

**А.К. СОКУР**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

### ОБЗОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ НЕФЛОТАЦИОННОЙ КРУПНОСТИ

Гравитационными процессами обогащения называются процессы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления.

Гравитационные методы занимают ведущее место среди других методов обогащения, особенно в практике переработки угля, золотосодержащих, вольфрамовых руд и руд черных металлов.

Высокая производительность гравитационных машин позволяет упрощать схему цепи аппаратов фабрик, более экономично использовать производственные площади и объемы зданий, в результате чего снижаются удельные капитальные затраты на строительство обогатительных фабрик, уменьшается число обслуживающего персонала, снижается себестоимость переработки.

Обогащение шлама является в настоящее время важной проблемой, решение которой позволит не только снизить потери топлива с отходами, но и улучшить технологию обогащения углей, увеличить выход ценных продуктов обогащения и снизить себестоимость концентрата.

Современные тенденции развития технологий и оборудования для обогащения углей как в отечественной, так и в зарубежной практике обусловлены следующими требованиями, предъявляемыми к отраслям топливно-энергетического комплекса: повышение конкурентоспособности угольной энергетики; повышение качества товарной продукции, в особенности – качества коксующихся углей; экологические требования: сведение к минимуму вредных выбросов в окружающую среду; повышение эффективности ресурсо- и энергосбережения; сокращение неоправданных потерь угля при обогащении; упрощение технологических схем обогатительных фабрик (ОФ) и уменьшение количества технологических операций; комплексная механизация и автоматизация обогатительных процессов; необходимость научного обоснования методов расчёта, прогнозирования и управления технологическими процессами.

К числу важнейших из упомянутых тенденций следует отнести развитие технологий обогащения шламов преимущественно гравитационными методами и соответственно сокращение объёма шламов, обогащаемых флотацией.

В последние годы предприняты попытки обогащения угольных шламов разными методами: на тяжелосредних циклонах, винтовых сепараторах, гидросайзерах, концентрационных столах и др.

### *Обогащение в тяжелосредных гидроциклонах*

Тяжелосредные гидроциклоны для обогащения угля применяются на углеобогатительных фабриках США, Великобритании, Франции, Голландии, Бельгии, Австралии, Канады, Индии, России и других стран. Гидроциклоны применяются при обогащении мелких и средних классов угля различной обогатимости (в основном трудной и очень трудной), используемого для коксования и энергетических целей; обогащении мелких и средних классов антрацита; переобогащении промпродукта отсадочных машин мелкого машинного класса; переобогащении дробленого промпродукта после отсадочных машин и тяжелосредных сепараторов крупного машинного класса; обогащении угля и антрацита по низким плотностям для получения малозольного концентрата; выделении малосернистого концентрата из мелких классов сернистых углей; обогащении угольного шлама как в отдельной операции, так и в комплексе с обогатительными гидроциклонами и концентрационными столами.

В тяжелосредных гидроциклонах можно обогащать уголь и антрацит в широком диапазоне крупности. Верхний предел крупности для крупногабаритных гидроциклонов (диаметром до 700 мм) может достигать 30, 40 и даже 50 мм, однако чаще всего он составляет 10, 30 и 40 мм. Нижний предел крупности традиционно принимается равным 0,6(0,5) мм.

В зависимости от обогатимости угля и требований потребителей к качеству продуктов, обогащение в тяжелосредных гидроциклонах может быть одностадийным (разделение на два продукта) и двухстадийным (разделение на три продукта). В последнем случае используются два последовательно установленных гидроциклона и суспензия двух плотностей [1].

Технологические схемы новых фабрик, введенных в последние годы в эксплуатацию в США, Канаде, России, Украине и в других странах, а также находящихся в стадии строительства и проектирования, используют в основном тяжелосредное оборудование (сепараторы и гидроциклоны), обеспечивающее наибольшее извлечение угольных фракций в продукты обогащения при незначительных колебаниях качества товарной продукции [2].

Тяжелосредные гидроциклоны применяются для обогащения углей с нижним пределом крупности 0,5 мм, в ряде случаев – 0,1 мм [3]. Значение погрешности разделения  $E_{pm}$  составляет 40-80 кг/м<sup>3</sup>. Для угля крупностью 0,1-0,5 мм погрешность составляет 130-170 кг/м<sup>3</sup>. Достоинства технологии обогащения углей в тяжелосредных гидроциклонах: относительно высокая точность разделения; эффективное обогащение углей трудной и очень трудной обогатимости; высокая точность регулирования плотности разделения. Недостатки: относительно высокие эксплуатационные затраты (главным образом на электроэнергию и магнетит); необходимость регенерации магнетитовой суспензии, что усложняет технологическую схему.

