

УДК 622.767

д.т.н. Зубков В. Е., к.т.н. Кизияров О. Л.,
к.т.н. Левченко Э. П., к.т.н. Псюк В. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛОВ В БЛОКИРОВАННОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Работа посвящена определению физических основ сепарации по плотности минеральных смесей в новой сепарирующей системе — блокированном псевдоожигенном слое. Представлено разделение по плотности компонентов в интервале размеров от 30 до 70 мм.

Ключевые слова: обогащение, сырьё, блокированный псевдоожигенный слой, крупность компонентов.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Снижение качества сырья требует поиска новых способов его обогащения. В качестве традиционных технологий обогащения применяются отсадка и тяжелосредняя сепарация. В последнее время появились технологии обогащения в воздушном потоке. Так, на установке СЕПАИР-1-0,5, в которой для обогащения используется воздушный поток, были получены высокие показатели эффективности сепарации угля, в частности крупной фракции +25–50 мм [1, 2]. Разрабатываются также способы радиометрической сепарации сырья [3].

В любом случае для разделения каменного угля и породы, а также обогащения других минеральных смесей используются различия в плотности разделяемых компонентов. Так, средняя плотность каменного угля составляет примерно $1,3 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность сопутствующей породы — $2,6 \text{ г/см}^3$.

Одним из эффективных и не требующих высоких затрат энергии и воды способов является сепарация угля в псевдоожигенном слое мелкозернистого материала промежуточной плотности между плотностями разделяемых компонентов угля и породы [4, 5]. Однако его применение сдерживается из-за нарушения состава и расхода твёрдой фазы слоя.

Объектом исследования является новая сепарирующая система — блокированный псевдоожигенный слой (БПС).

Предмет исследования — свойства БПС как среды для разделения компонентов, различающихся по плотности.

Задачи исследования — аналитическое и экспериментальное определение возможности сепарации в БПС компонентов по плотности.

Методика исследований. Аналитическим путём установить физические основы разделения в БПС компонентов по плотности. Путём взвешивания в БПС моделей разделяемых компонентов определить его «эффективную плотность», промежуточную между плотностями разделяемых компонентов.

Изложение материала и его результаты. Блокированный псевдоожигенный слой включает гибкие нити переменного сечения (гирлянды), которые крепятся одним концом к воздухораспределительной решётке.

Воздушный поток, подаваемый вентилятором, проходя через воздухораспределительную решётку, поднимает гирлянды. За счёт торможения части потока в занятом гирляндами объёме возникает перепад статического давления, что и обуславливает действие на погружаемые в БПС тела силы, аналогичной выталкивающей силе Архимеда.

Варьированием геометрических и аэродинамических параметров этого слоя можно создать условия, при которых разделяемая смесь расслаивается на отдельные компоненты, а затем, в зависимости от

схемы рабочего органа, осуществляется отдельный вывод этих компонентов.

Блокированный псевдооживленный слой, обладая высокой разделяющей способностью тел преимущественно по их плотности, сохраняет свои свойства при изменении угла наклона к горизонту и не утрачивает заданных механико-технологических характеристик в ходе процесса сепарации. Эти качества позволяют осуществить в нём устойчивый процесс разделения без применения сложных устройств по регенерации утяжелителя. Они же позволяют выводить из слоя разделившиеся компоненты без погружения в него элементов выгрузных устройств, что также способствует повышению качества сепарации.

Условие равновесия тела в БПС имеет вид

$$F_B = G = F_S + F_\partial \pm F_M, \quad (1)$$

где F_S и F_∂ — соответственно статическая и динамическая компоненты выталкивающей силы, действующей на тело в слое; $F_M = F_T + F_3$ — сила механического сопротивления гирлянд; F_T — сила давления гирлянд; F_3 — сила трения гирлянд о поверхность тела.

В БПС из всех составляющих выталкивающей силы только статическая компонента F_S не зависит от диаметра тела и определяется так:

$$\rho_{Ж} = \frac{F_S \cdot 6}{\pi \cdot d^3 \cdot g}. \quad (2)$$

Динамическая компонента выталкивающей силы представится как сила сопротивления сферы воздушному потоку в заблокированном псевдооживленном слое в стеснённых условиях и будет равна

$$F_\partial = \psi_c \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot V}{2}. \quad (3)$$

После подстановки значений и деления выражения на объём сферы и проведения необходимых преобразований получаем

формулу эффективной плотности заблокированного псевдооживленного слоя:

$$\rho_{\text{Э}} = \rho_{Ж} + \frac{0,9 \cdot \psi_c \cdot V^2}{d} + \frac{1,9 \cdot \rho_M}{d^3}, \quad (4)$$

где ρ_M — механическая компонента эффективной плотности слоя.

