

Д.А. ПОЛУЛЯХ, канд. техн. наук,

А.В. ТАРНОВСКИЙ

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ КРУПНОСТИ МАШИННОГО КЛАССА, ОБОГАЩАЕМОГО ФЛОТАЦИЕЙ

Введение

Анализ работы углеобогажительных фабрик и результаты исследований эффективности обогащения углей показывают, что наибольшие технологические потери горючей массы с отходами происходят при обогащении и обработке шламовых продуктов. Так, отходы флотации на большинстве фабрик Украины имеют зольность в пределах 63,0-75,4%, что в среднем за 2012 год составило 69,2%.

Характерная особенность флотируемых шламов заключается в росте зольности составляющих их классов с уменьшением крупности. Зернистый материал имеет, как правило, невысокую зольность. Широкий диапазон крупности обогащаемых шламов (0-1 мм) и жесткие требования к качеству продуктов разделения не позволяют вести флотационный процесс в режиме, оптимальном для всех классов. Изучение гранулометрического состава питания и продуктов флотации углей различной марочной принадлежности свидетельствует, что потери горючей массы обусловлены в основном попаданием в отходы зернистого материала.

Изучение гранулометрического состава

В табл. 1 приведены гранулометрические составы отходов флотации ряда углеобогажительных фабрик Украины [1].

Из табл. 1 следует, что содержание класса +0,5 мм в отходах флотации колеблется от 0 до 13,4%. При этом, чем больше содержание класса +0,5 мм флотоотходах, тем ниже их зольность. Например, при отсутствии класса +0,5 мм (ЦОФ "Селидовская", "Ворошиловградская", "Советская", "Моспинская", Узловская", "Пролетарская") зольность флотоотходов превышает 70%, при содержании класса +0,5 мм до 5% зольность флотоотходов колеблется в интервале 65,1-77,3, а более 5% – 63,7-69,0% (ЦОФ "Колосниковская", "Никитовская" и т.д.). Если содержание класса меньше 0,04 мм составляет более 80% (ЦОФ "Кондратьевская", "Красноармейская", "Киевская", "Краснолиманская"), то зольность находится в интервале 68-77,3%.

Таким образом, потери горючей массы с флототходами (при нормальном реагентном режиме) напрямую связаны с наличием в питании флотации класса +0,5 мм и класса -0,04 мм. Устранение этих классов из загрузки флотомашин – важнейшая задача технологии обработки шламовых продуктов на углеобогажительных предприятиях.

Гранулометрические составы отходов флотации ряда углеобогачительных фабрик Украины

Обогащительная фабрика	Зольность, %	Выход (%) классов крупности (мм)					
		+0,5	0,25-0,5	0,16-0,25	0,08-0,16	0,04-0,08	-0,04
1	2	3	4	5	6	7	8
Кондратьевская	77,3	1,5	0,4	0,5	1,5	5,8	90,3
Колосниковская	66,2	9,0	4,1	3,7	5,9	8,2	69,1
Красноармейская	74,6	1,3	0,1	1,0	4,4	6,5	86,7
Селидовская	79,6	-	0,6	0,1	0,8	12,8	95,7
Никитовская	67,2	13,4	10,7	9,4	8,7	10,7	47,1
Криворожская	70,5	3,8	4,4	6,4	10,1	17,0	58,3
Комендантская	67,8	0,6	1,2	3,0	5,1	17,6	72,5
Белореченская	68,7	13,3	3,3	3,7	5,5	7,5	66,7
Михайловская	67,4	10,5	3,1	4,3	6,8	7,0	67,3
Суходольская	68,2	7,0	4,2	4,2	9,0	8,6	67,0
Стахановская	68,4	8,8	3,0	3,2	9,6	10,3	65,1
Ворошиловградская	79,9	-	-	0,4	1,4	2,2	96,0
Киевская	72,3	1,4	1,1	1,7	5,3	6,8	83,7
Добропольская	69,4	7,9	3,6	4,7	8,0	5,6	70,2
Дзержинская	70,0	3,0	3,5	6,1	13,9	11,4	62,1
Красная Звезда	68,1	11,9	3,7	3,1	7,2	8,4	65,7
Советская	71,3	-	-	0,9	2,8	6,1	90,2
Чумаковская	69,1	5,1	5,8	5,9	8,4	7,8	67,0
Комсомольская	68,3	8,0	5,3	4,5	7,9	4,4	69,9
Краснолиманская	71,8	0,4	0,5	0,9	4,6	8,1	85,5
Дуванская	65,1	1,8	4,3	6,9	12,3	11,3	63,4
Горловская	69,6	6,6	5,8	8,9	15,1	15,4	48,2
Моспинская	70,2	-	0,3	1,0	5,0	10,3	83,4
Узловская	79,5	-	1,4	3,8	5,6	9,9	79,3
Октябрьская	67,2	2,6	3,9	3,8	4,3	3,4	81,9
Пролетарская	70,6	-	2,6	2,4	4,3	8,3	82,4
Калининская	63,9	5,6	7,8	9,7	12,4	11,5	53,0
Кадиевская	64,3	6,17	10,05	9,43	6,17	68,18	
Брянковская	67,2	1,28	3,37	9,00	10,52	75,83	
Кальмиусская	66,5	2,84	5,05	3,18	4,50	84,43	

