

УДК 622.767:631.362.3

д.т.н. Зубков В. Е.,  
к.т.н. Кузьяров О. Л.,  
Полев А. Ю.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, Zubkov-viktor@mail.ru, Radioalex@bk.ru)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЕПАРАТОРА СЫПУЧИХ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Работа посвящена научному обоснованию схемы и параметров устройств для подачи и распределения воздушного потока по рабочей площади сепарирующего покрытия сепаратора сыпучих зернистых материалов. Определена рациональная схема и установлены рабочие параметры системы воздухораспределения сепаратора.*

**Ключевые слова:** воздухораспределительная система, сепаратор сыпучих зернистых материалов, псевдооживленный слой.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Одним из эффективных способов сепарации сыпучих зернистых материалов является их гравитационное обогащение [1].

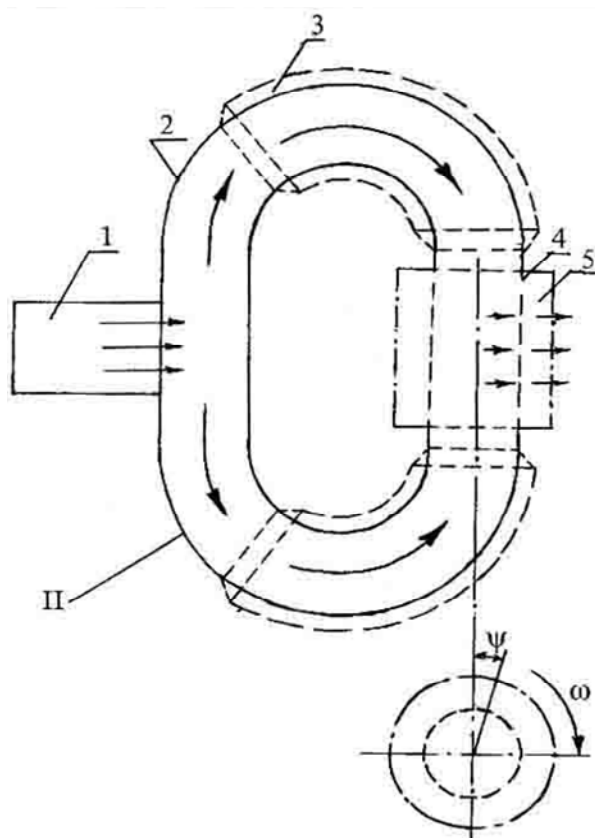
Гравитационное обогащение осуществляется в водной и воздушной средах. В водной среде разделение происходит достаточно четко. Однако сухое гравитационное обогащение в воздушной среде имеет преимущество в том, что не требует обезвоживания продуктов обогащения. Это особенно важно для районов с суровым климатом, где смерзание концентратов затрудняет их транспортировку. Одним из эффективных способов, является сепарация в псевдооживленном слое, создаваемом прохождением воздушного потока сквозь пористое днище, на котором размещается мелкий зернистый утяжелитель [2]. В таком слое тонут более плотные частицы и всплывают менее плотные аналогично водным суспензиям, но при этом продукты разделения остаются сухими.

Данное исследование посвящено разработке способа сепарации, в котором в качестве системы разделения компонентов используется блокированный псевдооживленный слой (БПС) [3]. Отличие БПС от обычного псевдооживленного слоя в том, что его зернистая твердая фаза соединена

гибкими нитями, закрепленными одними концами на воздухораспределительной решетке. Это дает возможность поддерживать постоянным гранулометрический состав твердой фазы БПС в процессе сепарации, а также путем подбора геометрических и аэродинамических параметров БПС получать его «эффективную плотность», промежуточную между плотностями разделяемых компонентов смеси, что является основой для эффективного непрерывного технологического процесса разделения материалов, различающихся по плотности.

**Постановка задачи.** Одним из основных требований для обеспечения высокой эффективности технологического процесса разделения компонентов является равномерное распределение воздушного потока по площади рабочей поверхности БПС. Научное обоснование такого распределения и определило основную задачу исследований. Таким образом, **целью** настоящей работы является определение рациональной схемы подачи воздушного потока и распределения его по рабочей поверхности БПС.

