

А.Д. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук
(Україна, Днепропетровск, ГП "Укрниіуглеобогашенне")

ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕГКОРАЗМОКАЕМОЙ ПОРОДЫ

Выполненные в различные периоды исследования сырьевой базы ЦОФ "Павлоградская" показали, что низкая степень метаморфизма угля и вещественный состав вмещающих боковых пород, представленных аргиллитами средней устойчивости, в сочетании с обводненностью шахтных полей обуславливают микропористость угольной и гидрофильность горной массы, а также повышенную размокаемость породы, содержащейся в рядовом угле. Уголь, поступающий на ЦОФ "Павлоградская" имеет легкую категорию обогатимости, характеризуется значительным содержанием влаги (14-17,6%) и глинистых материалов, что обуславливает его размокаемость. Выход классов менее 50 мкм и менее 45 мкм для газовых углей Западного Донбасса составляет соответственно 27,5-70,8 и 26,6-63%.

По этим причинам поступающий на обогащение уголь представляет собой массу, склонную к комкованию. В процессе транспортирования на фабрику, накопления в бункерах и при предварительном грохочении образуются конгломераты из вязкой глины с вкраплениями частиц угля и твердой породы размером до 200 мм и более. Они могут сохраняться после прохождения тяжелосредних сепараторов. Доля конгломератов, диаметр которых превышает граничную крупность разделения (10-13 мм), иногда достигает 20% от надрешетного продукта.

Подобные свойства павлоградских углей определяют особенности их обогащения по следующим технологическим процессам: подготовка машинных классов, обогащение крупного машинного класса в тяжелосредних сепараторах, обогащение мелкого машинного класса в отсадочных машинах, флотация тонкозернистых шламов, обработка крупнозернистых шламов и сушка мелкого концентрата.

Для подготовки машинных классов на фабрике используются последовательно установленные гидрогрохот ГГН-2,7 и инерционный грохот ГИСЛ-72.

Визуальные наблюдения и анализ результатов опробования питания и продуктов узла подготовительного грохочения показали, что разрушение конгломератов осуществляется только на гидрогрохоте, а на ГИСЛ-72, наоборот, происходит их упрочнение. Исследования показали (рис. 1), что при увеличении содержания конгломератов в надрешетном продукте от 0 до 18% эффективность грохочения снижается на 30-35%.

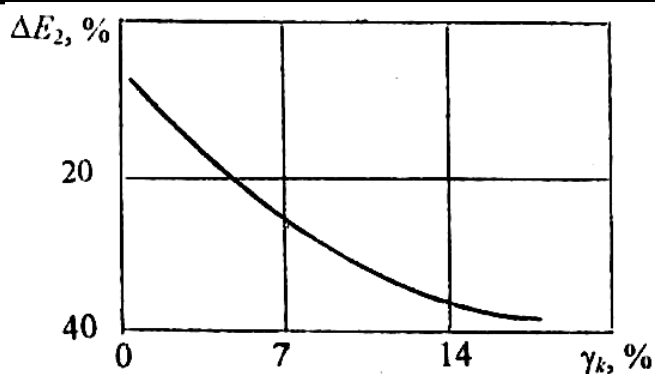


Рис. 1. Зависимость снижения эффективности грохочения (ΔE_2) от содержания конгломератов в надрешетном продукте (γ_k)

В целях снижения содержания конгломератов в надрешетном продукте проведены специальные исследования, в которых на материал, подвергающийся грохочению, оказывалось интенсифицирующее воздействие путем увеличения гидродинамического напора воды и времени гидроподготовки. В период исследований производительность цепочки оборудования составляла 450 т/ч, удельная нагрузка на гидрогрохот $110 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$, размер щели колосниковой решетки 10 мм.

Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

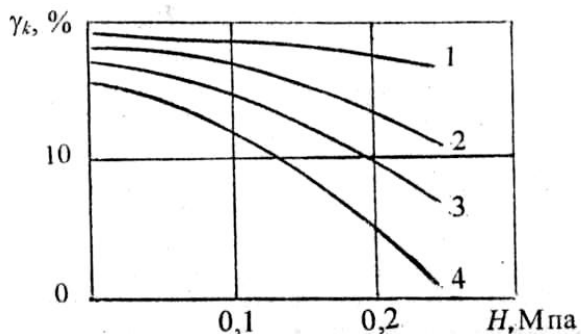


Рис. 2. Зависимость содержания конгломератов в надрешетном продукте (γ_k) от давления воды (ϵ): 1, 2, 3, 4 – соответственно, 0,6; 0,8; 1,0 и $1,5 \text{ м}^3/\text{т}$

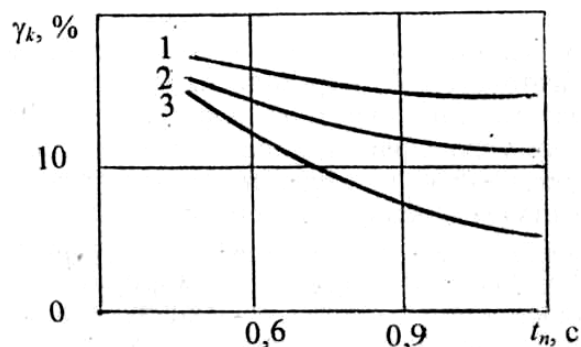


Рис. 3. Зависимость содержания конгломератов в надрешетном продукте (γ_k) от времени гидроподготовки (t_n): 1, 2, 3 – соответственно, 0,6; 0,8; $1,0 \text{ м}^3/\text{т}$

Из анализа зависимостей, приведенных на рис. 2, следует, что с повышением давления воды содержание конгломератов уменьшается, причем тем интенсивнее, чем больше удельный расход воды. Это объясняется разрушающим действием на конгломерат струи воды, кинетическая энергия которой пропорциональна гидродинамическому напору.

Увеличение времени гидроподготовки (рис. 3) при прочих равных условиях (удельный расход и давление воды, подаваемой на сопла, соответственно

Загальні питання технології збагачення

0,5 м³/т и 0,1 МПа), также приводит к снижению содержания конгломератов, но не столь интенсивному. С увеличением удельного расхода воды, подаваемой на гидроподготовку, эта зависимость становится более очевидной. Уменьшение содержания конгломератов в этом случае связано с их разрушением в результате размокания, наличия ударов о местные сопротивления, турбулентности потока. Разрушение тем существенней, чем более длительное время пребывания конгломерата на участке гидроподготовки.

Таким образом, при разработке конструкции гидрогрохота для подготовительного грохочения газовых углей с высоким содержанием легко-размокаемой породы необходимо удлинять его загрузочную часть за счет увеличения длины участка гидроподготовки, а также увеличивать напор воды, подаваемой на сопла, без увеличения ее удельного расхода.

Для обогащения крупного машинного класса на ЦОФ "Павлоградская" применяются тяжелосредние сепараторы СКВ-32.

Специфичность газовых углей с большим содержанием легкоразмокаемой породы предопределяет существенную зависимость эффективности тяжелосреднего обогащения от физико-механических свойств суспензии. Засорение магнетитовой суспензии илистым материалом приводит к ее структурообразованию и ухудшению разделения в ней крупного машинного класса.

В этих условиях на ЦОФ "Павлоградская" применялся в качестве реагента-пептизатора углещелочной реагент (УЩР), который получают из бурого угля с высоким содержанием битума после извлечения из него горного воска и обработки каустической содой.

Влияние расхода УЩР изучалось на лабораторной установке (магнетитовая суспензия без шлама) и тяжелосреднем сепараторе (зашламленная магнетитовая суспензия). Результаты исследований приведены в табл. 1, из которой следует, что углещелочной реагент снижает вязкость магнетитовой суспензии до 30%, а при наличии в ней шлама – до 50%.

