

ПРИМЕНЕНИЕ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ КАМЕННЫХ И БУРЫХ УГЛЕЙ

Александр Корчевский

Korchev_al@ukr.net

Донецкий национальный технический университет, Украина

Аннотация

Приведены результаты исследования параметров обогащения бурых углей вибрационно-пневматическим методом.

Ключевые слова: сепаратор вибрационно-пневматический, бурый уголь, обогащение, параметры.

Введение

В последнее время наблюдается рост популярности сухих методов разделения для обогащения различных сыпучих материалов. Применение метода вибрационно-пневматической сепарации в комплексе с классификацией сырья позволяет создавать малогабаритные, компактные и мобильные обогатительные установки с круглогодичным циклом работы. Эти установки имеют возможность оперативного управления и регулирования основных технологических параметров процесса. Существенным фактором является независимость от водных ресурсов и отсутствие потребности в коммуникационных сооружениях для складирования высоковлажных продуктов, что является важным положительным фактором размещения установок в местах с ограниченной обеспеченностью гидроресурсами.

Использование сухого метода обогащения с применением вибрационно-пневматической сепарации может широко применяться при предварительной переработке горной массы угледобывающих предприятий с целью снижения зольности рядового угля, а также при вторичной утилизации путем доизвлечения горючей массы из породугольных отвалов.

В 1960-70-х годах метод сухой сепарации был признан технически и экономически наиболее целесообразным для обогащения каменных и бурых углей Северного и Южного Урала, Дальнего Востока, Печерского бассейна, Кузбасса, Подмосковского бассейна. В этот период эксплуатировались 13 обогатительных фабрик и 10 обогатительных установок, которые ежегодно перерабатывали более 30 млн. тонн углей или около 8% всех обогащаемых углей СССР [1, 2].

Краткие теоретические основы вибрационно-пневматической сепарации

Метод вибрационно-пневматической сепарации позволяет разделять материал, находящийся на перфорированной рабочей поверхности под действием восходящего потока воздуха и вибраций. При этом происходят разрыхление и расслаивание постели материала по крупности и плотности частиц. Процесс расслоения наблюдается по всей площади рабочей поверхности. Разделение на продукты осуществляется путем перемещения образовавшихся слоев постели материала на рабочей поверхности в одном или нескольких направлениях (сепараторы прямоточные, веерные, противоточные) [3].

Относительное перемещение зерен в постели (без восходящего потока воздуха) зависит от их крупности и образующихся зазоров между ними. Мелкие зерна обладают большей способностью проникать в образующиеся зазоры и подклинивать более крупные, поэтому они концентрируются в нижних слоях постели материала. Чем больше разница в крупности зерен, тем больше возможность преимущественного проникновения мелочи через зазоры между крупными зернами. При этом более эффективна сегрегация по крупности. Повышение частоты колебаний рабочей поверхности приводит к увеличению разрыхленности постели и подвижности зерен. Эффект разделения по крупности

снижается, так как уменьшается преимущественная способность мелких зерен проникать в зазоры между крупными и возрастает общее перемешивание частиц [4].

При обогащении углей на вибрационно-пневматических сепараторах с одновременным воздействием восходящего потока и вибрационного перемещения на постель сегрегация материала особенно заметна в уплотненных слабо взвешенных слоях постели при низких расходах воздуха. В этих случаях в верхних слоях постели концентрируются более крупные зерна. Процесс расслоения постели по плотности зерен имеет малую эффективность.

При режимах с более высоким расходом воздуха и повышением частоты колебаний, что приводит к уменьшению влияния процесса сегрегации, крупность концентрата падает, а отходов растет. В этом случае плотность разделения крупных классов снижается, а мелких – увеличивается.

Усиление эффекта сегрегации достигается использованием рациональных режимов встряхивания постели и регулированием расхода воздуха [2].

Важнейшими условиями эффективного расслоения постели являются стабильность и равномерность распределения воздушного потока по всей площади рабочей поверхности сепаратора. Минимальное сопротивление рабочей поверхности воздушному потоку должно быть не ниже 25% сопротивления постели при непрерывной подаче воздуха и 10% при пульсирующем режиме подачи воздуха, способствующего ее выравниванию.

