

УДК 622.764:621.928.6

ГАРКОВЕНКО Е.Е., доктор техн. наук

НАЗИМКО Е.И., доктор техн. наук

БУКИН С.Л., канд. техн. наук

КОРЧЕВСКИЙ А.Н., канд. техн. наук

(ДонНТУ)

ГАРИН Ю.М., канд. техн. наук

ПАРХОМЕНКО А.В.

(ООО «Машиностроительный завод им. Пархоменко»)

ШОЛДА Р.А.

(НПК «Укрвибромаш»)

### **Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей**

*Приведены результаты работы концентрационного стола для обогащения угольных шламов из илонакопителей и вибрационного пневматического сепаратора на различном углесодержащем сырье.*

**Evgeny Garkovenko, Elena Nazimko, Sergey Bukin, Aleksandr Korchevsky, Jury Garin, Anatoly Parhomenko, Roman Sholda**

### **Application of vibration technique with the double harmonious mode of vibrations for coal preparation**

*The results of preparation with **concentration** table for slimes and vibration-pneumatic dry separator for different coal materials are presented.*

Гарковенко Є.Є., Назимко О.І., Букін С.Л., Корчевський О.М., Гарін Ю.М., Пархоменко А.В., Шолда Р.О.

### **Використання вібраційної техніки з бігармонійним режимом коливань при збагаченні вугілля**

*Приведені результати роботи концентраційного столу для збагачення вугільних шламів мулонакопичувачів та вібраційного пневматичного сепаратора на різній вуглевміщувачій сировині.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Процесс обогащения различного углесодержащего сырья может производиться по трем направлениям: 1) обогащение на действующих фабриках; 2) использование сырья без значительного снижения зольности в качестве присадки к углю, имеющему более низкую зольность; 3) строительство минифабрик модульного типа вблизи источника сырья. Очевидно, что третий путь имеет существенные преимущества.

Целый ряд модулей с различной технологией работает на доизвлечении горючей массы из отстойников-илонакопителей, обрабатывая шламы. Технология утилизации отходов предполагает их обогащение так называемыми мокрыми методами до параметров энергетических товарных углей или концентратов для коксования.

Кроме того, модульные установки используются и для материала крупностью 10-100мм. Здесь, наоборот, применяются сухие методы разделения, популярность которых в последнее время вновь растет. Применение вибрационной пневматической сепарации позволяет создавать малогабаритные, компактные и мобильные обогатительные установки с круглогодичным циклом работы. Существенную роль играет независимость от водных ресурсов и коммуникационных сооружений складирования высоковлажных продуктов, что является немаловажным положительным фактором размещения установок в местах с ограниченной обеспеченностью гидроресурсами.

*Анализ исследований и публикаций.* Анализ отечественного и зарубежного опыта обогащения различных классов углей позволяет выделить из всех методов наиболее перспективный и экономически привлекательный – гравитационное обогащение. Для мелких частиц используется сепарация в тонком слое воды, текущей по наклонной плоскости (концентрация на столах), для крупных классов – пневматическая вибрационная сепарация.

Наибольший интерес к концентрационным столам для обогащения углей пришелся на 60-70-е годы прошлого века [2, 3]. На многих обогатительных фабриках Украины и России были получены высокие результаты при обогащении угольных и антрацитовых шламов.

Настройка концентрационного стола на оптимальные технологические показатели при часто меняющихся показателях сырья, что имеет место при переработке илонакопителей, является сложной задачей. Исследователи подчеркивали, что при поддержании правильных условий работы для столов характерно достижение высоких технологических показателей разделения, редко превышаемых сепараторами другого типа [4]. Должным образом настроенный аппарат является одним из наиболее эффективных

обогащительных устройств, способных перерабатывать частицы широкого диапазона крупности с высокой степенью обогащения [5].

Известно, что концентрационный стол не представляет собой компактную и высокопроизводительную машину. Однако продуманное и обоснованное компоновочное решение обогащительной фабрики модульного типа может существенно снизить значимость данных недостатков.

Вибрационная пневматическая сепарация так же имела широкое распространение в 60-70-х годах двадцатого века. Этот метод был признан технически и экономически наиболее целесообразным для обогащения каменных и бурых углей Северного и Южного Урала, Дальнего Востока, Печерского бассейна, Кузбасса, Подмоскownого бассейна [7, 8]. В современных условиях сухой метод разделения вибропневматической сепарацией может широко применяться при предварительной переработке горной массы угледобывающих предприятий с целью снижения зольности рядового угля, а также при вторичной утилизации породных угольных отвалов, что является особенно актуальным.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является исследование работы вибрационных аппаратов с бигармоническим режимом колебаний на различном углесодержащем сырье.

