

А.Д. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук,

(Україна, Дніпропетровськ, Придніпровська лабораторія "Укрніиуглеобогачення"),

Д.А. ПОЛУЛЯХ, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ШЛАМООБРАЗОВАНИЕ УГЛЯ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

В условиях работы углеобогащительных фабрик на давальческом сырье существенно возрастает роль правильности расчета ожидаемых качественно-количественных показателей продуктов обогащения рядовых углей. На данном этапе взаиморасчетов между добывающими и обогащительными предприятиями одним из спорных является вопрос учета или не учета шламообразования угля.

Теорией и практикой гравитационного обогащения углей установлено, что с уменьшением крупности машинных классов эффективность их разделения по плотности снижается. Следовательно, переход частиц крупного машинного класса в более мелкий приводит к увеличению потерь горючей массы с отходами углеобогащения.

В связи с изложенным, определение качественно-количественных параметров изменения выхода машинных классов с учетом их шламообразования является важнейшей задачей переработки рядовых углей, решение которой позволяет минимизировать разницу в плановых и фактических показателях продуктов обогащения. При определении шламообразования на углеобогащительных фабриках в качестве критерия служит количество вновь образовавшегося класса крупностью 0-1 мм. На фабриках, имеющих флотацию, помимо класса 0-1 мм, рассматривают образование дополнительного количества класса 0-0,5 мм, влияющего на нагрузку флотофильтровального отделения.

Шламообразование является следствием дробления, измельчения и истирания крупных классов угля в процессе его транспортирования, перегрузки, обогащения, обезвоживания и размокания в воде глинистой части породы.

Количество шлама, поступающего на фабрику с рядовым углем, при установленной технологии добычи и подготовки на поверхностных комплексах шахт примерно постоянно. Дальнейшее дополнительное шламообразование в процессе обогащения зависит как от физико-механических свойств угля, так и от применяемых технологических схем и их аппаратного наполнения. В силу указанных выше причин происходит накопление шлама в системе, увеличиваются объемы его циркуляции с оборотной водой, уменьшается выход крупных и мелких машинных классов угля, что приводит к изменению качественно-количественных показателей товарных продуктов гравитационных процессов обогащения.

Анализ исследований и публикаций

Известно, что эффективность процесса обогащения уменьшается со снижением крупности машинных классов. Так, E_{pm} для обогащения угля крупностью 13-100 мм в тяжелосредних сепараторах составляет 60 кг/м³, а при обога-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

щени угля крупністю 0,5-1 мм в винтових сепараторах – 200-300 кг/м³ [1, 2]. Это свидетельствует, что потери горючей массы при обогащении угля крупностью 0,5-1 мм в пять раз больше, чем при обогащении угля 13-100 мм. Приведенная закономерность существенно оказывает влияние на выход товарной продукции. Однако, например, в Украине, в СОУ 10.1.00185755.002-2004 "Угольные продукты обогащения. Методика расчета показателей качества" [3] шламообразование не учитывается, что приводит к завышению плановых качественно-количественных показателей товарной продукции, которые получить углеобогащательные фабрики фактически не могут.

Изложение материала и результаты исследований

Рассмотрим условную обогащательную фабрику, обогащающую рядовые угли методами тяжелосредней сепарации и гидравлической отсадки. Для упрощения расчета примем, что обогащательные процессы работают с выделением двух продуктов: концентрата и отходов. При этом плотность разделения равна 1800 кг/м³ как при обогащении крупного машинного класса (+13 мм), так и при обогащении мелкого машинного класса (1-13 мм). Расчет продуктов обогащения на этих процессах осуществляется в соответствии с СОУ [3]. Улавливание шламовых продуктов производится по методике изложенной в [5], в соответствии с которой шламовый продукт подвергается двухстадиальной обработке в гидроциклонах ГЦ-1000 и ГЦ-710 до содержания твердого в сгущенных продуктах 200-300 г/л, обеспечивающим его обезвоживание на ленточных вакуум-фильтрах или инерционных грохотах.