Наибольший эффект при обогащении с использованием вибрационно-пневматических сепараторов обеспечивает шкала крупности материала 1:5. Максимальная крупность обогащаемого материала не должна превышать 50 (75) мм.

Характер воздействия подвижной рабочей поверхности и воздушного потока на постель из частиц обогащаемого материала, транспортирование материала и способ разделения и разгрузки продуктов, а, следовательно, и результаты обогащения зависят от типа и конструкции применяемого сепаратора.

Существенное влияние на процесс сепарации оказывает вязкость среды, зависящая от интенсивности вибрационного воздействия и скорости воздушного потока. Эффективное использование сепаратора возможно при режимных параметрах, определяемых инженерным расчетом. Динамический режим выбирается из условия подбрасывания материала. При этом число оборотов вала вибровозбудителя колебаний рабочей поверхности сепаратора определяется по зависимости:

$$N_{nd} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(Q \cos \beta - P_g)}{Q A \sin(\alpha - \beta)}}; \text{ об/мин}, \quad (1)$$

где N_{nd} – частота вращения вала вибровозбудителя, об/мин; Q – сила тяжести частицы, Н; P_g – сила давления воздуха, Н; g – ускорение силы тяжести, м/с²; A – амплитуда колебаний, мм; α – угол действия направленных колебаний, град.; β – угол наклона рабочей поверхности, град.

Скорость воздушного потока выбирается из условия уноса легких зерен, определяемого по величине скорости витания:

$$V_g = \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho_g) d g}{3 C \rho_g}}; \text{ м/с}, \quad (2)$$

где V_g – скорость витания наиболее легких зерен, присутствующих в питании сепаратора, м/с; ρ_g – плотность воздуха, кг/м³; ρ_m – плотность частицы уноса, кг/м³; d – диаметр частицы, м; C – коэффициент сопротивления, зависящий от формы частицы, безразмерный.

С использованием теоретических основ вибрационно-пневматической сепарации была разработана конструкция машины и изготовлен сепаратор типа СВП-5,5х1 (Украина). Принципиальная схема сепаратора показана на рис. 1.

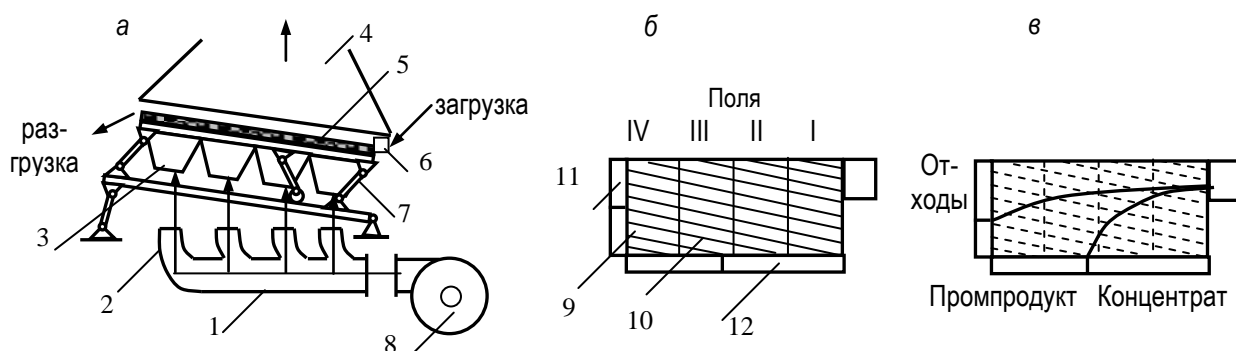


Рисунок 1. Схема вибрационного пневматического сепаратора: а – вид сбоку; б – вид деки сверху, в - зоны выделения продуктов на деке сепаратора

В конструкции применена пульсирующая подача воздуха под деку вентилятором 8 через воздуховод 1, разделенный в верхней части на патрубки 2 и диффузоры 3. Число патрубков и диффузоров соответствует числу воздушных полей сепаратора. Запыленный воздух удаляется через зонт 4. В конструкции деки предусмотрена возможность изменения углов ее наклона в поперечном и продольном направлениях. На деке сепаратора расположены направляющие 10 (рифли), изготовленные из стальных полос разной высоты. Наибольшую высоту рифли имеют в поле I в зоне разгрузки концентрата 12 (рис. 1, б). Высота направляющих постепенно уменьшается как в продольном, так и в поперечном направлении, в зоне выгрузки отходов 11 она минимальна. Материал из загрузочного устройства 6 поступает на деку сепаратора, где с помощью питателя распределяется, образуя постель 5.