Таблица 1

Результаты испытаний УЩР

Расход УЩР, кг/м ³	Магнетитовая суспензия, полученная на			
	лабораторной установке		тяжелосреднем сепараторе	
	Относительная вязкость, Па·с	% снижения относительной вязкости	Относительная вязкость, Па·с	% снижения относительной вязкости
0	0,00176	0	0,00563	0
2	0,00158	10	0,00462	18
4	0,00148	16	0,00411	27
6	0,00139	21	0,00372	34
8	0,00134	24	0,00342	39
10	0,00130	26	0,00310	45
12	0,00127	28	0,00286	49

Наибольшее снижение вязкости наблюдается при расходе УЩР до 6 кг/м³, после этого значения снижение вязкости уменьшается. На рис. 4 показана ди-

Загальні питання технології збагачення

наміка роста вязкости магнетитовой суспензии, из которой следует, что применение УЩР позволяет значительно уменьшить вязкость в течение суток.

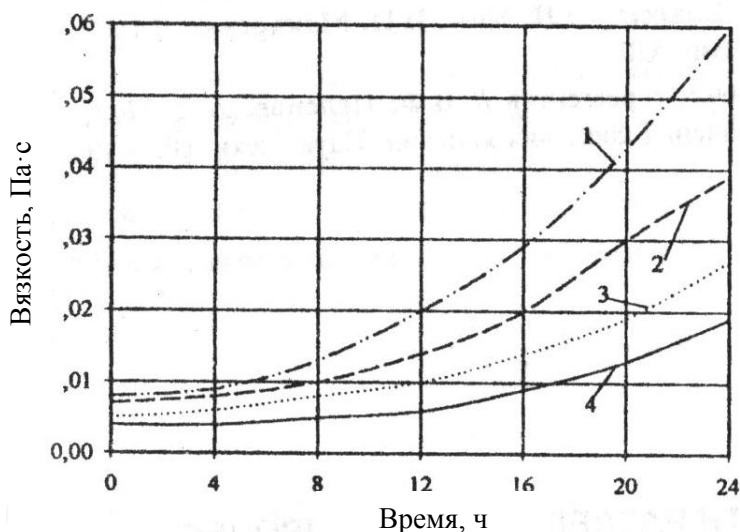


Рис. 4. Динамика роста вязкости магнетитовой суспензии на ЦОФ "Павлоградская":
1 – расход УЩР 0 г/л; 2 – то же 4 г/л; 3 – то же 8 г/л; 4 – то же 12 г/л

Так, без УЩР вязкость магнетитовой суспензии увеличивается в 11,4 раза (с 0,00563 до 0,064 Па·с), а с УЩР (расход 12 кг/м³) – всего в 6,8 раза (с 0,0025 до 0,017 Па·с). При этом если в начале суток отношение вязкостей без УЩР и с УЩР составляло 2,24, то после 24 часов работы фабрики – 3,76, т.е. с течением времени действие УЩР на магнетитовую суспензию оказывается более существенным. Это подтверждается зависимостями, приведенными на рис. 5, из которых следует, что за сутки зольность отходов тяжелосреднего обогащения без применения УЩР снижается с 87 до 73%, т.е. на 14%, а с применением УЩР – с 89 до 83%, т.е. на 5%.

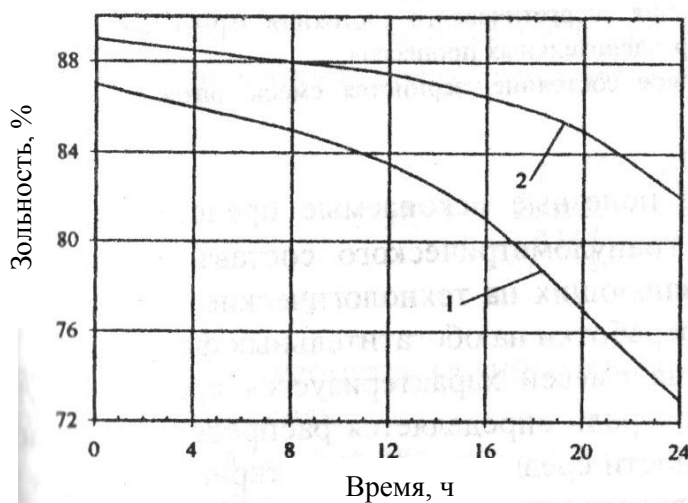


Рис. 5. Динамика снижения зольности отходов тяжелосреднего обогащения на ЦОФ "Павлоградская":
1 – расход УЩР 0 г/л; 2 – то же 3 г/л

Загальні питання технології збагачення

Особенность обогащения мелкого машинного класса газовых углей с большим содержанием легкоразмокаемой породы в гидравлических отсадочных машинах ОМ-24 обусловлена высокими (до 2 м³/т) расходами воды на мокрое подготовительное грохочение и предопределяет необходимость его эффективного (не менее 70%) обесшламливания перед отсадочными машинами и наличия багер-зумпфов для мелкого концентрата после их.