## Гравітаційна сепарація

Таблиця 1

Оборудование для гравитационного обогащения крупнозернистых шламов

Наименование оборудования	Область применения	Производительность	Плотность разделения, кг/м <sup>3</sup>	Ерм, кг/м <sup>3</sup>	Ведущие фирмы-производители
Отсадочные машины для обогащения шламов	Шламы коксующихся и энергетических углей лёгкой, средней и трудной обогатимости крупностью 0,15-3,0 мм	До 7 т/м <sup>2</sup> ·ч	1550-1920	80-150	АКА Industrieanlagen GmbH (Германия); Humboldt-Wedag (Германия), Allmineral (США)
Тяжёлосредние гидроциклоны	Шламы коксующихся углей трудной и очень трудной обогатимости крупностью 0,15(0,5)-3,0(6,0) мм	50-100 т/ч (диаметр 500-700 мм)	1400-1800	40-80	British Coal (Велико-британия), Krebs Engineers (США), Multotec (ЮАР-Австралия)
Циклоны без утяжелителя	Шламы крупностью 0,1-6,0 мм		1550-2000		
Винтовые сепараторы	Шламы: энергетических углей лёгкой и средней обогатимости; коксующихся углей лёгкой обогатимости крупностью 0,15-1,0 мм	До 5 т/ч на 1 спираль	1600-2000	100-150	Krebs Engineers (США), Multotec (ЮАР-Австралия), Warman International, Inc. (Австралия)
Концентрационные столы	Шламы коксующихся и энергетических углей лёгкой, средней и трудной обогатимости крупностью 0,15-6,0 мм	До 1 т/м <sup>2</sup> ·ч	1550-2000	100-150	Wilfley (Велико-британия), Deister Concentrator (США)
Гидросайзеры	Шламы коксующихся и энергетических углей лёгкой и средней обогатимости крупностью 0,25-3,0 мм	До 50 т/ч	1500-2000	50-150	AKW Apparate + Verfahren GmbH (Германия), Linatex (США-Великобритания)

### Обогащение на винтовых сепараторах

Закономерность применения винтовых сепараторов базируется на низких эксплуатационных затратах при достаточно высокой эффективности разделения исходного угля на фракции различных плотностей, особенно при выделении высокозольных тяжелых фракций. Можно утверждать, что это наименее затратное оборудование, применяемое в гравитационных процессах обогащения. В нем отсутствуют подвижные части, приемники электроэнергии, не используются реагенты и другие расходные материалы, а процесс разделения происходит при самотеке материала по криволинейной поверхности в результате действия гравитационной и центробежной сил.

Винтовой сепаратор (рис. 1) состоит из одного или нескольких спиральных лотков, поддерживаемых центральной колонной. При движении пульпы по спирали частицы разного размера и плотности под воздействием системы сил (тяжести, трения, центробежной и др.) начинают двигаться по разным траекториям. При этом частицы с меньшей плотностью (легкие) будут выноситься наружу к внешнему борту желоба, частицы с большей плотностью (тяжелые) концентрируются ближе к оси спирали (рис. 2).