**Объект исследования** — экспериментальная установка, включающая вентилятор, воздухопровод и сепарирующий барабан с БПС на его внешней цилиндрической поверхности (рис. 1).



I — подача воздуха в барабан воздуховодом постоянного сечения, II — подача воздуха в барабан воздуховодом переменного сечения с диффузором-конфузором;  
1 — вентилятор, 2 — воздуховод постоянного сечения, 3 — диффузор-конфузор,  
4 — решетчатый барабан, 5 — БПС

Рисунок 1 Схема сепаратора сыпучих материалов с двусторонней подачей воздуха в сепарирующий барабан

**Предмет исследования** — закономерности движения воздушного потока по рабочей поверхности БПС в барабане.

**Задачи** исследования:

- установить влияние конструкции воздухораспределительной решетки на равномерность распределения воздуха по рабочей площади сепарирующего барабана;
- определить эффективность жалюзийных и плоских решеток, применяемых для выравнивания распределения воздуха по рабочей поверхности БПС;
- оценить влияние колебаний давлений на изменение эффективной плотности БПС.

**Методика исследования.** Предварительными исследованиями установлено, что воздушный поток распределяется более равномерно при двусторонней подаче в барабан, чем при односторонней [3].

Воздушный поток на выходе из вентилятора разделялся с помощью специального трубопровода и подавался через два входных окна в полость барабана (рис. 1).

Чтобы подать в сепарирующий барабан равномерный воздушный поток, необходимо колено воздуховода удалять от входного окна барабана на значительное расстояние [4], что приведет к увеличению габаритных размеров отделителя.

Предлагается обеспечить минимальную интенсивность вторичных течений и, таким образом, получить поток со стабильным полем давлений путем уменьшения скорости воздуха перед поворотом воздуховода (введением местной диффузорности), а за поворотом — увеличением скорости (введением местной конфузорности) [4]. В воздуховоде постоянного сечения при введении в области поворота системы «диффузор — конфузор» диаметр воздуховода можно увеличить в 1,25–1,5 раза [4].

С целью определения равномерности распределения воздушного потока по рабочей поверхности барабана (рис. 2) использовалась штанга 5, на которой крепились датчики полных давлений 4. Выходные концы датчиков 4 соединялись с многошкальным микроманометром. Штанга 5 вместе с датчиками 4 имела возможность перемещаться по глубине слоя в радиальном направлении. Поскольку штанга жестко связана с боковинами барабана, то при повороте барабана вокруг оси изменялся угол установки датчиков со штангой. Таким образом, перемещая датчики в радиальном направлении, определяют распределение давлений по образующей барабана, а поворачивая барабан вокруг оси — по направляющей, то есть по окружности (рис. 2).