**Изложение материала и результаты.** Для концентрационного стола основными параметрами, влияющими на процесс разделения материала, являются его производительность, длина хода и число ходов дек, углы их поперечного и продольного наклона, количество смывной воды, система нарифлений. Такой совокупности управляющих факторов не имеет ни одна из машин, применяемых для обогащения шламов. Благодаря уникальной возможности управления перечисленными факторами достигается максимально высокая технологическая эффективность разделения разнообразного сырья, включая угольные шламы илонакопителей. При этом происходит значительная десульфурация углей – снижение содержания пиритной серы в 2-3 раза.

Разработанный сотрудниками Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) совместно с НПК «Укрвибромаш» стол

концентрационный двухдечный с бигармоническим приводом СКОБ-2,5x2 содержит следующие основные элементы (рис. 1): деки трапецевидной формы с покрытием; питающий, водяной и сборные лотки; распределительное устройство; вибратор бигармонического типа; опорные устройства с механизмами регулирования продольного и поперечного углов наклона деки; рама. Техническая характеристика стола приведена в табл. 1.

Таблица 1.

Наименование показателя	Величина
Количество дек, шт	2
Общая площадь дек, м <sup>2</sup>	5
Длина хода деки, мм	4-16
Число ходов деки, ход/мин	280-400
Угол поперечного наклона деки, град	0-8
Угол продольного наклона деки, град	0-5
Габаритные размеры, мм: длина x ширина x высота	3550x2440x2440
Мощность электродвигателя привода, кВт	3
Масса, кг	1110

Конструкция аппарата, защищенная рядом патентов на изобретения, обеспечивает следующие основные преимущества:

- уникальная возможность управления технологическими параметрами процесса разделения обеспечивает достижение максимального качества и производительности;

- увеличенная по сравнению с серийно выпускаемыми зарубежными столами в 1,5-2 раза удельная производительность за счет применения ряда инновационных решений;

- простота машины, низкий уровень энергопотребления, низкая материалоемкость и небольшой уровень шума;

- удобство регулирования основных параметров: амплитуд и частот колебаний бигармонического режима, поперечного и продольного углов наклона деки, расхода и распределения по длине деки смывной воды.

Проведенные испытания и эксплуатация концентрационных столов СКОБ-2,5x2 на ряде минифабрик по обогащению зернистой фракции илонакопителей показали следующие результаты. Из антрацитового шлама

зольностью 42-47% получен концентрат зольностью 11-14% в количестве 51-53% и отходы зольностью 79-89%. При обогащении шлама каменных углей зольностью 35-44% получен концентрат с зольностью 18-23% в количестве 55-73% и отходы зольностью 69-86%. Производительность стола составляла до 7,5 т/ч по твердому [8].

Таким образом, положительный опыт эксплуатации концентрационных столов типа СКОБ-2,5х2 при обогащении угольных и антрацитовых шламов позволяет рекомендовать их к широкому использованию при утилизации зернистой фракции илонакопителей.

Другим типом оборудования с бигармоническим режимом колебаний является пневматический вибрационный сепаратор веерного типа. ГП «Укруглекачество», ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я. Пархоменко», ООО «Райт», кафедра «Обогащение полезных ископаемых» ДонНТУ и ООО «Качество Плюс» совместными усилиями осуществили реализацию проекта и курирование строительства модульной обогатительной установки на основе сепаратора СВП-5,5х1 [9].

Обогащение угля или других сыпучих материалов гравитационной крупности происходит на наклонных качающихся деках 9 с перфорированной рабочей поверхностью, через отверстия которой продувается воздух (рис. 2).

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. 2, 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), благодаря чему 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. 2, в).

Техническая характеристика пневматического вибрационного сепаратора СВП-5,5х1 приведена в табл. 2, а общий вид модульной установки в ходе ее монтажа - на рис. 3.

В настоящее время комплекс обогащения на основе вибрационного пневматического сепаратора СВП-5,5х1, который входит в состав модульной установки по переработке углесодержащих материалов, находится в эксплуатации [9, 10]. Теоретические исследования взаимодействия частиц в рабочем пространстве сепаратора позволили разработать основные параметры технологического регулирования установки [11, 12].

Таблица 2.

Наименование параметра и размерность	Величина
1. Рабочая площадь разделения, м <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	до 2,8
7. Погрешность разделения (при максимальной производительности)	0,25
8. Диапазон регулируемой частоты качания деки, с <sup>-1</sup>	3,0-6,7
9. Габаритные размеры, мм	
длина	6450
ширина	3900
высота	7800
10. Масса, кг	12600
11. Установленная мощность, кВт, не более	15

Оценка показателей работы обогатительного аппарата при выделении двух продуктов выполнялась по извлечению горючей массы в концентрат и минеральной массы в отходы, по эффективности обогащения  $E$  и селективности разделения  $S_G$ .

