

УДК 622.75

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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЛОКИРОВАННОГО ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ КАК СРЕДЫ ДЛЯ СЕПАРАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ

Работа посвящена обоснованию параметров новой сепарирующей системы блокированного псевдоожигенного слоя, предназначенной для сепарации различных материалов по плотности. Предложена методика, позволяющая выполнить расчеты рациональных геометрических и аэродинамических параметров БПС при различных конструктивных исполнениях сепараторов.

Ключевые слова: сепарация, плотность, блокированный псевдоожигенный слой, компоненты.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Наиболее эффективными являются способы сепарации компонентов в средах промежуточной плотности, в которых возможно их полное разделение [1]. Недостатком способов является смачивание компонентов, нарушение состава среды и расход жидкости. Поэтому постоянно ведутся разработки и совершенствуются технологии других способов сепарации. С технологической и экономической точки зрения представляют интерес «сухие» способы сепарации, имеющие ряд преимуществ в сравнении с тяжелосредными [2–4].

Объектом исследования является технологический процесс сепарации различных материалов по плотности в блокированном псевдоожигенном слое (БПС).

Предмет исследования — закономерности влияния параметров блокированного псевдоожигенного слоя на его эффективную плотность.

Задачи исследования — определение параметров блокированного псевдоожигенного слоя, при которых достигается эффективная плотность, промежуточная между плотностями разделяемых компонентов.

Методика исследований. Эффективная плотность блокированного псевдоожигенного слоя определялась замерами выталкивающих сил, действующих на по-

гружаемые в слой тела, путем их взвешивания в БПС.

Изложение материала и его результаты. Одной из перспективных систем для сепарации является псевдоожигенный слой сыпучего материала. Он обладает способностью разделять тела по плотности.

Однако использование псевдоожигенного слоя на практике сдерживается из-за нарушения состава и расхода твердой его фазы.

Избежать этих недостатков возможно, если зерна твердой фазы псевдоожигенного слоя соединить гибкой нитью в блоки (гирлянды) и прикрепить их одними концами к воздухораспределительной решетке [5].

Подавая воздушный поток через воздухораспределительную решетку в пространство, занятое гирляндами, можно получить перепад статического давления по высоте БПС, что и обуславливает действие на погружаемые в него тела выталкивающей силы.

Сепарирующую способность БПС по выталкивающим силам можно оценивать соответствующими эффективными плотностями среды, обуславливающими эти силы.

Для получения контрастного разделения (расслоения) компонентов следует решать задачу стабилизации по глубине эффективной плотности БПС.

Для определения геометрических и аэродинамических параметров гирлянд, ко-

торые в состоянии обеспечить постоянную по глубине эффективную плотность БПС, используем полученные экспериментальным путем графики зависимостей эффективной плотности БПС по его высоте при различных скоростях воздушного потока.

Сделаем допущение, что точки пересечения горизонтали с экспериментальными кривыми эффективной плотности показывают, какие значения скоростей воздушного потока следует развивать по глубине, чтобы эффективная плотность БПС стала величиной постоянной.

По этим экспериментальным данным построим график (рис. 1) зависимости по высоте слоя скоростей воздушного потока, соответствующих эффективной плотности БПС, равной $\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$ (промежуточной между плотностями разделяемых компонентов).

Исходя из уравнения расхода, тот же результат может быть достигнут путем снижения площади просветов между гирляндами, в сечении слоя, нормальном потоку.

Для дальнейших расчетов используем следующее равенство. Площадь решетки, приходящаяся на одну гирлянду

$$\frac{f_1}{N} = a_0 \cdot b_0, \quad (1)$$

где f_1 — площадь решетки, на которой выполнен слой; N — число гирлянд в слое; a_0, b_0 — стороны прямоугольника на решетке, по углам которого закреплены гирлянды.

Минимальное значение площади просветов между дисками в сечении слоя, нормальном потоку, будет равно

$$f_2 = f_1 - N \cdot S_{\partial}, \quad (2)$$

где S_{∂} — площадь диска гирлянды.

Разделив обе части равенства (2) на f_1 и считая $f_2/f_1 = \varphi_0$ минимальным удельным просветом между дисками гирлянд в слое, а $N/f_1 = q_0$ — плотностью расположения гирлянд на решетке, получим формулу для расчета φ_0