Дека, установленная на наклонных опорах 7, совершает возвратно-поступательные движения (качания), постель по инерции подбрасывается вверх в направлении, перпендикулярном к плоскости опор. В результате материал постели разрыхляется и приобретает «текучесть». Благодаря наклону деки в поперечном направлении и поступательному движению постели слой легких частиц, располагающийся выше направляющих, постепенно «сползает» вниз, под углом к оси сепаратора и разгружается вдоль его борта в передней части деки. Нижние слои постели, находящиеся между направляющими, продвигаются вдоль них. Разгрузка продуктов происходит по периметру сепаратора (рис. 1, в).

Техническая характеристика сепаратора СВП-5,5х1 приведена в табл. 1

Таблица 1.

Техническая характеристика сепаратора СВП-5,5х1

Наименование параметра и размерность	Величина
1. Рабочая площадь разделения, м ²	6,7
2. Ширина деки, м	1,4
3. Производительность по исходному материалу, т/ч,	50
4. Крупность обогащаемого материала, мм	до 75
5. Поверхностная влага материала, %	до 8
6. Насыпная плотность материала, т/м ³	до 2,8
7. Погрешность разделения (при максимальной производительности)	0,25
8. Диапазон регулируемой частоты качания деки, с ⁻¹	3,0-6,7
9. Размеры габаритные, мм	12000 x 10000 x 7800
10. Масса, кг	12600
11. Установленная мощность, кВт, не более	15

Конструкция деки сепаратора и его принцип работы позволяет получать качество продуктов обогащения (по схеме получения двух или трех продуктов) согласно заданным техническим условиям потребителя. Распределение зольности в потоке дифференцированно возрастает по периметру разгрузочной части деки сепаратора и повторяет закон распределения зольности и выходов фракций в исходном сырье.

На базе данного аппарата спроектированы и пущены в эксплуатацию целый ряд модульных обогатительных установок для различных целей (сухой переработки породных отвалов, содержащих горючую массу, предварительного снижения зольности рядового угля и др.). Исходный материал подается вибрационным питателем непосредственно в сепаратор или при необходимости предварительной классификации на вибрационный грохот. Запыленный воздух проходит несколько стадий пылеулавливания, после чего выбрасывается в атмосферу. Уловленная пыль присаживается к концентрату.

В комплексе с сепаратором СВП 5.5x1 для предварительной классификации материала с повышенной влажностью может использоваться вибрационный грохот. В основу разработки конструкции грохота поставлена задача повышения эффективности разделения материалов с высоким содержанием породных фракций и влаги за счет регламентированного управления приростом скорости движения материала на каждой просеивающей поверхности. При этом толщина материала, который находится на просеивающей поверхности, остается практически постоянной по всей длине грохота или увеличивается от загрузочной части к разгрузочной. Это позволяет повысить производительность грохота и увеличить время нахождения материала на грохоте.

Решение поставленной задачи обеспечивается тем, что каждая просеивающая поверхность, выполненная из эластичного материала, собрана из прямоугольных секций, жестко соединенных между собой и установленных по ломаной линии. Площадь рабочей зоны имеет определенный угол наклона к горизонту и длину 40-50% от суммарной длины ломаной просеивающей поверхности. Площадь разгрузочной зоны имеет другой угол наклона к горизонту и длину 25-20% от суммарной длины ломаной просеивающей поверхности. Площадь загрузочной зоны имеет максимальный угол наклона к горизонту и длину 35-30% от суммарной длины ломаной просеивающей поверхности. Вибровозбудитель грохота является вибровозбудителем инерционного типа и возбуждает круговые колебания. Разработанные новые образцы оборудования позволяют решать сложные технологические задачи, возникающие при переработке угольного сырья и вторичных материалов [5-7].