Расчет продуктов обогащения осуществлялся без и с учетом шламообразования, при этом коэффициент шламообразования для технологической схемы условной углеобогащательной фабрики принят равным 10%. Расчет гранулометрического и фракционного составов рядового угля с учетом коэффициента шламообразования осуществлялся в соответствии с [4].

Гранулометрический и фракционный состав рядовых углей ряда шахт (шахты взяты произвольно, качество их рядового угля принято по имеющимся у авторов данных) приведен в табл. 1.

В табл. 2 приведены балансы продуктов обогащения при обогащении рядовых углей рассматриваемых шахт на условной обогащательной фабрике, а в табл. 3 – результаты расчета погрешности планирования. При расчете погрешности зольность концентрата, полученная при работе фабрики с учетом шламообразования, приведена к зольности концентрата, при ее работе без учета шламообразования.

Из табл. 3 следует, что погрешность планирования качественно-количественных показателей (т.е. завышение выхода товарной продукции) составляет от 1 до 9% при среднем значении для 29 приведенных шахт 2,8%. Величина погрешности зависит от гранулометрического и фракционного состава рядовых углей. При наличии на фабрике обогащения шламовых продуктов, погрешность планирования будет уменьшаться. Кроме того, коэффициент шламообразования на реальных углеобогащательных фабриках может быть и меньше, и больше принятого значения.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 1

Наименование шахт	Фракционный состав рядового угля							
	Крупный машинный класс						Итого	
	-1,5 т/м ³		1,5-1,8 т/м ³		+1,8 т/м ³		γ, %	A ^d , %
	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %
Родинская	16,7	6,4	0,9	36,0	13,6	81,7	31,2	40,1
Краснолиманская	19,2	4,0	1,9	18,1	14,0	84,6	35,1	36,9
им. Дзержинского	9,1	4,2	0,7	34,4	15,4	86,9	25,2	55,6
Северная	2,4	6,3	0,3	22,5	21,1	88,5	23,8	79,4
Торезская	5,1	6,4	1,2	30,7	19,1	87,4	25,4	68,4
№ 4 ВМ	10,57	8,3	3,66	40	43,8	78,6	58,03	63,4
№ 6 ВМ	10,07	15,9	6,15	31,9	33,56	74,6	49,88	58,0
№ 7 ВМ	7,27	15,8	5,39	33,9	35,53	77,3	48,19	63,2
№ 8 ВМ	9,38	13,7	3,9	20,9	32,68	76,3	45,96	61,4
Кировская	20,4	3,6	1,3	32,9	20,5	79,8	42,2	41,6
им. Скочинского	4,7	3,1	0,1	41,2	9,0	90,9	13,8	60,6
им. Засядько	13,5	9,3	0,7	33,7	12,2	82,8	26,4	43,9
Поченкова	13,6	4,4	1,8	23,5	20,7	84,3	36,1	51,2
Чайкино	14,0	3,5	0,4	25,1	19,5	83,8	33,9	49,9
им. Бажанова	15,6	5,2	0,8	23,7	23,4	82,7	39,8	51,1
им. Ворошилова	6,2	7,3	0,9	38,7	18,0	84,7	25,1	63,9
им. Артема	8,6	4,9	0,7	35,8	9,1	82,9	18,4	44,5
Торезкая	3,3	6,4	0,8	37,9	17,3	85,0	21,4	71,1
Новодзержинская	7,6	4,4	0,3	29,8	15,7	82,8	23,6	56,8
Новая	6,3	7,4	1,7	34,0	16,8	76,9	24,8	56,3
Комсомольская	7,9	6,5	1,8	31,7	15,8	82,3	25,4	55,2
им. Ленина	8,4	6,2	2,8	29,6	13,3	81,5	24,5	49,8
Изотова	5,0	6,8	0,8	34,0	17,6	83,5	23,4	65,4
Кочегарка	10,7	5,7	1,5	29,3	14,8	82,7	27,0	49,2
им. Гагарина	3,2	6,1	0,7	30,9	8,4	81,4	12,3	59,2
Молодогвардейская	12,4	5,8	2,3	32,4	16,8	82,1	31,5	48,4
Ореховская	10,3	6,7	1,8	31,1	18,4	84,3	30,5	55,0
Баракова	15,4	4,1	2,9	37,3	13,3	79,4	31,6	38,8
Петровская	15,5	11,1	3,3	34,2	15,8	78,8	34,6	44,2