Для шламов углей Западного Донбасса характерно высокое содержание тонких классов (65-75%), представленных в основном глинистым материалом из-за сильной размокаемости вмещающих пород. Шламы крупностью более 0,5 мм чистые угольные компоненты зольностью 5-6%, содержание их достигает 15-20%. Долевое участие средних классов (0,08-0,5 мм) невелико (10-15%), они являются механической смесью низкозольных угольных зерен и глинистых частиц общей зольностью 15-20%.

В основу обогащения шламов подобного гранулометрического состава могло быть положено механическое разделение их по крупности, так как материал класса более 0,5 мм представлен концентратной фракцией, менее 0,08 мм – породной, и только промежуточный класс 0,08-0,5 мм (долевое участие его 5-8% исходного рядового угля) требует обогащения флотацией. Однако эффективно разделить шлам по указанной граничной крупности на существующем оборудовании невозможно, поэтому на ЦОФ "Павлоградская" была применена схема обогащения флотацией с предварительной классификацией шламов в гидроциклонах диаметром 630 мм.

Гидроциклон ГЦ-630 позволил выделить из рядового шлама и исключить из питания флотационных машин значительную часть зернистого материала крупностью более 0,2 мм, но при этом в слив из-за низкой плотности вещества (1050-1150 кг/м³) уносятся частицы (до 2-3 мм), которые затем теряются с отходами. Общая зольность слива гидроциклонов, являющегося питанием флотации, превышает 55%, а содержание тонких шламов в нем достигает 75-80%, что вызывает значительные трудности в ведении процессов флотации и фильтрования.

Такие шламы, обладая большой удельной поверхностью, адсорбируют много флотореагентов (расход собирателя до 3,5-5 кг/т), вследствие чего в пенный продукт интенсивно выносятся высокозольный илистый материал и происходит озоление концентрата. Кроме того, образуемая в этих условиях пена имеет повышенную устойчивость, что создает дополнительные трудности при транспортировке и обработке продукта. Оставшейся же части реагентов недостаточно для эффективной флотации крупных угольных частиц, вследствие чего они теряются с отходами, снижая их зольность до 58-60%.

Неоднократные испытания по отработке режимов флотации, обеспечивающих стабильную зольность отходов в пределах 65-75%, не принесли желаемых результатов, поскольку требовались повышенные расходы реагентов, что вызывало, с одной стороны, увеличение зольности флотоконцентрата с 22-25% до 30-35%, а с другой – запенивание водно-шламовой схемы и нарушение работы фабрики в целом. Для устранения этого недостатка осуществлен переход на

Загальні питання технології збагачення

двухстадиальную схему обработки шламовых вод флотацией в гидроциклонах диаметром 630 мм (I стадия) и 350 мм (II стадия). При этом слив ГЦ-630 являлся питанием ГЦ-350, а сгущенный продукт последних направлялся на флотацию.

Исследования двухстадиальной схемы обработки шламовых вод перед флотацией и анализ полученных данных подтвердил правильность принятого решения (табл. 2). Зольность слива ГЦ-350 была более 65%, а сгущенного продукта – 38-45% при сравнительно невысоком содержании в последнем тонких классов (45%). Гранулометрический состав продуктов свидетельствует об удовлетворительной флотации практически по всему диапазону крупности. Зольность флотоконцентрата (без перечистки) не превышала 16%, а отходов была не ниже 72%. При работе по двухстадиальной схеме количество флотируемого материала сокращается в 4 раза, содержание твердого в питании поддерживается на уровне 90-100 г/л.