Анализ результатов работы установки

На базе сепаратора СВП 5.5x1 смонтирована модульная установка МОК-СВП, работающая с момента запуска в 2009г. по снижению зольности рядового угля и доизвлечению горючей массы из терриконов. Результаты работы модульной установки на рядовом угле приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты работы модульной установки на рядовом каменном угле

Фракция	Рядовой каменный уголь, %			Продукты обогащения, %			
	выход, γ	зольность, A ^d	влажность, W ^r	концентрат		отходы	
				выход	зольность	выход	зольность
Концентратная	15,9	19,8		30,7	19,8	69,8	73,1
Породная	36,8	73,1					
Питание	52,7	57,0					
Отсев 0-8мм	47,3	35,8	6,5				
Всего	100	47,0	8,9				
Извлечение горючей массы, %				56,3			
Извлечение минеральной массы, %						89,5	
Эффективность E, %				45,8			
Селективность S _c , %				11,0			

Исходный материал классифицировался на грохоте по классу 50мм, кроме того выделялся сухой отсев -8+0мм. Результаты оценивались по извлечению горючей массы в концентрат и минеральной массы в отходы, по эффективности обогащения E (по Ханкоку-Луйкену) и по селективности разделения S_G (по Годэну). В связи с тем, что эффективность и селективность разделения являются взаимно противоположными показателями, их использование дает наиболее объективную оценку результатов испытания.

$$E = 100 \cdot \gamma_K (A_{П} - A_K) / A_{П} (100 - A_{П}), \quad (3)$$

$$S_G = ((100 - A_K) / A_K) \cdot (A_O / (100 - A_O)), \quad (4)$$

где γ_K - выход концентрата, %; $A_{П}$, A_K , A_O - зольность питания, концентрата и отходов, %.

При соответствующей настройке режима работы сепаратора СВП-5,5х1 выход концентратных фракций может быть увеличен при повышении его зольности до допустимых значений. Возможность перенастройки параметров СВП-5,5х1 в довольно широких пределах позволяет оперативно управлять процессом разделения в зависимости от свойств поступающего сырья.

На этой же модульной установке (МОК-СВП) проведены испытания по обогащению бурых углей. В табл. 3 и 4 приведен состав бурого угля.

Таблица 3.

Ситовый анализ рядового бурого угля

Класс, мм	Выход, %	Зольность, %	Суммарный выход, %			
			сверху		снизу	
			выход	зольность	выход	зольность
+100	19,90	21,82	19,90	21,82	100,00	43,46
50-100	25,60	34,27	45,50	28,82	80,10	48,83
25-50	10,30	47,28	55,80	32,23	54,50	55,67
13-25	12,40	51,40	68,20	35,72	44,20	57,63
6-13	8,10	55,84	76,30	37,85	31,80	60,06
3-6	7,10	56,19	83,40	39,41	23,70	61,50
1-3	8,20	61,92	91,60	41,43	16,60	63,77
0,5-1	3,90	64,94	95,50	42,39	8,40	65,58
0-0,5	4,50	66,14	100,00	43,46	4,50	66,14
Итого	100,00	43,46	-	-	-	-

Таблица 4.

Распределение продуктов в классе +100 мм

Продукт	Выход, %	Зольность, %
Уголь	75,8	10,91
Порода	24,2	56,01
Итого	100,0	21,82

Для данного материала выполнено исследование фракционного состава для классов крупности 50-100, 25-50, 13-25, 6-13, 3-6 и 0,5-3мм. Расслоение выполнялось в сертифицированной лаборатории кафедры «Обогащение полезных ископаемых» Донецкого национального технического университета (г. Донецк, Украина) в тяжелых жидкостях плотностью 1400, 1600 и 1800 кг/м³, приготовленных с использованием четыреххлористого углерода. На базе этих исследований определен теоретический баланс фракций пробы бурого угля, представленный в табл. 5. Из результатов следует, что из данного состава бурого угля возможно получение 57% концентрата зольностью 18% и 43% отходов зольностью 76% при плотности разделения 1800 кг/м³.