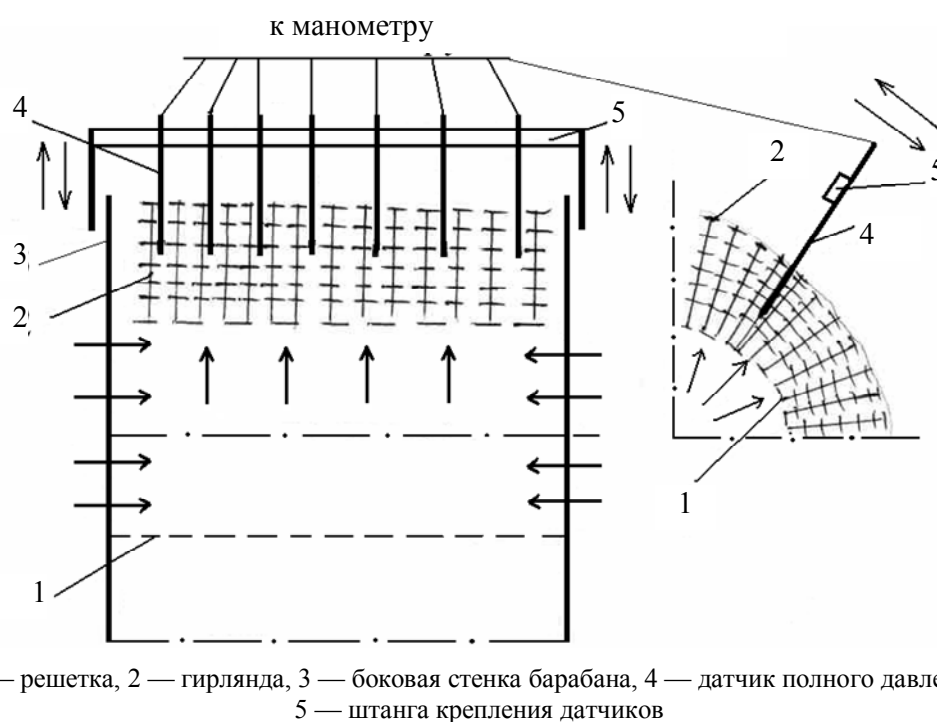


Рисунок 2 Схема замера полных давлений в заблокированном псевдооживленном слое, размещенном на поверхности барабана

**Изложение материала и его результаты.** Совершенствование воздухораспределительной системы сепарирующего устройства проводилось по следующим направлениям. На барабане опытного образца сепаратора исследовалось влияние конструкции воздухораспределительной решетки на равномерность распределения воздуха по рабочей площади барабана. Экспериментальной проверке были подвергнуты варианты воздухораспределительных решеток со следующими параметрами. Поверхность каждой решетки состояла из 4 поясов шириной по 100 мм. На каждом поясе сверлились отверстия различных диаметров по схемам:

- 1)  $8 \times 8 \times 8 \times 8 \times 8$  мм;
- 2)  $10 \times 9 \times 8 \times 9 \times 10$  мм;
- 3)  $12 \times 10 \times 8 \times 10 \times 12$  мм;
- 4)  $14 \times 11 \times 8 \times 11 \times 14$  мм.

Соответственно, живое сечение (в процентах) по поясам решетки составляло:

- 1)  $21 \times 21 \times 21 \times 21 \times 21$ ;
- 2)  $28 \times 23 \times 21 \times 23 \times 28$ ;

3)  $41 \times 28 \times 21 \times 28 \times 41$ ;

4)  $55 \times 34 \times 21 \times 34 \times 55$ .

Воздухораспределительные решетки устанавливались поочередно в нагнетательную камеру сепарирующего барабана. Для каждого варианта решетки получены распределения полных давлений  $P$  воздушного потока в слое по ширине барабана, представленные на рисунке 3.

Экспериментальная проверка показала, что с ростом живого сечения решетки от середины барабана к торцам происходит выравнивание давления воздушного потока по ширине барабана; однако дальнейшее увеличение живого сечения в том же направлении приводит к тому, что давление в средней части барабана становится ниже, чем по краям (рис. 3).

Изменение живого сечения воздухораспределительной решетки является эффективным способом выравнивания давления, однако в пристенной части барабана остается «теневой» участок шириной около 50 мм, на котором давление все же понижено.

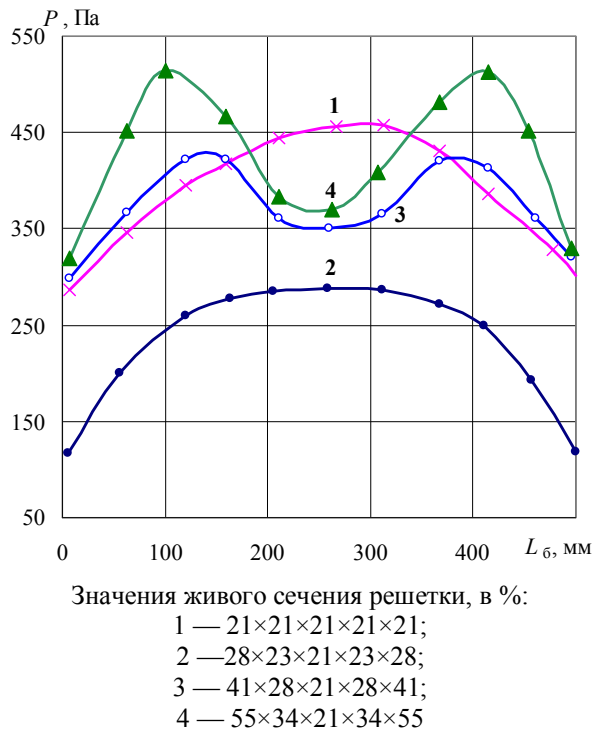


Рисунок 3 Распределение полного давления воздушного потока по ширине сепарирующего барабана в зависимости от изменения живого сечения воздухораспределительной решетки

Дальнейший поиск рационального варианта конструкции воздуховода осуществлялся на лабораторной установке, выполненной по схеме, представленной на рисунке 4.