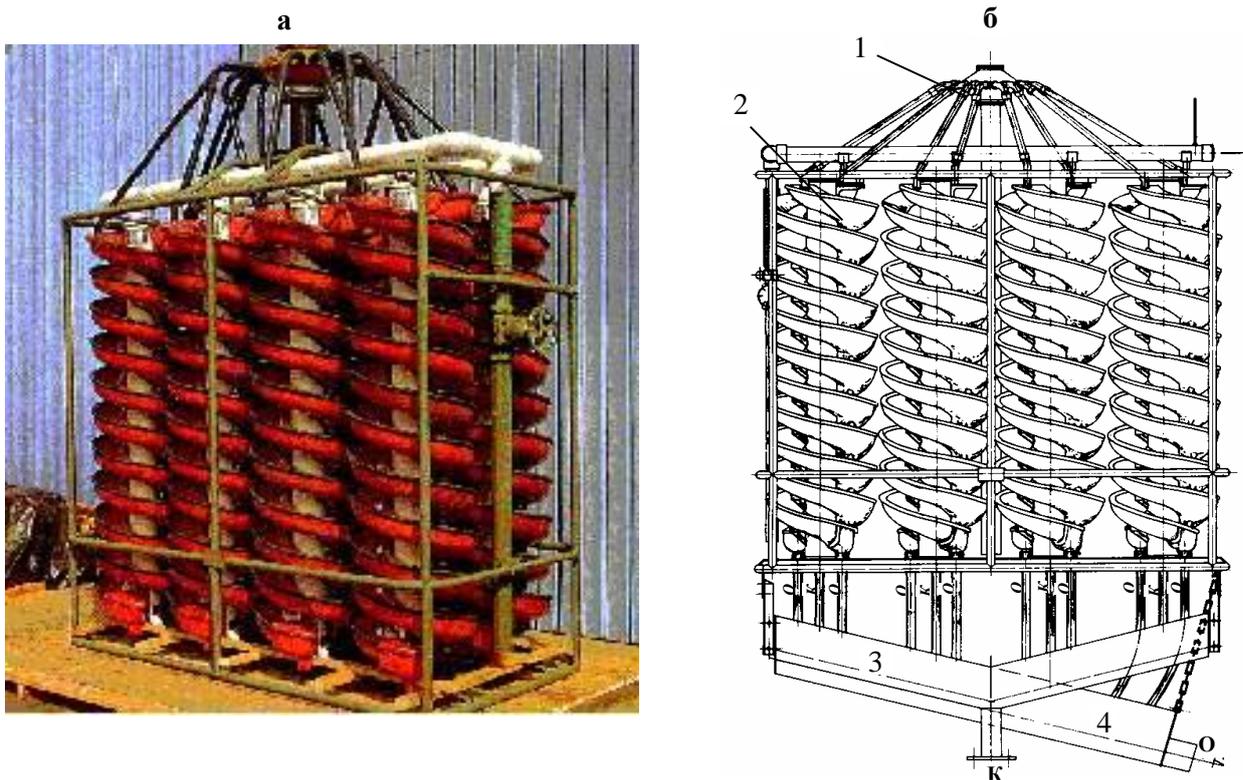


Рис. 1. Винтовой сепаратор:  
а – общий вид; б – схема устройства;  
1 – распределитель питания; 2 – винтовой желоб; 3 – желоб для разгрузки концентрата; 4 – желоб для разгрузки отходов;  
К – концентрат; О – отходы

## **Гравітаційна сепарація**

Нижний предел крупности питания винтовых сепараторов находится пределах 0,1-0,15 мм, что дает возможность существенно снизить нагрузку на дорогостоящий процесс флотации.

Следует также отметить, что питание МВС нуждается в обезиливании по классу крупности 0,1-0,15 мм. Илистые частицы даже в центробежном поле сил не способны преодолеть вязкость среды разделения, направляются на флотацию, а зернистый материал может обогащаться двумя машинными классами.

Простота и широкий диапазон регулировок винтовых сепараторов позволяет получить низкозольный зернистый материал для присадки в питание вакуум-фильтров с целью повышения проницаемости осадка при обезвоживании.

Низкие эксплуатационные затраты при довольно высокой эффективности работы делают винтовые сепараторы одним из основных видов оборудования при разработке техногенных месторождений, возникших в результате деятельности угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

К относительным недостаткам работы винтовых сепараторов относится выделение промпродукта в трехпродуктовом варианте исполнения. Падение спроса на промпродукт делает его выделение как товарного ненужным [4].