Таблица 2

Результаты работы флотации

Класс, мм	ГЦ-630				ГЦ-350				ФМУ-2-63				Отходы			
	Исходный		Сгущенный		Слив		Сгущенный		Слив		Концентрат				Отходы	
	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %
+1	8,3	3,5	27,2	3,8	2,3	3,3	11,7	3,3	-	-	17,2	2,5	0,5	9,2	-	-
0,5-1,0	7,4	4,5	23,4	4,7	2,0	4,4	9,4	4,5	0,2	4,2	14,6	3,5	1,5	19,2	0,4	11,4
0,25-0,5	6,1	7,2	10,7	8,3	4,8	6,9	24,3	7,2	1,0	5,7	38,4	5,7	3,3	33,7	1,3	12,7
0,16-0,25	4,7	20,1	3,1	22,4	5,5	19,6	4,5	23,2	3,8	18,7	4,6	12,4	4,3	40,8	3,8	21,2
0,08-0,16	7,2	32,4	3,7	35,3	8,5	32,0	6,2	34,2	9,1	31,6	4,2	23,8	4,8	57,6	8,7	33,0
0,04-0,08	4,3	59,4	2,3	60,2	5,4	58,8	4,9	62,4	9,9	57,8	3,2	31,3	8,7	70,7	9,8	58,9
-0,04	62,2	73,8	29,6	73,7	71,5	74,2	40,0	73,0	76,0	74,6	17,8	48,9	76,9	79,2	76,0	75,1
Итого	100	52,7	100	28,2	100	60,5	100	38,0	100	66,1	100	14,6	100	73,0	100	66,7
Выход продукта к рядовому углю, %	20		5		15		3,3		11,7		2,0		1,3		13	
Содержание твердого, г/л	150		640		125		350		100		290		45		65	

Примечание: γ – выход по отношению к продукту, %.

Таким образом, подтверждена возможность флотации павлоградских углей с приемлемыми технологическими показателями. Однако незначительный выход флотоконцентрата и высокая зольность отгружаемого на электростанции мелкого концентрата ($A^d = 25-30\%$) в отдельных случаях не подтверждает экономическую целесообразность флотации шламов.

Ухудшение показателей работы флотоотделений ОФ Донецкой и Луганской областей, имеющих в шихте угли Западного Донбасса, вызвано в первую очередь непригодностью технологических схем этих фабрик к флотации таких углей. Уже при содержании в сырьевой базе более 10-15% этих углей наблюдается снижение качественных показателей флотации.

Исследование гранулометрического состава шламовых продуктов ЦОФ "Павлоградская" выявило в различных точках водно-шламовых класс крупностью 0,2-2 мм с кондиционной зольностью, не требующего дополни-

Загальні питання технології збагачення

тельного обогащения. Применение на операциях классификации шламов по указанной граничной крупности разделения грохотов, выпускаемых промышленностью Украины, не нашло распространения из-за большой засоренности надрешетного продукта мелкими классами (низкая эффективность разделения), а также из-за быстрого залипания просеивающей поверхности. Отсутствие аппаратов для классификации по такой крупности с эффективностью разделения не менее 80% приводит к излишним циркуляциям или к повторному вовлечению в процесс обогащения этих классов.

Высокая эффективность разделения в сравнении с аппаратами, применяемыми на аналогичных операциях углеобогатительными фабриками – дуговые сита (до 60%), вибрационными грохотами (до 70%) , гидроциклонами (до 50%) – при эквивалентной нагрузке по исходному материалу позволит: сократить циркуляцию и шламообразование, повысить качество основных технологических процессов обогащения; снизить нагрузки на фильтровальное отделение; выделить из питания флотации крупные кондиционные частицы; уменьшить выпуск твердой части флотоотходов в илонакопители, увеличив срок их службы.

Для этой цели в ГП "Укрнииуглеобогащение" разработан классификатор ленточный КЛ-10, который оснащен зонами классификации (безвакуумная), противоточной промывки и обезвоживания (дробленое вакуумирование).