Продолжение табл. 1

Наименование шахт	Мелкий машинный класс								Класс 0-1 мм		Всего	
	-1,5 т/м ³		1,5-1,8 т/м ³		+1,8 т/м ³		Итого		γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %
	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %	γ, %	A ^d , %
Родинская	26,4	6,4	3,9	37,4	20,5	80,3	50,8	38,6	18,0	35,2	100,0	38,4
Краснолиманская	32,1	6,3	2,4	22,4	15,8	83,8	50,3	31,4	14,6	25,7	100,0	32,5
им. Дзержинского	29,1	4,6	2,5	34,6	14,9	80,3	46,5	30,5	28,3	22,9	100,0	34,7
Северная	34,2	3,9	1,9	27,8	11,5	82,8	47,6	23,9	28,6	17,0	100,0	35,1
Торезская	35,0	4,8	2,1	35,4	11,9	84,3	49,0	25,4	25,6	22,6	100,0	35,6
№ 4 ВМ	13,83	9,6	3,04	36,0	17,89	78,2	34,76	47,2	7,21	40,2	100,0	56,1
№ 6 ВМ	19,7	15,1	6,58	34,3	19,64	74,9	45,99	43,1	4,13	36,8	100,0	50,3
№ 7 ВМ	17,53	13,4	5,67	32,7	17,92	76,6	41,12	43,6	10,69	34,9	100,0	52,1
№ 8 ВМ	22,09	10,5	3,82	36,6	17,69	72,9	43,6	38,1	10,44	40,1	100,0	49,0
Кировская	30,4	3,4	2,0	33,7	11,0	81,6	43,4	24,6	14,4	17,1	100,0	30,7
им. Скочинского	29,5	2,0	0,7	35,6	22,5	88,0	52,7	39,1	33,5	18,2	100,0	35,1
им. Засядько	31,5	3,7	1,2	34,4	14,2	88,6	46,9	30,2	26,7	26,2	100,0	32,7
Поченкова	35,6	3,3	1,0	27,6	11,5	83,6	48,1	23,0	15,8	13,3	100,0	31,8
Чайкино	29,4	2,5	0,7	24,7	7,6	80,9	37,7	18,7	28,4	9,2	100,0	26,6
им. Бажанова	23,4	2,7	0,8	25,1	6,0	81,3	30,2	18,9	30,0	11,8	100,0	29,6
им. Ворошилова	34,4	4,9	2,7	33,6	14,4	77,8	51,5	26,8	23,4	19,3	100,0	34,3
им. Артема	31,6	4,0	3,1	32,4	10,1	78,0	44,8	22,6	36,8	18,2	100,0	25,0
Торезкая	34,9	4,7	4,3	38,1	17,0	79,1	56,2	29,8	22,4	19,6	100,0	36,0
Новодзержинская	37,5	3,3	2,1	29,9	5,7	80,0	45,3	14,2	31,1	20,1	100,0	26,1
Новая	37,0	5,1	3,6	36,5	12,9	77,4	53,5	24,6	21,7	24,8	100,0	33,1
Комсомольская	30,6	4,4	2,8	28,4	15,8	81,7	49,2	30,6	25,4	15,7	100,0	33,1
им. Ленина	36,2	4,4	4,0	30,5	15,0	78,6	55,2	26,5	20,3	20,0	100,0	31,4
Изотова	31,7	4,3	3,3	31,3	11,5	77,3	46,5	24,3	30,1	22,2	100,0	33,3
Кочегарка	30,1	4,4	3,2	29,0	12,4	81,0	45,7	26,9	27,3	21,3	100,0	31,4
им. Гагарина	50,5	4,5	4,4	29,5	15,7	76,1	70,6	22,0	17,1	15,7	100,0	25,5
Молодогвардейская	25,7	5,2	4,2	31,6	11,8	78,7	41,7	28,7	26,8	39,2	100,0	37,7
Ореховская	24,3	5,0	3,8	29,6	18,3	81,2	46,4	37,1	23,1	36,1	100,0	42,3
Баракова	36,8	4,3	3,3	35,2	12,4	78,5	52,5	23,8	15,9	22,8	100,0	28,4
Петровская	33,9	10,4	5,6	36,6	15,6	77,6	55,1	32,1	10,3	37,4	100,0	36,8