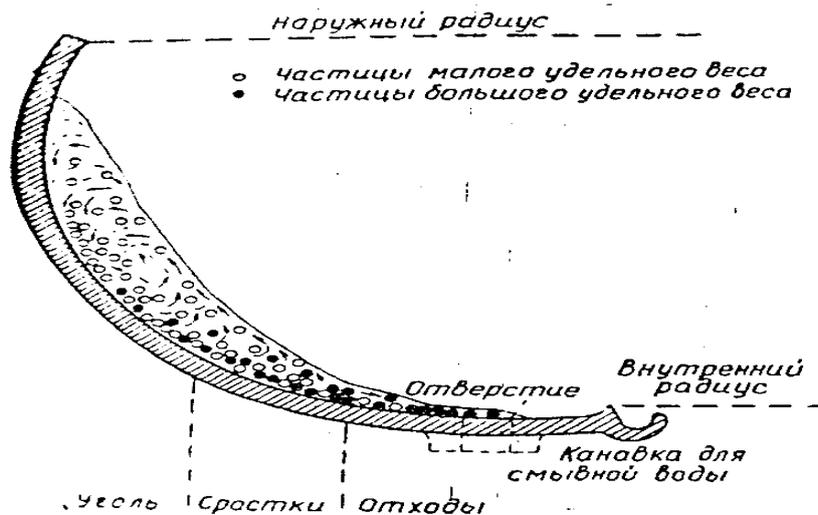


Рис. 2. Поперечное сечение жёлоба винтового сепаратора

### *Обогащение в гидросайзерах*

Более 20 лет гидросайзеры успешно используются за рубежом для извлечения угольной мелочи из отвалов пустой породы. В последние годы они стали применяться и для переработки углей, добытых открытым или подземным способом. Необходимость в обогащении угольной мелочи растет постоянно по мере расширения использования высокомеханизированных методов угледобычи, при этом увеличится выход до 20% фракций крупностью менее 0,5 мм. Применение гидросайзера является решением отмеченных выше проблем, поскольку последние обеспечивают высокоэффективное извлечение угольной фракции

крупністю до 3 мм. Метод сочетает относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты с простым, автоматическим режимом работы [5].

Гидросайзер (TBS) представляет собой сепаратор с принудительным осаждением, состоящий из цилиндрической камеры для стока воды с параллельными стенками. В установке используется восходящий поток воды, создающий взвешенный слой в емкости. Восходящий поток воды вводится под постоянным давлением и заданной скорости потока в камеру давления, откуда он равномерно распределяется в основание Гидросайзера (TBS) через распределительную пластину. Восходящий поток воды подается отдельным насосом из бака с постоянной подпиткой воды. Для достижения требуемого значения скорости восходящего потока при запуске установки предусмотрена система клапанов регулирования потока вместе с расходомерами.

Через верхнюю часть в гидросепаратор непрерывно загружается исходный уголь в виде пульпы, с содержанием 40-60% твердой фазы по массе (рис. 3). Оптимальное содержание твердой фракции – 600 г/л (50%) – достигается за счет обработки исходного материала в гидроциклоне. По мере попадания частиц в восходящий поток воды происходит их разделение. Твердая фаза в Гидросайзере (TBS) разделяется таким образом, что более крупные (или тяжелые) частицы концентрируются в нижней части сепаратора, а тонкодисперсные (легкие) частицы – в верхней части. Таким образом, взвешенный слой образуется на подложке из тяжелых фракций, которая поддерживает слой более легкой фракции – угля. Вновь поданные порции исходного материала вытесняют мелкую и легкую фракции угля через слив гидросепаратора в сливной желоб.

Преимущества Гидросайзера (TBS) перед винтовыми сепараторами:

- Гидросайзеры (TBS) более эффективны в работе, что позволяет получать концентрат с низкой зольностью, в тоже время получать отходы с высокой зольностью, то есть меньшие потери угля;
- в Гидросайзерах (TBS) можно изменять плотность разделения от 1,40 до 2,00;
- более низкие значения  $E_{pm}$  по сравнению с другими процессами разделения;
- продукты с более низким содержанием золы по сравнению со спиральными сепараторами;
- полностью автоматизированные и настраиваемые элементы управления позволяют оператору регулировать зольность концентрата / отходов;
- требует меньше внимания оператора, особенно хозяйственных работ;
- спиральные сепараторы плохо справляются с колебанием в режимах загрузки, тогда как Гидросайзер (TBS) отлично работает в пределах 0-100% номинальной производительности;
- у Гидросайзера (TBS) нет сложной распределительной системы подачи материала, которая подвержена закупориванию и требует постоянного внимания;
- срок службы Гидросайзера (TBS) в среднем 20 лет, тогда как спиральные сепараторы требуют замены уже через 3-5 лет;

## Гравітаційна сепарація

- техническое обслуживание Гидросайзера (TBS) может производиться с использованием стандартных технологий технического обслуживания, а для спиральных сепараторов требуется специалист по пластику и стеклопластику;
- Гидросайзер (TBS) – компактен и требует меньше площади на тонну обрабатываемого материала в отличие от спиральных установок;
- У Гидросайзера (TBS) меньше капитальные затраты и стоимость эксплуатации [6].

