиц плотностью 1,3 г/см³, представляющих собой чистый уголь, должно достигать 100%. При этом, более плотные, чем 1,3 г/см³ частицы, имеющие больший диапазон крупности, будут двигаться вниз и попадут в отходы. Если целью сепарации ставится разделение по пограничной плотности между 1,5 г/см³ и 1,7 г/см³, диапазон крупности частиц для которых та-

кая сепарация возможна, составляет от 0,71 мм до 1,48 мм. То есть, эффективное отношение крупности составляет около 2:1. Практически, материала с плотностью 1,5 - 1,7 г/см³ в потоках мелкого угля на фабриках очень немного. Поэтому наиболее типична сепарация в границах между 1,5 и 1,9 г/см³. Как видно из рис. 4, эффективное соотношение размеров для этого случая 3:1. Если же требуется просто удалить чистую породу по граничной плотности 2,1 г/см³, для вышеупомянутой суспензии, эффективное соотношение размеров частиц будет достигать 4:1.

Производительность СКП зависит в основном от скорости осаждения самых мелких и тяжелых частиц в питании сепаратора и скорости подачи восходящего потока воды для гарантированного извлечения самых крупных и легких частиц угля. Допуская, что соотношение размеров частиц по вертикали объема сепаратора остается неизменным, нижнюю границу крупности можно оценить по известной формуле Стокса для свободного осаждения, так как значение числа Рейнольдса в этом случае мало. Если при обогащении материала с нижней крупностью 0,25 мм удельная расчетная производительность СКП равна 18 т/ч·м², тогда на материале с нижней крупностью 0,15 мм, коэффициент снижения производительности будет равен отношению квадратов диаметра частиц и будет равен 0,36.

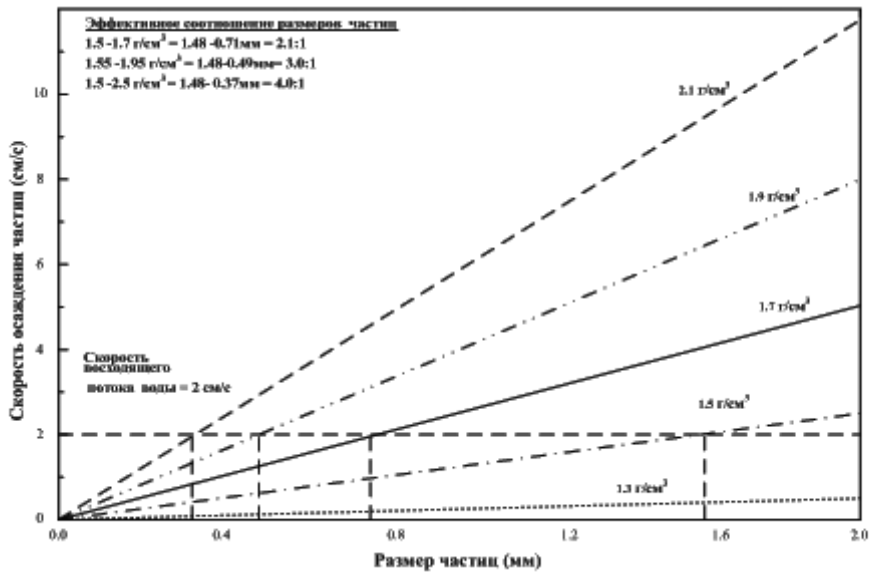


Рис. 2. Скорости стесненного осаждения и эффективное соотношение размеров частиц для условия разделения в СКП

Для приведенного примера, когда задачей стоит удаление частиц с высокой плотностью ($1,9 \text{ г/см}^3$) и крупностью до $0,15 \text{ мм}$, расчетная производительность составит $18 \times 0,36 = 6,5 \text{ т/ч} \cdot \text{м}^2$.

Гидравлическая нагрузка также является ограничивающим фактором. Объем поступающей с питанием пульпы, приводит к возрастанию скорости восходящего потока, турбулентности и времени нахождения частицы в зоне осаждения выше постели. Чрезмерная нагрузка по питанию снижает эффективный размер разделяемых частиц и ухудшает общее качество концентрата (перелива), несмотря на то, что извлечение самых крупных и легких частиц может быть и высоким. Для максимальной селективности, влияние гидравлической нагрузки может быть минимизировано, если содержание твердого в питании поддерживать в пределах 30-50%. На практике, это

обычно достигается установкой классификационного циклона или дугового сита перед СКП для повышения Т:Ж.

К достоинствам СКП относятся способность достижения эффективного разделения по плотности при относительно высокой нагрузке, возможность регулировки в процессе работы в ответ на изменения характеристик питания и колебаний нагрузки, а также простота эксплуатации. Обычно СКП устанавливают для замены или для применения совместно со спиральными сепараторами, которые имеют относительно низкую удельную производительность, что делает их сильно зависящими от точного распределения исходного питания. По производительности единственный СКП может заменить блок с десятью трехходовыми спиральями. Применение СКП наиболее оправдано, когда необходимо исключить

влияние разброса параметров питания на результаты процесса сепарации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Calvin, K. P., Zhou., Belcher, B. D., Pratten, S., Callen, A. M., Lambert, N. and Nguyentranlam, 2004. "Investigation of the Reflux Classifier for Density and Size Separations from Pilot to Full-Scale," Final Report C11008, C10049, Australian Coal Association Research Program.
2. Drummond, R. B., Nicol, S. K. and Swanson, A. R., 2002. "Teetered Bed Separators -Australian Experience," Proceedings, XIV International Coal Preparation Congress, South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 353 - 358.
3. Kohmuench, J. N., Mankosa, M.J., Honaker, R. Q. and Bratton, R. C., 2006. "Applications of the Crossflow Teetered-Bed Separator in the U.S. Coal Industry," Minerals and Metallurgical Processing journal, Vol. 23. No. 4, pp. 187-195. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Козлов В.А. – кандидат технических наук, доцент, инженер-технолог фирмы ООО «Коралайна Инжиниринг» (СЕТСО).