Исходный материал в виде пульпы поступает в загрузочное устройство и распределяется по всей ширине перемещаемой приводным барабаном над подситной камерой просеивающей поверхности, выполненной из синтетической сетки с ячейками размером 0,2-2 мм. Под действием гидродинамических и гравитационных сил, а также водяных струй брызгал, расположенных над и под просеивающей поверхностью, происходит выделение основной массы твердых частиц, размером меньше ячейки, в подситный продукт. Надситный продукт транспортируется просеивающей поверхностью над зонами обезвоживания и просушки, выполненных в виде вакуумных секций, установленных под просеивающей поверхностью поперечно ее движению и соединенных через коллектор с источником разрежения. Обезвоженный надситный продукт эвакуируется с просеивающей поверхности в зоне разгрузочного ролика, полное удаление обеспечивается периодическим встряхиванием участка после разгрузочного ролика, для чего установлено устройство над внутренней поверхностью. Подситный продукт поступает в подситную камеру и эвакуируется далее по трубам самотеком. Просеивающая поверхность, пройдя зону регенерации, вновь поступает очищенной в зону загрузки. Коррекция осевого положения осуществляется механизмом центрирования перед зоной загрузки.

Высокая эффективность разделения (не менее 90%) шлама по крупности 0,2-2 мм на классификаторе КЛ-10 достигается в результате извлечения в нижний (подситный) продукт до 95-98% частиц меньше заданной граничной крупности. Это реализуется за счет следующих факторов: не происходит залипание ячеек просеивающей поверхности, так как продукт подается на постоянно чистую движущуюся просеивающую поверхность, не образуется на поверхности толстый слой, препятствующий прохождению частиц меньше размера ячеек,

Загальні питання технології збагачення

так как нет относительного перемещения продукта: имеется возможность создания тонкого слоя на просеивающей поверхности путем изменения скорости ее движения.

Классификация необогащенного шлама (сгущенный продукт гидрокласификатора), подаваемого в виде угольной пульпы с содержанием твердой фазы 210-250 кг/м³, производилась по граничной крупности разделения 0,2 и 2 мм, а обогащенного (сгущенный продукт радиального сгустителя) – по 0,2 мм (табл. 3). В качестве просеивающей поверхности использовались сетки из синтетических моноплетей с ячейками 0,25×0,5 и 1,8×2 мм, при этом граничная крупность разделения определялась по меньшей стороне ячейки: для ширины 0,25 мм она равна 0,2 мм, для 1,8 мм достигает 1,95-2 мм.

Таблица 3

Результаты работы КЛ-10

Исходный продукт на классификацию (усредненные показатели)	Граничная крупность разделения, мм	Производительность, т/ч		Исходный продукт		Надситный		Подситный		Эффективность разделения, %
		по исходному продукту	по надситному продукту	Содержание твердого, кг/м ³	Зольность, %	Влажность, %	Зольность, %	Содержание твердого, кг/м ³	Зольность, %	
Необогащенный шлам – сгущенный гидрокласификатора	0,2	45,4	12,6	226	60,1	20,6	36,3	137	66,4	98,2
Обогащенный шлам – сгущенный радиального сгустителя	0,2	43,2	12,0	204	48,5	21,3	15,8	101	61,6	98,1
Необогащенный шлам – сгущенный гидрокласификатора	2,0	70,0	14,9	288	64,1	21,4	34,4	135	75,1	99,5

Установлено, что при классификации по граничной крупности 0,2 мм как необогащенного, так и обогащенного шлама с содержанием в нем до 80% класса менее 0,2 мм усредненная нагрузка составила 45 т/ч, производительность по надситному продукту – 12 т/ч, влажность надситного продукта – 21%, извлечение класса крупностью менее 0,2 мм в подситный продукт – 95%, эффективность разделения по нижнему классу – 98%.

При классификации по граничной крупности 2 мм необогащенного шлама с содержанием в нем до 80% класса менее 0,2 мм усредненная нагрузка составила 70 т/ч, производительность по надситному продукту – 15 т/ч, влажность надситного продукта – 21%, извлечение класса крупностью менее 2 мм в подситный продукт – 98%, эффективность разделения по нижнему классу – 99%.