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 2

Ожидаемые балансы продуктов обогащения при обогащении рядовых углей
рассматриваемых шахт на условной обогатительной фабрике

Наименование шахт	Без шламообразования						С шламообразованием					
	Концентрат		Отходы		Итого		Концентрат		Отходы		Итого	
	γ'_k	$A_{k'}^{d'}$	$\gamma'_{omx.}$	$A_{omx.}'$	$\gamma'_{p.y.}$	$A_{p.y.}'$	γ'_k	$A_{k'}^{d'}$	$\gamma'_{omx.}$	$A_{omx.}'$	$\gamma'_{p.y.}$	$A_{p.y.}'$
Родинская	55,0	12,3	45,0	70,3	100,0	38,4	56,4	16,0	43,6	67,4	100,0	38,4
Краснолиманская	63,2	9,7	36,8	71,7	100,0	32,5	62,1	11,3	37,9	67,2	100,0	32,5
им. Дзержинского	56,0	11,4	44,0	64,4	100,0	34,7	63,2	20,8	36,8	58,6	100,0	34,7
Северная	62,9	19,7	37,1	61,3	100,0	35,1	62,0	20,6	38,0	58,7	100,0	35,1
Торезская	56,4	11,3	43,6	67,0	100,0	35,6	56,0	13,2	44,0	64,2	100,0	35,6
№ 4 ВМ	32,4	19,2	67,6	73,8	100,0	56,1	34,6	23,7	65,4	73,2	100,0	56,1
№ 6 ВМ	42,9	22,7	57,1	71,0	100,0	50,3	44,0	25,4	56,0	69,9	100,0	50,3
№ 7 ВМ	45,4	29,5	54,6	70,9	100,0	52,1	40,9	25,7	59,1	70,4	100,0	52,1
№ 8 ВМ	40,9	18,7	59,1	70,0	100,0	49,0	42,1	21,7	57,9	68,9	100,0	49,0
Кировская	61,4	7,7	38,6	67,4	100,0	30,7	60,7	9,4	39,3	63,7	100,0	30,7
им. Скочинского	52,1	8,0	47,9	64,6	100,0	35,1	52,2	10,4	47,8	62,1	100,0	35,1
им. Засядько	60,8	11,2	39,2	66,0	100,0	32,7	60,0	12,7	40,0	62,8	100,0	32,7
Поченкова	59,9	6,8	40,1	69,1	100,0	31,8	59,3	8,8	40,7	65,3	100,0	31,8
Чайкино	59,4	5,3	40,6	57,7	100,0	26,6	58,7	6,9	41,3	54,5	100,0	26,6
им. Бажанова	56,1	6,8	43,9	58,7	100,0	29,6	55,8	8,6	44,2	56,1	100,0	29,6
им. Ворошилова	56,1	10,7	43,9	64,4	100,0	34,3	55,9	12,5	44,1	61,9	100,0	34,3
им. Артема	63,6	10,4	36,4	50,6	100,0	25,0	62,5	11,3	37,5	47,8	100,0	25,0
Торецкая	54,5	8,9	45,5	70,0	100,0	36,0	54,3	13,5	45,7	62,7	100,0	36,0
Новодзержинская	64,2	9,1	35,8	56,6	100,0	26,1	63,1	10,2	36,9	53,3	100,0	26,1
Новая	59,7	12,3	40,3	63,9	100,0	33,1	59,1	14,1	40,9	60,6	100,0	33,1
Комсомольская	55,8	10,1	44,2	62,1	100,0	33,1	55,4	11,9	44,6	59,4	100,0	33,1
им. Ленина	61,9	10,9	38,1	64,7	100,0	31,4	61,0	12,7	39,0	60,6	100,0	31,4
Изотова	56,3	11,7	43,7	61,1	100,0	33,3	56,0	13,3	44,0	58,8	100,0	33,3
Кочегарка	59,8	11,1	40,2	61,6	100,0	31,4	59,2	12,9	40,8	58,7	100,0	31,4
им. Гагарина	67,9	8,9	32,1	60,6	100,0	25,5	66,4	10,0	33,6	56,1	100,0	25,5
Молодогвардейская	58,4	16,6	41,6	67,3	100,0	37,7	57,8	18,0	42,2	64,7	100,0	37,7
Ореховская	51,5	15,5	48,5	70,8	100,0	42,3	51,5	17,6	48,5	68,5	100,0	42,3
Баракова	66,9	10,3	33,1	65,0	100,0	28,4	65,6	11,6	34,4	60,4	100,0	28,4
Петровская	63,6	17,3	36,4	70,9	100,0	36,8	62,5	18,5	37,5	67,3	100,0	36,8