Контроль крупности по классу +0,5 мм

В практике углеобогащения раньше для удаления класса +0,5 мм повсеместно применялись шпальтовые сита со щелью 0,5 мм. Однако они обладали низкой эффективностью и перестали справляться с поставленной перед ними задачей при возросших нагрузках на флотацию. В последнее время шпальтовые сита практически не применяются, однако, проблема класса +0,5 мм в питании флотации осталась.

Сейчас наметилась тенденция решения этой задачи с помощью перечистки питания флотомашин (слив гидроциклонов большого диаметра) в гидроциклонах малого диаметра (порядка 350 мм и менее). В этом случае на флотацию поступает слив гидроциклонов малого диаметра, а их сгущенный продукт идет в присадку к мелкому концентрату или может обогащаться на винтовых сепараторах (ЦОФ "Моспинская"). Если же слив гидроциклонов малого диаметра имеет зольность флотоотходов, то он может направляться прямо в илонакопи-

тель (ЦОФ "Павлоградская").

Как показывает практика, даже наличие двухстадийной схемы обработки шламовых продуктов в гидроциклонах различного диаметра не гарантирует отсутствие в сливе гидроциклонов малого диаметра частиц +0,5 мм, особенно если угольные частицы имеют плотность близкую к плотности поступающей пульпы. Вот почему, еще на первой стадии сгущения шламовых продуктов в гидроциклонах большого диаметра целесообразно добиваться устранения из слива частиц +0,5 мм. Однако изменение гранулометрического и вещественного состава угольных шламов предопределило необходимость изменения концепции подготовки исходного питания флотации по крупности.

Например, для шламов углей Западного Донбасса характерно высокое содержание тонких классов (65-75%), представленных в основном глинистым материалом. Это становится следствием, прежде всего, высокой степени размокаемости вмещающих пород. Шламы крупностью более 0,5 мм представлены чистыми угольными компонентами зольностью 5-6%, содержание их достигает 15-20%. Долевое участие классов крупностью 0,08-0,5 мм невелико (10-15%), они являются механической смесью низкозольных угольных зерен и глинистых частиц общей зольностью 15-20% [2].

В основу обогащения шламов подобного гранулометрического состава можно положить механическое разделение их по крупности, т.к. материал +0,5 мм представлен концентратной фракцией, -0,08 мм – породной, и только промежуточный класс 0,08-0,05 мм (долевое участие его составляет 5-8% от исходного рядового угля) требует обогащения флотацией. Однако эффективно разделить шлам по указанной крупности на существующем оборудовании практически невозможно. Поэтому на ЦОФ "Павлоградская" была применена схема обогащения шламов методом флотации с предварительной их классификацией в гидроциклонах диаметром 630 мм. Использование гидроциклонов ГЦ-630 позволило выделить из рядового шлама и тем самым исключить из питания флотационных машин значительную часть зернистого материала крупностью более 0,2 мм, но при этом в слив гидроциклонов из-за низкой плотности угольного вещества (1050-1150 кг/м³) уносятся крупные угольные частицы (до 2-3 мм), которые затем теряются с отходами флотации. Общая зольность слива гидроциклонов ГЦ-630, являющегося питанием флотации, составила более 55%, а содержание тонких шламов в нем достигало 75-80%, что приводило к значительным трудностям в ведении процессов флотации и фильтрования.