Для использования в качестве разделяющей среды БПС пригоден в том случае, если его эффективная плотность имеет промежуточное значение между величинами плотности разделяемых материалов во всём диапазоне размеров тел независимо от глубины.

Для первой фазы погружения сферы в слой с постоянной статической плотностью, то есть на величину диаметра, формула принимает вид

$$\rho_{\text{Э}} = \rho_{cm} + \frac{0,9 \cdot \psi_c \cdot V^2}{d}. \quad (5)$$

Система сил, действующих на тело со стороны сепарирующего слоя, приводится к главному вектору, являющемуся суммой проекций сил на вертикальную ось. Главный вектор является эффективной выталкивающей силой F_B . Уравнение в общем виде для псевдооживленного зернистого слоя выглядит так:

$$F_B = F_a - G_{ш} \pm F_3. \quad (6)$$

Для заблокированного псевдооживленного слоя

$$F_B = F_a \pm P_2 \pm F_3, \quad (7)$$

где $F_a = F_S + F_\partial$ — аэродинамическая компонента выталкивающей силы; $G_{ш}$ — сила веса «шапки»; P_2 — сила, обусловленная давлением гирлянд; F_3 — сила, обусловленная внутренним трением слоя; F_S и F_∂ — соответственно статическая и динамическая компоненты выталкивающей силы.

Знак (+) ставится перед F_3 при погружении тела, знак (–) — при его всплывании.

Формулы (6) и (7) свидетельствуют о качественной тождественности природы эффективной выталкивающей силы в обеих аэродинамических системах. В связи с этим БПС можно считать псевдооживленной системой с ограниченной подвижностью твёрдой фазы.

Эффективная плотность определялась экспериментальным путём с помощью весового зондирования БПС сферами различных диаметров.

На рисунке 1 приведены результаты такого зондирования.

Здесь d — диаметр погружаемой в БПС сферы, R — радиус изгиба воздухораспределительной решётки, t — шаг дисков по длине гирлянд, V — скорость воздушного потока, приведённая к воздухораспределительной решётке, φ_0 — просвет в БПС, приведённый к воздухораспределительной решётке.

Таким образом, тела диаметром от 30 до 70 мм будут разделяться в БПС по плотности, т. е. тела этого размерного интервала плотностью $1,3 \text{ г/см}^3$ будут всплывать к

поверхности БПС, а тела плотностью $2,6 \text{ г/см}^3$ — погружаться на воздухораспределительную решётку. Таким образом, будет происходить распределение компонентов по высоте БПС, что служит предпосылкой для раздельного вывода их из БПС.

Выводы и направление дальнейших исследований. Новая сепарирующая система — БПС — обладает свойствами, позволяющими осуществлять с её помощью разделение по плотности компонентов в интервале размеров 30–70 мм.

В дальнейшем необходимо определить возможности настройки системы на разделение по плотности компонентов других размерных и плотностных интервалов.

В перспективе предстоит обосновать основные схемы непрерывных технологических процессов разделения компонентов, а также схемы подачи воздуха и его равномерного распределения по рабочей поверхности БПС.