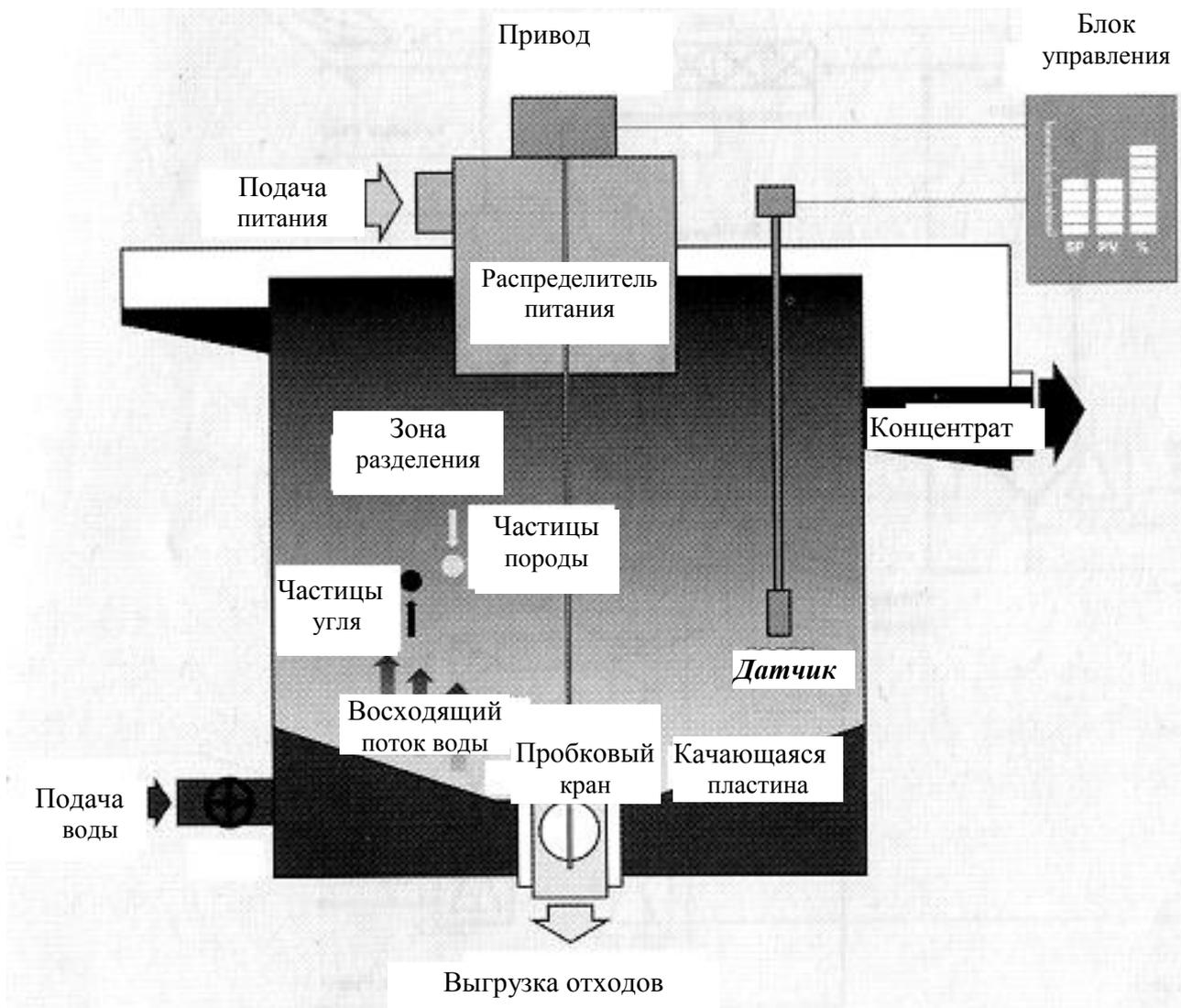


Рис. 3. Принципиальная схема Гидросайзера

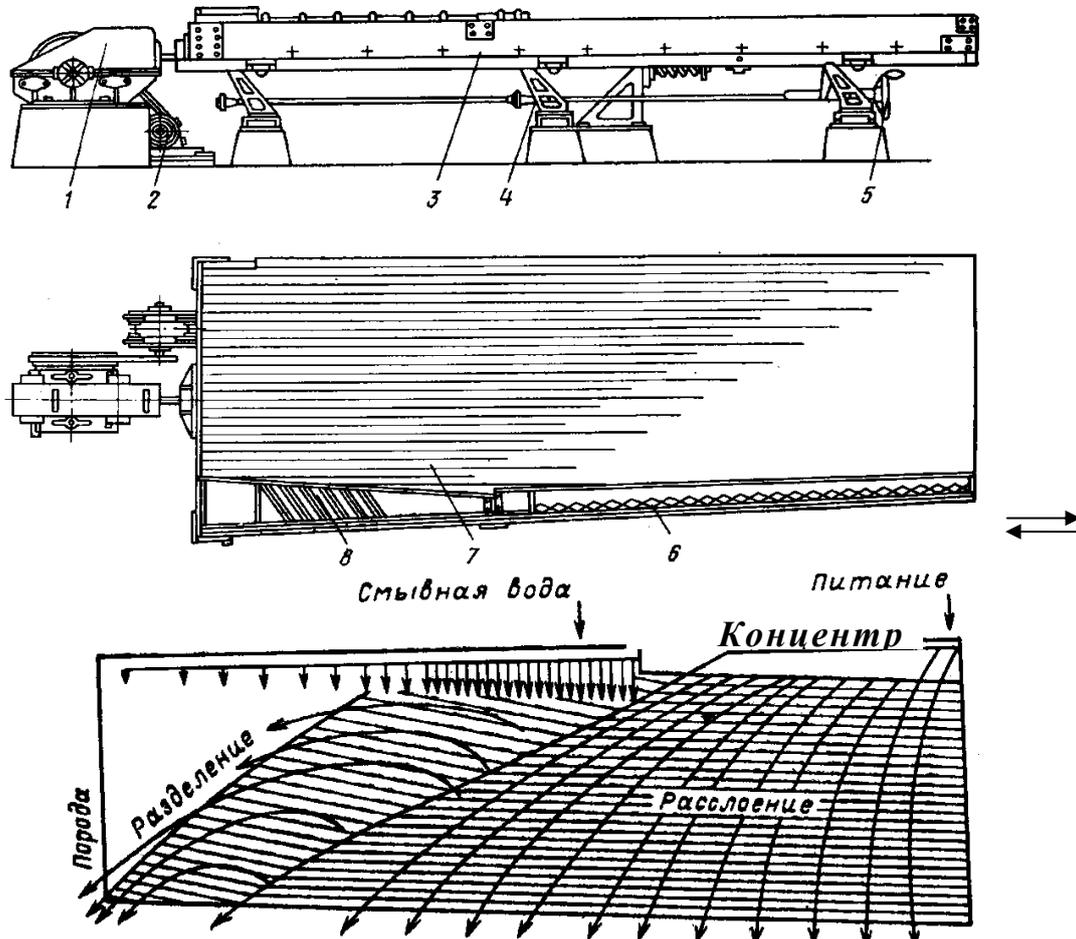
Гидросайзер (TBS) установлен на Украине: ОАО "Авдеевский Коксохимический Завод" (в 2001 году установлено два Гидросайзера (TBS) 3000); ГОФ "Самсоновская" (установлен Гидросайзер (TBS) 3000); ГОФ "Краснолучская" (установлен Гидросайзер (TBS) 2400).

Достоинства гидросайзеров: относительная простота устройства, возможность обогащения углей по низкой плотности разделения менее 1500 кг/м<sup>3</sup>, возможность автоматического регулирования плотности разделения, относительно высокая удельная производительность.

Недостатки: низкая эффективность обогащения углей трудной обогатимости, потребность в чистой оборотной воде для обеспечения процесса обогащения, узкий класс крупности частиц эффективно обогащаемых в одном аппарате. Погрешность  $E_{pm}$  работы гидросайзеров составляет 70-150 кг/м<sup>3</sup> при плотностях разделения 1350-2000 кг/м<sup>3</sup>.

### *Обогащение на концентрационных столах*

Они отлично зарекомендовали себя (с точки зрения технологии) при обогащении мелких классов углей и антрацитов. Несмотря на широкое их применение для этих целей за рубежом и значительный интерес к ним в Украине в 60-70-е годы прошлого века концентрационные столы в настоящее время в странах бывшего СССР практически не используются [7]. На рис. 4 представлена схема концентрационного стола.