Таблица 5.

Теоретический баланс продуктов обогащения бурого угля при плотности разделения 1800 кг/м³

Класс, мм	Выход, %	Концентрат, %			Порода, %		
		Выход	Выход к классу	Зольность	Выход	Выход к классу	Зольность
+100	19,90	15,08	75,8	10,91	4,82	24,2	56,01
50-100	25,60	17,77	69,4	19,75	7,83	30,6	67,23
25-50	10,30	5,63	54,7	20,54	4,67	45,3	79,85
13-25	12,40	6,78	54,7	24,53	5,62	45,3	77,56
6-13	8,10	3,59	44,4	24,15	4,51	64,10	73,06
3-6	7,10	2,96	41,7	25,73	4,14	58,3	77,67
0,5-3	12,1	3,23	26,7	19,43	8,87	73,3	71,63
0-0,5	4,5	2,25	50,0	66,14	2,25	50,0	66,14
Итого	100,0	57,29		18,04	42,71	42,71	76,35

Для обогащения бурого угля была выполнена соответствующая перенастройка режимных параметров сепаратора. В задачу исследования входило определение возможности получения концентрата с зольностью до 30%. Поэтому класс крупности более 50мм выделялся на грохоте и присаживался к концентрату обогащения, так как его зольность не превышала 29%. Результаты работы модульной установки с использованием вибрационно-пневматического сепаратора СВП-5,5х1 приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Показатели продуктов обогащения класса 0-50мм

Продукт	Выход, %	Зольность, %
Итого концентрат	40,29	27,07
Итого отходы	59,71	76,35
Всего бурый уголь	100,0	56,49

После присадки надрешетного продукта грохота к концентрату обогащения класса 0-50мм получен товарный продукт в количестве 66,75% от рядового угля с зольностью 28,26%.

Выводы

Проведенные исследования режимов работы модульной обогатительной установки на базе вибрационно-пневматического сепаратора СВП-5,5х1 (МОК-СВП) на различной сырье позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Пульсирующая подача воздуха под деку в зоны разделения способствует повышению эффективности сепарации на СВП-5,5х1.

2. Динамическая и кинематическая схемы СВП-5,5х1 обеспечивают более высокое разрыхление «постели» за счет дополнительных вертикальных составляющих колебаний, что способствует улучшению селективности разделения легких и тяжелых фракций.

3. По сравнению с аппаратами других конструкций вибрационно-пневматический сепаратор СВП-5,5х1 обеспечивает более высокие технологические показатели при более трудных исходных условиях разделения.

4. Возможность перенастройки параметров СВП-5,5х1 в довольно широких пределах позволяет оперативно управлять процессом разделения в зависимости от свойств поступающего сырья.

5. При зольности рядового бурого угля около 57% обогащение на данной модульной установке обеспечивает получение товарного продукта в количестве 66,7% зольностью до 30% и отходов зольностью более 75%.

Список ссылок

1. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения. [Монография] – М.: Недра, 1990. – 574 с.
2. Оборудование для обогащения угля: [справ. пособие]; под ред Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1979. – 335 с.
3. Анохин В.Д. и др. Вибрационные сепараторы: [монография]; В.Д. Анохин, Д.А. Плинс, В.Н. Монахов. М.: Недра, 1991. – 156 с.
4. Е.Е. Гарковенко и др. Применение вибрационных пневматических сепараторов веерного типа при обогащении углей / Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Корчевский А.Н., Гарин Ю.М., Пархоменко А.В. / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. - Вип. 45(86). - С. 66-70.
5. Е.Е. Гарковенко и др. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей / Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Букин С.Л., Корчевский А.Н. // Уголь Украины 2011 №5(653). С. 41-45.
6. O.I. Nazymko et al. Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation / Nazymko O.I., Garkovenko E.E., Corchevsky A.N., Nazymko V.V., Rozanov Y.A., Martyanov S.V. // *Proceedings of XVI ICCP. - USA. - 2010. - p. 581-586.*
7. Е.Е. Гарковенко и др. Исследование работы вибрационного пневматического сепаратора / Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Корчевский А.Н. и др. //Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. - Вип. 45(86). - С. 78-84.