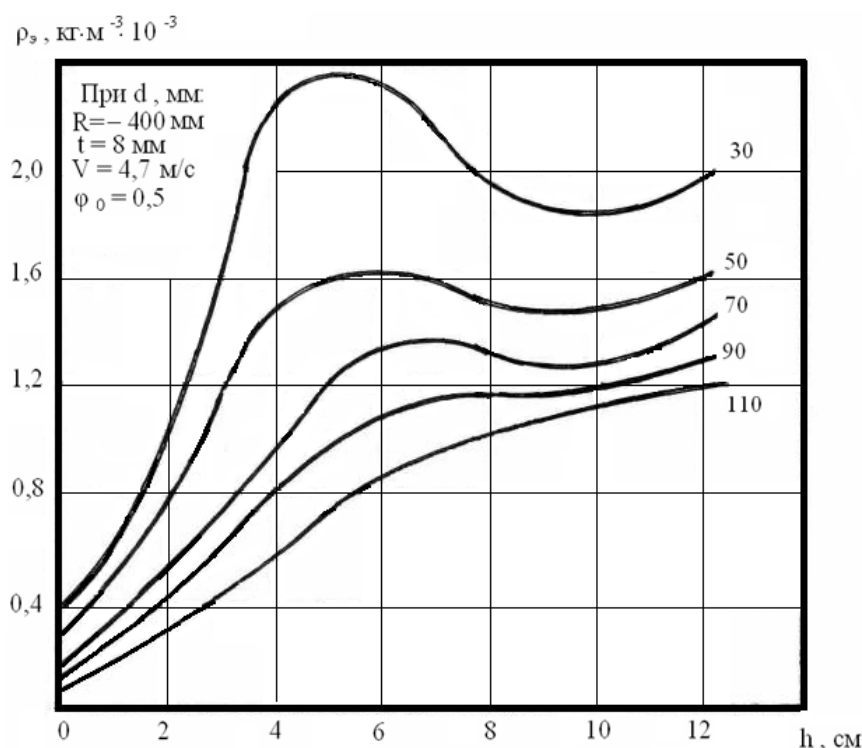


Рисунок 1 Экспериментальные кривые эффективной плотности по высоте БПС

Библиографический список

1. Пат. 2456099 Российская Федерация, МПК В 03 В 4/04. Установка пневмовакуумной сепарации материалов / Бойко Д. Ю., Калина А. В., Кузьмин А. В., Поломарчук В. С., Табаков Г. Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Промышленное обогащение». — № 2010125066/03 ; заявл. 21.06.10 ; опубл. 20.07.12, Бюл. № 20. — 8 с. : ил.
2. Кузьмин, А. В. Исследование процесса обогащения углей разреза Бунгур методом пневматической сепарации [Текст] / А. В. Кузьмин, А. В. Калина, В. В. Морозов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 10. — С. 236–242.
3. Кобзев, А. С. Направления развития и проблемы радиометрических методов обогащения сырья [Текст] / А. С. Кобзев // Обогащение руд. — 2013. — № 1. — С.13–16.
4. Пат. 2359006 Российская Федерация, МПК С 10 В 49/10. Способ переработки угля / Исламов С. Р., Степанов С. Г. ; заявитель и патентообладатель С. Р. Исламов, С. Г. Степанов. — № 2008117266/15 ; заявл. 05.05.08 ; опубл. 20.06.09, Бюл. № 17. — 6 с. : ил.
5. Буряков, В. И. Закономерности обогащения крупных классов углей в аэросуспензиях [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.08 / В. И. Буряков. — М. : Ин-т горючих ископаемых, 1969. — 18 с.

© Зубков В. Е.
 © Кизиляров О. Л.
 © Левченко Э. П.
 © Псюк В. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,
 д.т.н., зав. каф. АТ ЛНУ им. В. Даля Замотой Т. Н.*

Статья поступила в редакцию 28.02.20.

д.т.н. Зубков В. Е., к.т.н. Кизиляров О. Л., к.т.н. Левченко Э. П., к.т.н. Псюк В. В.
 (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЗБАГАЧЕННЯ МІНЕРАЛІВ У БЛОКОВАНОМУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Роботу присвячено визначенню фізичних основ сепарації за щільністю мінеральних сумішей у новій сепаруючій системі — блокованому псевдозрідженому шарі. Представлено розділення за щільністю компонентів в інтервалі розмірів від 30 до 70 мм.

Ключові слова: збагачення, сировина, блокуючий псевдозріджений шар, крупність компонентів.

**Doctor of Technical Sciences Zubkov V. E., PhD in Engineering Kiziyarov O. L.,
 PhD in Engineering Levchenko E. P., PhD in Engineering Psiuk V. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
 PHYSICAL BASIS OF MINERAL DRESSING IN A BLOCKED FLUIDIZED BED**

The paper is devoted to determining the physical basis of separation by the density of mineral mixtures in a new separation system — in a blocked fluidized bed. The separation of components by density in the size range from 30 to 70 mm is given.

Key words: dressing, raw materials, blocked fluidized bed, fineness of components.