Рису. 4. Схема концентрационного стола:

а — устройство; б — принцип работы;

1 — приводной механизм; 2 — двигатель; 3 — дека; 4 — роликоопоры;

5 — регулировочный винт; 6 — желоб для воды; 7 — рифли; 8 — загрузочный желоб

Концентрационные столы относятся к самому гибкому гравитационному оборудованию, которое может быть установлено на действующих ил новых углеобогатительных фабриках.

## Гравітаційна сепарація

В России концентрационные столы не применяют для обогащения углей, хотя в 50-60-е гг XX в. на ряде обогатительных фабрик Донбасса концентрационные столы использовались. Тем не менее, в зарубежной практике концентрационные столы используются в операции обогащения угольных шламов крупностью 0,2-3(6) мм с высоким содержанием серы для удаления пиритной формы серы. Погрешность  $E_{pm}$  работы концентрационных столов при обогащении коксующихся углей крупностью -3 мм при плотностях разделения 1550-2000 кг/м<sup>3</sup> составляет 100-150 кг/м<sup>3</sup>. Удельная производительность по концентрату – до 1 т/м<sup>2</sup>·ч.

При всех достоинствах концентрационные столы обладают следующими недостатками. Эти аппараты, во-первых, чувствительны к колебаниям гранулометрического и фракционного составов исходного продукта. Во-вторых, столы сложны в наладке, эксплуатации и ремонте.

Исследованиями Кирнарского А.С. [8-10] установлено, что обогащение по одному разделительному признаку – плотности разделения частиц – позволяет добиться максимальной эффективности гравитационного обогащения, прежде всего потому, что сводится к минимуму влияние крупности обогащаемого материала. Приводим технологические возможности типичного разделительного оборудования по величине средневероятного отклонения  $E_{pm}$  в кг/м<sup>3</sup> в зависимости от плотности разделения и крупности обогащаемого материала в табл. 2.

Таблица 2

Технологические возможности углеобогатительного оборудования

Крупность материала, мм	Средневероятное отклонение $E_{pm}$ [кг/м <sup>3</sup> ]								Технологическое оборудование
	32	34	37	40	43	46	50	60	
0,5-5				155	175	200	225	250	Тяжелосредние циклоны Гидроциклоны Концентрационные столы Винтовые сепараторы (до 2 мм)
				96	105	120	135	150	
						160	170	180	
0,1-0,5				160	170	180	190	200	Тяжелосредние циклоны Гидроциклоны Концентрационные столы Винтовые сепараторы (до 2 мм)
				180	200	213	246	260	
					180	193	206	220	
						180	190	220	

Таким образом, применяемое в настоящее время оборудование для обогащения угольного шлама не обеспечивает решение поставленной задачи в связи с небольшой производительностью (винтовые сепараторы, концентрационные столы) или недостаточной эффективностью разделения (обогатительные гидроциклоны, гидросайзеры). Их применение приводит в сложившихся условиях к сверхнормативным потерям горючей массы с отходами углеобогащения.

### Список литературы

1. Полулях А.Д., Полулях Д.А. Применение тяжелосредных гидроциклонов для обогащения угля // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 47(88). – С. 116-126.
2. Зарубин Л.С., Йофе М.Б. Технология глубокого обогащения и обессеривания угля в тяжелосредных гидроциклонах за рубежом. Обзор. – М.: ЦНИЭИуголь, 1980. – 29 с.
3. Обогащение углей: Справочник / Под ред. И.С. Благова. – М.: Недра, 1984.
4. Мамренко В.Г., Сокур А.К. Анализ результатов работы винтовых сепараторов на углеобогатительных фабриках Украины // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41(82)-42(83). – С. 140-148.
5. Корнеева В.Н. Практика обогащения антрацитовых штыбов // <http://www.anatems.com>
6. Гидросайзер: Рекламный проспект. – Лондон: Компания Mineral Engineering Processes Ltd, 2010. – 6 с.
7. Букин С.Л., Корчевский А.Н., Шолда Р.А. Комплекс обогащения угольных шламов на основе концентрационного стола // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 43(84). – С. 54-61.
8. Кирнарский А.С. Улучшение гравитационной технологии обогащения хромистых руд // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 93-100.
9. Кирнарский А.С., Лупей С.А. Улучшение сепарационных характеристик гравитационных аппаратов на основе принципа однофункциональности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45(86). – С. 71-78.
10. Кирнарский А.С. Принцип днoфункциональности разделительных процессов при обогащении каменного угля // Уголь. – 2012. – Май. – С. 41-49.

© Сокур А.К., 2012

*Надійшла до редколегії 17.09.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*