Такие шламы, обладая высокой удельной поверхностью, адсорбируют большие количества флотореагентов (расход собирателя достигает 3,5 кг/т), вследствие чего в пенный продукт интенсивно выносятся высокозольный илистый материал и происходит оседание флотоконцентрата. Кроме того, образуемая в этих условиях пена имеет повышенную устойчивость, что создает дополнительные трудности при транспортировке и обработке пенного продукта. В то же время оставшейся части реагентов недостаточно для эффективной флотации крупных угольных частиц. Они теряются с отходами, снижая их зольность до 60%.

Исследования по извлечению классов крупности в отходы флотации (табл. 2) показывают содержание от 0 до 12,1% класса +0,5 мм с зольностью от 2,4 до 19,0% и от 0,8 до 16,8 % класса +0,25 мм с зольностью от 2,4 до 27,9% [3].

Извлечение классов крупности в отходы флотации

Ц О Ф	Продукт	Класс, мм											
		+0,5		0,25-0,5		0,16-0,25		0,08-0,16		-0,08		Итого	
		γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Комсомольская (1997)	Питание	20,0	5,3	13,9	8,5	6,5	15,2	12,5	28,5	47,1	43,4	100,0	30,1
	Отходы (γ = 33,9)	7,5	21,8	1,4	47,7	2,6	61,9	11,5	69,5	77,1	75,6	100,0	70,2
	Извлечение	0,127		0,034		0,136		0,312		0,555		0,339	
Добропольская (2003)	Питание	4,2	11,6	11,6	13,9	7,7	14,6	11,8	18,9	64,7	53,2	100,0	39,9
	Отходы (γ = 51,3)	2,1	12,1	3,6	14,6	3,2	16,3	5,1	21,8	86,0	71,6	100,0	64,0
	Извлечение	0,257		0,159		0,213		0,222		0,681		0,513	
Октябрьская (2002)	Питание	6,8	2,4	13,0	5,6	7,0	9,0	10,6	20,2	62,6	60,8	100,0	41,7
	Отходы (γ = 51,8)	2,5	5,9	6,5	10,7	3,2	23,1	5,2	54,3	82,6	77,6	100,0	67,9
	Извлечение	0,190		0,259		0,237		0,254		0,683		0,518	
Класнолиманская (1999)	Питание	12,1	19,0	16,2	27,9	9,1	26,9	11,9	30,4	50,7	33,0	100,0	29,6
	Отходы (γ = 34,5)	19,0	57,8	10,2	70,7	3,0	75,5	10,0	81,1	57,8	72,0	100,0	70,2
	Извлечение	0,542		0,217		0,114		0,290		0,393		0,345	
Селидовская (2002)	Питание	–	–	0,8	2,8	1,7	3,3	5,6	4,4	91,9	54,2	100,0	50,1
	Отходы (γ = 44,4)	–	–	1,3	2,8	1,9	4,1	6,1	10,6	90,7	81,3	100,0	69,3
	Извлечение	–		0,721		0,496		0,484		0,438		0,444	
Моспинская	Питание	10,2	12,2	6,2	4,8	9,0	3,9	13,0	6,7	61,6	28,3	100,0	27,5
	Отходы (γ = 27,0)	11,7	15,7	5,4	26,8	5,2	35,4	3,0	51,2	74,7	82,2	100,0	68,1
	Извлечение	0,311		0,235		0,156		0,062		0,327		0,270	
Чумаковская (2000)	Питание	1,0	6,3	8,5	2,4	15,5	2,9	24,0	6,7	51,0	35,5	100,0	20,4
	Отходы (γ = 17,4)	1,8	17,3	3,2	23,6	2,0	40,6	4,4	63,4	88,6	82,1	100,0	77,4
	Извлечение	0,313		0,065		0,022		0,032		0,302		0,174	
Узловская (1996)	Питание	3,6	10,6	7,0	8,5	9,5	7,7	24,6	10,4	55,3	26,1	100,0	18,7
	Отходы (γ = 19,8)	4,1	63,3	4,7	41,5	7,2	50,4	23,9	57,3	60,1	63,8	100,0	60,1
	Извлечение	0,225		0,133		0,150		0,192		0,215		0,198	
Самсоновская (2004)	Питание	11,6	8,3	14,4	9,0	2,4	10,6	15,5	11,1	56,1	32,7	100,0	22,6
	Отходы (γ = 19,9)	12,2	16,7	10,3	36,1	0,9	37,7	9,4	43,8	67,2	71,0	100,0	57,9
	Извлечение	0,209		0,142		0,074		0,121		0,238		0,199	
Дуванская (2004)	Питание	2,3	4,0	16,8	4,1	5,3	7,2	15,5	12,1	60,1	29,9	100,0	21,0
	Отходы (γ = 18,5)	1,6	19,1	1,1	48,1	1,6	62,0	5,8	72,5	89,9	73,7	100,0	72,3
	Извлечение	0,129		0,012		0,056		0,069		0,276		0,185	
Колосниковская (2004)	Питание	2,9	6,3	7,2	6,6	8,4	8,6	15,3	12,9	66,2	38,7	100,0	29,0
	Отходы (γ = 32,7)	1,3	15,8	3,9	17,6	4,0	24,0	8,2	42,6	82,6	78,0	100,0	69,8
	Извлечение	0,146		0,177		0,156		0,175		0,408		0,327	
Пролетарская (2004)	Питание	3,7	2,5	7,6	2,8	1,6	2,9	26,7	3,2	60,4	28,7	100,0	18,5
	Отходы (γ = 16,3)	4,8	4,3	4,2	6,2	0,8	12,1	14,3	41,7	75,9	80,2	100,0	67,1
	Извлечение	0,211		0,090		0,082		0,087		0,205		0,163	
Дзержинская (2004)	Питание	0,4	3,7	10,2	3,2	14,1	3,9	11,7	7,9	63,6	41,0	100,0	29,7
	Отходы (γ = 29,7)	0,2	4,3	4,0	5,5	5,7	5,9	6,6	26,5	83,5	91,5	100,0	70,4
	Извлечение	0,149		0,116		0,120		0,168		0,390		0,297	