Между выходным окном вентилятора и стенкой ванны с заблокированным псевдооживленным слоем смонтирован дополнительный воздуховод, основные параметры которого представлены на схеме (рис. 4).

На пути движения воздушного потока с целью регулировки расхода воздуха устанавливались решетки типа «жалюзи», плоские решетки с различными живыми сечениями, а также регулируемая заслонка.

Установка жалюзийных и плоских решеток приводила к образованию между стенкой и гирляндами слоя канала, куда устремлялся воздух, что приводило к потерям воздушного потока.

Наиболее приемлемым оказался способ регулировки расхода воздушного потока с помощью заслонки.

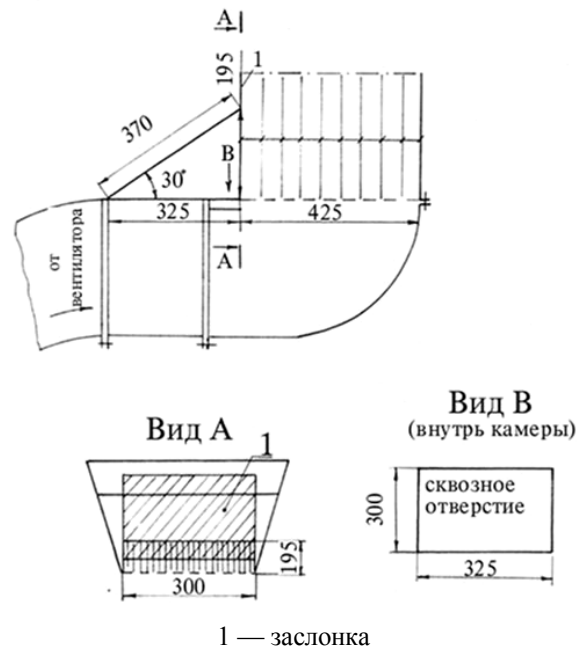


Рисунок 4 Схема установки для изучения распределения воздушного потока по площади БПС

Так, при открытии заслонки примерно на 50 мм происходило практически полное выравнивание давления воздушного потока на пристенном участке. Таким образом, в качестве рациональных предварительных параметров воздухораспределительной системы можно рекомендовать решетку по схеме 3 с переменным живым сечением (в процентах) 41×28×21×28×41, а также кольцевые просветы высотой 50 мм у обеих боковых стенок барабана.

Согласно рисунку 3 (кривая 3), наблюдается изменение давления по рабочей ширине барабана, что, в свою очередь, приводит к колебаниям эффективной плотности БПС ( $\rho_3$ ). Для оценки влияния колебаний давлений на эффективную плотность БПС использован экспериментальный график, представленный на рисунке 5.

Как следует из графиков, представленных на рисунках 3 и 5, предельные значения разброса давлений (около 100 Па), имеющих место при третьем варианте конструкции воздухораспределительной решетки, и соответствующие им значения

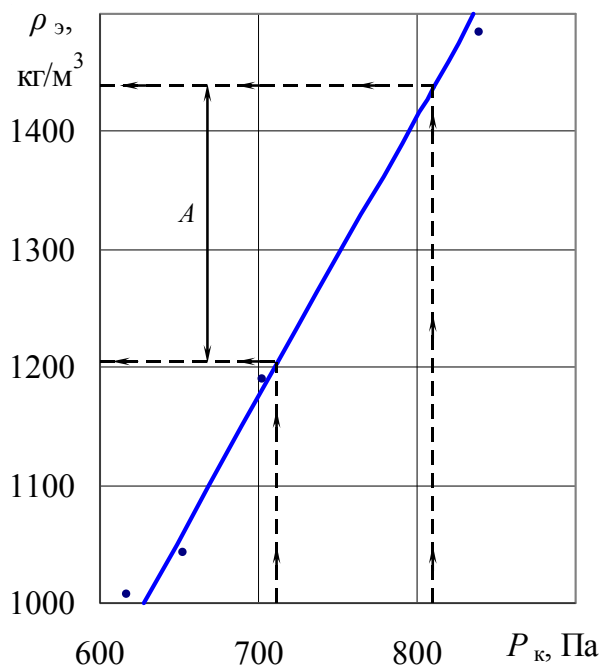
эффективной плотности  $\rho_э$  находятся в пределах интервала  $A$ , то есть 1200–1450 кг/м<sup>3</sup>, что вписывается в промежуточные значения между плотностями разделяемых компонентов (например, угля и породы).