$$\varphi_0 = 1 - S_{\partial} \cdot q_0. \quad (3)$$

При этом зависимость между a_0, b_0 и q_0 будет следующей

$$\frac{1}{q_0} = a_0 \cdot b_0. \quad (4)$$

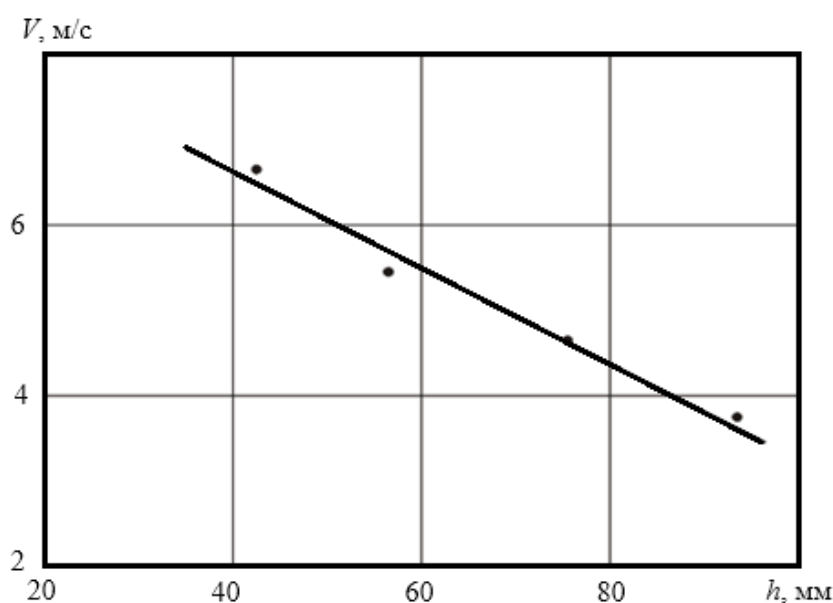


Рисунок 1 Зависимость скорости воздушного потока по высоте БПС при постоянной эффективной плотности $\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$

Для определения величины просвета в БПС с постоянной по глубине эффективной плотностью составим уравнение расхода при движении воздуха в БПС с плоской решеткой в сечении, нормальном потоку

$$V_0 \cdot f_2 = V_h \cdot f_h, \quad (5)$$

где V_0 — скорость воздушного потока, приведенная к площади решетки; V_h — скорость воздушного потока, необходимая для получения постоянной эффективной плотности, которая для расчета берется из графика, полученного экспериментальным путем, в точках пересечения линии постоянной плотности ($\rho_s = 1400 \text{ кг/м}^3$) с кривыми эффективной плотности [5].

Обозначим f_h площадь просвета на некоторой глубине БПС, при которой достигается постоянная эффективная плотность.

Разделив обе части (5) на f_1 и обозначив $\varphi_h = f_h/f_1$, определим величину просвета, достаточную для получения постоянной эффективной плотности в БПС с плоской решеткой

$$\varphi_h = \frac{V_0}{V_h} \cdot \varphi_0. \quad (6)$$

Если БПС выполнен на внешней поверхности цилиндрической решетки, то удельный просвет в нем рассчитывается по формуле, представленной в (5). Для практического использования этой формулы при расчете величины просвета с постоянной по глубине БПС эффективной плотностью необходимо внести некоторые поправки.

Поскольку в БПС, выполненном на внешней поверхности цилиндра, происходит падение скорости воздушного потока от решетки к поверхности, то из уравнения расхода при движении воздуха в расходящемся БПС (т. е. выполненном на внешней поверхности цилиндра) будем иметь

$$V_{оц} = V_0 \cdot \left(1 + \frac{H-h}{R}\right)^{-1}, \quad (7)$$

где $V_{оц}$ — скорость воздушного потока в сечении БПС, эквидистантном решетке.

Согласно уравнению расхода, скомпенсировать падение скорости воздушного потока в расходящемся БПС можно путем снижения просвета на величину $\left(1 + H - \frac{h}{R}\right)$. Заменяя в формуле V_0 на $V_{оц}$, получим выражение для расчета просвета с постоянной эффективной плотностью в БПС как с плоской, так и цилиндрической решеткой

$$\varphi_p = \varphi_0 \cdot \frac{V_0}{V_h} \cdot \left(1 + H - \frac{h}{R}\right)^{-1}. \quad (8)$$

Площадь диска при этом определится

$$S_{\delta} = \frac{1 - \varphi_p}{q_p}, \quad (9)$$

где q_p — плотность расположения гирлянд по глубине БПС в сечении, эквидистантном решетке,

$$q_p = \frac{q_0}{1 + H - \frac{h}{R}}. \quad (10)$$

Если диск имеет круглую форму, то его диаметр можно вычислить по формуле

$$d_{\delta} = \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{1 - \varphi_p}{q_p}\right)^{0,5}. \quad (11)$$

В качестве примера определим диаметр концевой диска в БПС с постоянной эффективной плотностью и со следующими параметрами: $\varphi_0 = 0,38$, $R = 210$, $t_{\delta} = d_{\delta} = 8$ мм, $\delta_{\delta} = 1,5$ мм.

Расчеты велись для высоты БПС величиной $h = 60$ мм.

Расчетные значения $q_p = 0,95$; $\varphi_p = 0,17$; $d_{\delta} = 10,5$ мм.