Контроль крупности по классу +0,25 мм

Анализ извлечения классов крупности в отходы (рис. 1) показывает, что минимум извлечения находится в пределах граничной крупности разделения 0,25 мм. Увеличение извлечения в классах крупности более 0,25 мм связано с ростом приоритета сил тяжести над подъемной силой, так как крупные частицы в питании флотации имеют в основном низкую плотность. Увеличение извлечения в классах крупности менее 0,25 мм связано также с ростом приоритета сил тяжести над подъемной силой, однако в данном случае этот рост связан с резким повышением зольности частиц и уменьшением их крупности.

Низкое значение извлечения классов крупности около 0,25 мм объясняется приоритетом подъемной силы над силой тяжести.

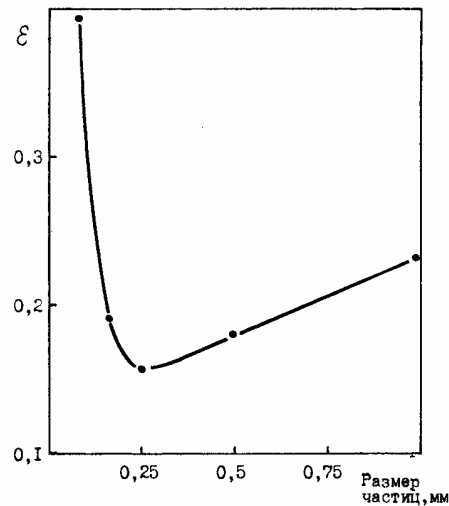


Рис. 1. Извлечение классов крупности в отходы флотации

Из рис. 1 следует, что верхний предел крупности питания флотации должен быть ограничен 0,3-0,35 мм.

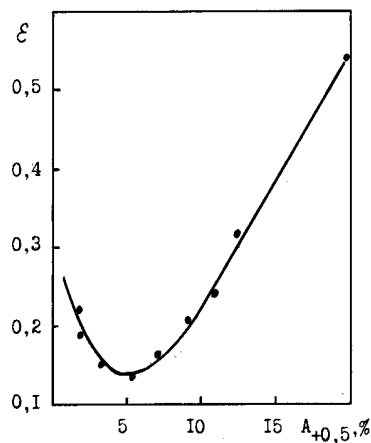


Рис. 2. Зависимость извлечения класса +0,5 мм в отходы флотации от их зольности

Флотация

Из анализа данных рис. 2 вытекает, что с увеличением зольности класса +0,5 мм более 5% резко возрастает извлечение этого класса в отходы. Аналогичная зависимость наблюдается и для зольности менее 5%. Если первая зависимость связана с увеличением силы тяжести при увеличении зольности частиц, то вторая, по-видимому с тем, что плотность этих частиц приближается к плотности воды и они распределяются по продуктам разделения пропорционально ее объемам.

Контроль крупности по классу -0,045 мм

Гранулометрический состав шламов техногенных месторождений Украины [4], приведен на рис. 3.