Представленная на рисунке 5 зависимость аппроксимирована линейной функцией

$$\rho_э = 2,41 \cdot P - 510, \text{ кг/м}^3; (R^2 = 0,96), (1)$$

где  $R^2$  — коэффициент детерминации.

Следует отметить необходимость дополнительного выравнивания давлений и, как следствие, эффективных плотностей по ширине сепарирующего барабана.



$A$  — максимальное значение перепада эффективной плотности БПС по ширине сепарирующего барабана

Рисунок 5 Зависимость эффективной плотности БПС от величины полного давления по ширине барабана

### Библиографический список

1. Верхотуров, М. В. *Гравитационные методы обогащения [Текст] : учеб. для вузов / М. В. Верхотуров. — М. : МАКС Пресс, 2006. — 352 с.*
2. Буряков, В. И. *Обогащение крупных классов углей в аэросуспензии [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.15.08 / В. И. Буряков. — Караганда, 1968. — 230 с.*

Этого можно достичь путем плавного изменения живого сечения воздухораспределительной решетки, так как до этого нами исследовались решетки со ступенчатым изменением живого сечения. Также целесообразно определить оптимальные координаты размещения рабочего участка БПС на цилиндрической поверхности барабана относительно места установки вентилятора.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В качестве воздухоподводящей системы целесообразно использовать двустороннюю подачу воздушного потока с диффузором-конфузором в области поворота воздуховода перед его входом в полость сепарирующего барабана с перепадом сечения воздуховода в 1,25–1,5 раза.

2. Для воздухораспределительной системы рекомендуется использовать воздухораспределительную решетку с переменным живым сечением, увеличивающимся от середины барабана к его боковым стенкам по схеме, в %: 41×28×21×28×41.

3. С целью выравнивания давления воздушного потока на пристенном участке сепарирующего барабана наиболее приемлемым является способ регулировки расхода воздушного потока с помощью заслонки. При открытии заслонки на 50 мм наблюдается практически полное выравнивание давления воздушного потока на пристенном участке.

В дальнейших исследованиях планируется достичь повышения равномерности распределения воздушного потока путем плавного изменения живого сечения воздухораспределительной решетки, а также путем определения оптимальных координат размещения рабочего участка БПС относительно вентилятора.

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

4. Дейч, М. Е. Техническая газодинамика [Текст] / М. Е. Дейч. — М. — Л. : Госэнергоиздат, 1961. — 671 с.

© Зубков В. Е.

© Кизияров О. Л.

© Полев А. Ю.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ТОМП ДонГТИ Зелинским А. Н.,  
к.т.н., доц. каф. ТПиОТ СИПИМ ЛНУ им. В. Даля Черниковой С. А.*

*Статья поступила в редакцию 15.03.2021.*

**Doctor of Technical Sciences Zubkov V. E., PhD in Engineering Kiziyarov O. L., Polev A. Yu.**  
*(DonSTI, Alchevsk, LPR, Zubkov-viktor@mail.ru, Radioalex@bk.ru)*

**DETERMINING THE RATIONAL PARAMETERS OF AIR-DISTRIBUTION SYSTEM FOR SEPARATOR OF LOOSE GRAIN MATERIALS**

*The work is devoted to scientific justification of scheme and parameters of devices for the air flow supply and distribution over operating area of the separating coating of separator of loose grain materials. Rational scheme is defined and operating parameters of the separator air-distribution system are determined.*

**Key words:** *air-distribution system, separator of loose grain materials, fluidized bed.*