Для сравнения, если БПС выполнен на плоской решетке, то при тех же $\varphi = 0,38$, $t_{\delta} = d_{\delta} = 8$ мм, $\delta_{\delta} = 1,5$ мм, $h = 60$ мм, $\varphi_h = \frac{V_0}{V_h} \cdot \varphi_0$, а диаметр концевой диска $d_{\delta} = 8,9$ мм.

Экстраполяция диаметра диска до $H = 132$ мм показала, что для принятого нижнего диаметра, равного 8 мм, диамет-

ры дисков на незакрепленных концах гирлянд будут от 10 мм в БПС с плоской решеткой до 14 мм с радиальной, что несколько выходит за пределы обоснованных ранее размеров частиц (от 3 до 12 мм).

Пересчитаем диаметры дисков, приняв нижний диск у основания гирлянды равным 6 мм, оставив при этом неизменным $\varphi_0 = 0,38$.

В этом случае изменится q_0 , которое определится по формуле

$$q_0 = \frac{1 - \varphi_0}{S_\partial} \quad (12)$$

С учетом того, что $S_\partial = \frac{\pi \cdot d_\partial^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,28 \text{ см}^2$, получим $q_0 = 2,2 \text{ шт/см}^2$.

С учетом полученного q_0 определим q_p

$$q_p = \frac{q_0}{1 + \frac{H}{R}} = \frac{2,2}{1 + \frac{60}{210}} = 1,71.$$

Соответственно $\varphi_p = 0,17$.

Диаметр концевой диска в БПС с цилиндрической решеткой для $H = 60$ будет $d_\partial = 7,7$ мм, а в БПС с плоской решеткой при $\varphi_h = 0,22$ — $d_\partial = 6,7$ мм.

С определенными допущениями можно принять закономерность изменения диаметров дисков на гирлянде по прямой линии.

С учётом этого экстраполяция графиков до высоты $H = 132$ мм показала, что если диаметр нижнего диска у решетки принять равным 6 мм, то диаметр верхнего (концево-

го) в БПС с плоской решеткой будет 7,2 мм, а в БПС с радиальной решеткой — 9,8 мм.

В БПС с постоянной по высоте статической плотностью эффективная плотность возрастает с погружением тела, поэтому для ее стабилизации по глубине диаметры дисков гирлянд необходимо увеличивать дополнительно в направлении от решетки к поверхности слоя. Причиной этого является то обстоятельство, что БПС сравним с жидкостью только до определенного предела. В жидкости на полностью погруженное тело действует постоянная выталкивающая сила, не зависящая от его дальнейшего погружения.

В БПС геометрическая структура в области погружения тела нарушается, что дает другие закономерности изменения выталкивающей силы по её глубине. Изменять же в желаемом направлении выталкивающую силу можно с помощью перераспределения по высоте БПС удельного аэродинамического сопротивления способами, указанными выше.

Выводы и направление дальнейших исследований. Предлагаемая методика позволяет выполнить расчеты рациональных геометрических и аэродинамических параметров БПС при проектировании сепараторов различных конструкций.

Дальнейшие исследования будут посвящены определению рациональных параметров непрерывного технологического процесса разделения компонентов на основе БПС.

Библиографический список

1. Баранова, Т. В. Обогащение руд процессом тяжелосредной сепарации [Текст] / Т. В. Баранова, Л. С. Соловьева // Золотодобыча. — 2008. — № 118. — С. 17–22.
2. Пилов, П. И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых [Текст] : учебное пособие / П. И. Пилов. — Днепропетровск : Изд-во Нац. горн. унив.-та, 2010. — 127 с.
3. Белоусов, В. А. Перспективные методы обогащения угольных шламов [Текст] / В. А. Белоусов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 4. — С. 15–17.
4. Пат. 2659296 Российская Федерация, МПК¹³ В 07 В 4/08. Устройство пневматической сепарации, способ и установка сухого обогащения угля / А. Н. Терешенков ; заявитель и патентообладатель ООО «ОФИС». — № WO2017115790 ; заявл. 04.05.17 ; опубл. 29.06.18, Бюл. № 19. — 13 с. : ил.

5. Зубков, В. Е. Сепарация сыпучих материалов [Текст] / В. Е. Зубков. — Lambert Academic Publishing, 2011. — 364 с.

© Зубков В. Е.
© Кизияров О. Л.
© Левченко Э. П.
© Чебан В. Г.

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

Статья поступила в редакцию 28.02.20.

Doctor of Technical Sciences Zubkov V. E., PhD in Engineering Kiziyarov O. L., PhD in Engineering Levchenko E. P., PhD in Engineering Cheban V. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

SUBSTANTIATING THE PARAMETERS OF THE BLOCKED FLUIDIZED BED AS A MEDIUM FOR SEPARATING MATERIALS BY DENSITY

The paper is devoted to substantiating the parameters of a new separation system of the blocked fluidized bed designed to separate different materials by density. The proposed method allows to perform calculations of rational geometric and aerodynamic parameters of BFB with different versions of separator design.

Key words: *separation, density, blocked fluidized bed, components.*