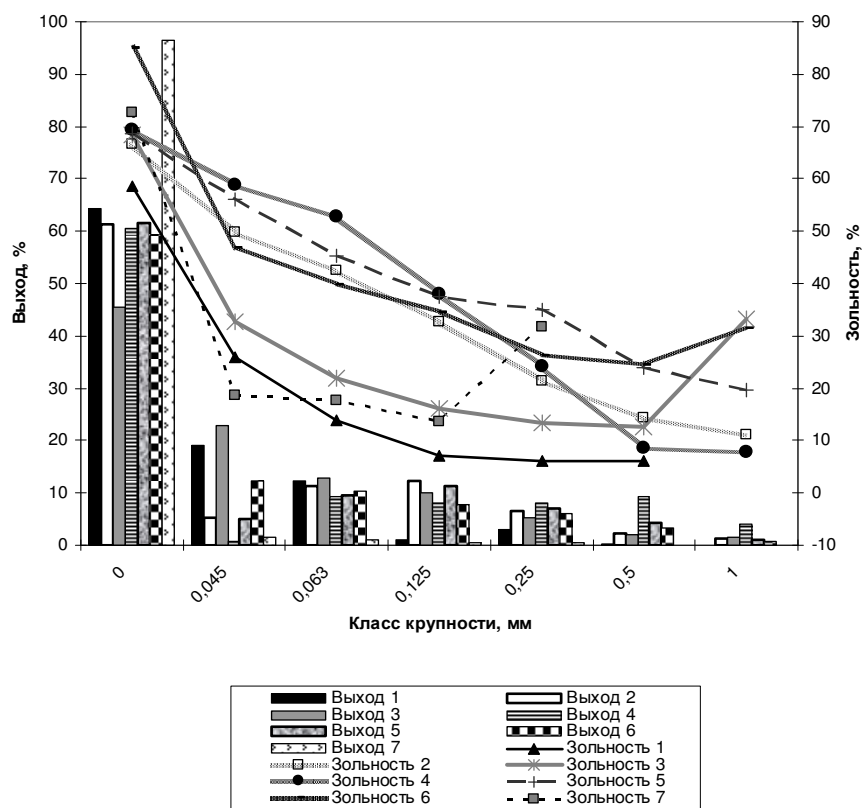


Рис. 3. Гранулометрический состав угольных шламов исследованных техногенных месторождений:

- 1 – илонакопитель ЦОФ "Комендантская" ($A^d = 44,1\%$); 2 – илонакопитель ГОФ "Луганская" ($A^d = 54,1\%$); 3 – илонакопитель ЦОФ "Свердловская" ($A^d = 41,5\%$); 4 – илонакопитель ЦОФ "Селидовская" ($A^d = 53,6\%$); 5 – илонакопитель ЦОФ "Дзержинская" ($A^d = 57,4\%$); 6 – илонакопитель ОФ "Пионер" ($A^d = 65,7\%$); 7 – илонакопитель ЦОФ "Червоноградская" ($A^d = 70,9\%$)

Из рис. 3 следует, что класс крупности -0,45 мм имеет высокую зольность 45-95%, следовательно он представлен породными частицами.

Обесшламливание (обезиливание) по данному классу крупности является актуальной задачей, решение которой не только повышает эффективность обогащения тонких классов, но и может заменить его.

Выводы

Приведенные данные свидетельствуют о возможности применения флотации для обогащения тонкозернистых угольных шламов различного происхождения и получение энергетического концентрата, и необходимости ограничения верхней и нижней границ машинного класса, направляемого во флотомашину.

Таким образом, контроль крупности питания флотации – актуальная задача, решение которой позволит снизить потери горючей массы с отходами флотации.

Контроль крупности должен осуществляться как по верхней границе машинного класса, так и по нижней, на что указывают данные исследований флотации.

Список литературы

1. Полулях А.Д., Мельничук В.Д., Резниченко Г.Л. Влияние гранулометрического состава угольных шламов на способы их обработки // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 1999. – Вип. 6(47). – С. 22-24.
2. Васько И.П. Флотация павлоградских углей // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 7(48). – С. 111-115.
3. Бевзенко Б.Ф. О необходимости ситовой классификации питания флотации на углеобогадательных фабриках // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 68.
4. Федосеева С.О. Исследование флотуемости угольных шламов техногенных месторождений Украины // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41(82). – С. 204-210.

© Полулях Д.А., Тарновский А.В., 2014

*Надійшла до редколегії 27.10.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*