Эти показатели являются взаимно противоположными, и их использование дает наиболее объективную оценку результатов. Формулы Ханкока-Луйкена для  $E$  и Годэна для  $S_G$  имеют вид:

$$E = 100 \gamma_k (A_n - A_k) / A_n (100 - A_n), \quad (1)$$

$$S_G = ((100 - A_k) / A_k) * (A_o / (100 - A_o)). \quad (2)$$

Здесь  $\gamma_k$  – выход концентрата, %;  $A_n$ ,  $A_k$ ,  $A_o$  – зольность питания сепаратора, концентрата и отходов, соответственно, %.

Результаты опробования продуктов, полученных из различного сырья, представлены в табл. 3. Анализ данных работы установки свидетельствует о том, что сепаратор СВП-5,5х1 (Украина) обеспечивает высокие технологические показатели при переработке различного по составу углесодержащего сырья.

Таблица 3.

№ серии	Продукт	Выход	Зольность	Извлечение горючей массы	Эффективность	Селективность
1	Концентрат	33,5	18,4	63,43		
	Порода	66,5	76,3		52,6	
	Исходный	100	56,9			14,28
2	Концентрат	44,7	14,3	78,65		
	Порода	55,3	81,2		66,2	
	Исходный	100	51,3			25,88
3	Концентрат	66,2	19,5	87,46		
	Порода	33,8	77,4		54,4	
	Исходный	100	39,07			14,14

При высокой зольности исходного питания – 51% в серии 2 – наладка вибрационного сепаратора позволила получить концентрат в количестве 45% с зольностью 14,3% и высокозольные отходы. Эффективность и селективность разделения в этом случае максимальные по сравнению с другими сериями. При снижении зольности питания до 39% так же возможно получение энергетического концентрата в количестве 66%.

Следует отметить, что пневматические установки по обогащению на базе вибрационного сепаратора веерного типа являются компактными, не требуют значительных производственных площадей и коммуникаций, достаточно мобильными, могут эксплуатироваться для разных целей. Возможность перенастройки параметров работы сепаратора в довольно широких пределах позволяет оперативно управлять процессом разделения в зависимости от свойств поступающего сырья.

Динамическая и кинематическая схема сепаратора СВП-5,5x1 обеспечивает более высокую разрыхленность постели за счет дополнительных вертикальных составляющих колебаний, что способствует улучшению селективности разделения легких и тяжелых фракций.

#### ***Выводы:***

Положительный опыт эксплуатации концентрационных столов типа СКОБ-2,5x2 при обогащении угольных и антрацитовых шламов позволяет рекомендовать их к широкому использованию при утилизации зернистой фракции илонакопителей. Эти аппараты имеют непревзойденные показатели работы на трудном для сепарации сырье.

Пневматический вибрационный сепаратор СВП-5,5x1 отечественного производства обеспечивает достаточно высокие технологические показатели на различном углесодержащем сырье. Пульсирующая подача воздуха под деку в зоны разделения способствует повышению эффективности сепарации.

Таким образом, вибрационное оборудование с бигармоническим режимом колебаний позволяет получать высокие технологические показатели и может применяться для широкого диапазона крупности и качества углесодержащего сырья с целью получения товарных продуктов.

## Литература

1. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Папушин Ю.Л., Корчевский А.Н. Угольные илонакопители как дополнительный источник энергетического топлива // Энергосбережение: Журн. – 2009. - №5. – С.24-25.
2. Благов И.С. Обогащение углей на концентрационных столах. Монография. – М.: Недра, 1967. – 136 с.
3. Исаев И.Н. Концентрационные столы. Монография. – М.: Госгортехиздат, 1962. - 100 с.
4. Deurbrouck, A.W., Palowitch, E.R. (1968). Wet Concentrating Tables. In Leonard J.W., Mitchell D.R. (Eds.) Coal Preparation 3<sup>rd</sup> Edn. Am. Inst. Min. Eng. 10-32 to 10-58.
5. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения. – М.: Недра, 1990. – 574 с.
6. Оборудование для обогащения угля: Спр. пособие / Под ред Б.Ф. Братченко. М.: Недра. – 1979. – 335 с.
7. Бесов Б.Д. Аппаратчик пневматического обогащения углей. Справочное пособие для рабочих.- М.: Недра, 1988. - 78 с.
8. Назимко Е.И., Букин С.Л. Корчевский А.Н., Шолда Р.А., Хворостяной К.В. Испытания концентрационного стола СКО-5Х2 в полевых условиях // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вып. 40 (81) – С. 91-96.
9. Є.Є. Гарковенко, О.М. Корчевський, О.І. Назимко. Модульна установка для переробки вуглевмісних матеріалів // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. - Вип. 36(77)-37(78). - С. 17-22.
10. Е.Е. Гарковенко, Е.Е. Грицунова, Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский. О необходимости повышения качества углей для энергетики // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2008 - вып. 34(75) - С. 57-63.
11. L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*

12. 6. O.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky et al. Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation // *Proceedings of XVI International Congress of Coal Preparation. USA. 2010. p. 581-586.*