Большое (12-14%) содержание внутренней влаги в павлоградских углях предопределяет также особенности сушки мелкого концентрата, и в первую очередь, с учетом техники безопасности, т.е. возгорания материала в сушильных барабанах.

Известно, что влажность, при которой полностью прекращается испарение, называется равновесной и при этом давление пара над поверхностью угля ста-

Загальні питання технології збагачення

новитися равным давлением пара в окружающей среде. Ниже этой влажности уголь высушить нельзя. Величина равновесной влажности зависит от температуры и влагосодержания сушильного агента. При 100% насыщении воздуха влажность соответствует гигроскопической, т.е. равновесная влажность характеризует способность топлива удерживать влагу, его гигроскопичностью.

Поступающие на ЦОФ "Павлоградская" угли являются малометаморфизованными, имеют открытую пористую структуру с беспорядочной ориентировкой слоев. При увлажнении углей в результате пылеподавления в шахте и особенно при мокрому обогащению, изменяются расстояния между слоями угольного вещества, уплотняется его структура, т.к. между молекулами малометаморфизованного угля и молекулами воды взаимодействие происходит в основном за счет сил водородной связи. Энергия этой связи почти на порядок выше энергии вандерваальсового взаимодействия между слоями молекул углей высокой (А, ПА, Т) и средней (К, Ж) стадий метаморфизма. Таким образом, как влагосодержащие, объекты сушки угля ЦОФ "Павлоградская" являются более трудносушимыми из-за большей энергии связи влаги в сравнении с коксовыми углями и антрацитами.

В табл. 4 приведены результаты определения максимальной гигроскопической влажности углей, поступающих на ЦОФ "Павлоградская".

Таблица 4

Результаты определения максимальной гигроскопической влажности углей,
поступающих на ЦОФ "Павлоградская"

Наименование шахт	Зольность, %	Влажность, %	Максимальная гигроскопическая влажность			Нижний предел влажности сушенки, исходя из требований безопасности, %
			прямые определения w^r , %	по кинетическим кривым	средняя w^r , %	
"Сташкова"	47,7	9,9	8,0	7,3	7,65	12,65
"Героев Космоса"	46,2	13,5	5,9	6,1	6,0	11,0
"Першотравнева"	50,1	8,4	5,5	5,2	5,35	10,35
"Самарская"	47,7	10,4	7,4	7,5	7,45	12,45
"Павлоградская"	52,5	10,5	9,5	8,8	9,15	14,15
"Степная"	34,7	6,1	4,3	4,0	4,15	9,15
"Днепроvская"	43,7	9,2	5,5	5,4	5,45	10,45
"Терновская"	40,1	13,6	5,2	6,5	5,85	10,85
"Западно-Донбасская"	42,1	7,4	4,3	4,7	4,5	9,5
"Благодатная"	49,1	15,5	8,1	7,6	7,85	12,85
"Юбилейная"	33,6	9,0	7,3	7,0	7,15	12,15
Средняя	44,3	10,3	6,45	6,37	6,41	11,4

Как видно из полученных результатов, оба метода определения гигроскопической влажности дали близкие результаты.

Для установления глубины сушки безусловным требованием обеспечения

Загальні питання технології збагачення

безопасности является превышение на 5% гигроскопической влажности, т.е. для большинства шахт-поставщиков глубина сушки допустима не ниже 12%. Для углей шахт "Благодатная", "Павлоградская" и "Сташкова" глубина сушки должна быть не ниже 14%. Из-за недопустимости полной дезагрегации сушенки, обусловленной нижним пределом взрывчатости пыли 39-44 г/м³, отсутствием информации о долевом участии углей шахт в обогащаемой шихте нижний предел влажности сушенки следует принять 14% по условиям наибольшей гигроскопичности углей отдельных шахт.

Выводы. Специфические физико-механические свойства газовых углей с большим содержанием легкоразмокаемой породы определяют особенности их обогащения, начиная процессами подготовки машинных классов и их обогащения и заканчивая сушкой мелкого концентрата.

© Полулях А.Д., 2012

*Надійшла до редколегії 05.09.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*