Таким образом, с целью установления более реальных данных при расчете ожидаемых качественно-количественных показателей обогащения рядовых углей на обогатительной фабрике, необходимо учитывать шламообразование.

В практике углеобогащения определено ориентировочное количество дополнительно образованного шлама по маркам угля (табл. 4 [2]) и технологическим процессам (табл. 5 [2]).

Меньшие величины принимаются для всех антрацитов и углей марок Д, ДГ и Г с зольностью до 20%, средние – для углей марок Д, ДГ и Г с зольностью более 20%, большие – для всех остальных марок углей.

Однако данные, изложенные в табл. 4 и 5, отображают лишь средние значения шламообразования, не привязаны к конкретным технологическим схемам и предназначены, в основном, для ориентировочных расчетов в случаях, когда отсутствуют фактические показатели шламообразования.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 3

Результаты расчета погрешности планирования				
Наименование шахт	Коэффициент приведения выхода концентрата на изменение его зольности на 1%	Выход концентрата, %		Погрешность планирования (завышение выхода), %
		без учета шламообразования	с учетом шламообразования и приведенным к зольности концентрата без шламообразования	
Родинская	1,11	55,0	52,3	2,7
Краснолиманская	1,13	63,2	60,3	2,9
им. Дзержинского	1,72	56,0	47,0	9,0
Северная	1,67	62,9	60,5	2,4
Торезская	1,13	56,4	53,9	2,5
№ 4 ВМ	0,71	32,4	31,4	1,0
№ 6 ВМ	1,01	42,9	41,3	1,6
№ 7 ВМ	0,92	45,4	44,4	1,0
№ 8 ВМ	0,91	40,9	39,4	1,5
Кировская	1,14	61,4	58,8	2,6
им. Скочинского	1,03	52,1	49,7	2,4
им. Засядько	1,23	60,8	58,2	2,6
Поченкова	1,07	59,9	57,2	2,7
Чайкино	1,26	59,4	56,7	2,7
им. Бажанова	1,20	56,1	53,6	2,5
им. Ворошилова	1,15	56,1	53,8	2,3
им. Артема	1,76	63,6	60,9	2,7
Торецкая	1,13	54,5	49,1	5,4
Новодзержинская	1,50	64,2	61,5	2,7
Новая	1,30	59,7	56,8	2,9
Комсомольская	1,19	55,8	53,3	2,5
им. Ленина	1,30	61,9	58,7	3,2
Изотова	1,26	56,3	54,0	2,3
Кочегарка	1,33	59,8	56,8	3,0
им. Гагарина	1,47	67,9	64,8	3,1
Молодогвардейская	1,27	58,4	56,0	2,4
Ореховская	1,03	51,5	49,3	2,2
Баракова	1,37	66,9	63,8	3,1
Петровская	1,32	63,6	60,9	2,7
Среднее				2,8

Таблиця 4

Количество дополнительного шлама крупностью 0-0,5 мм от угля различных марок		
Марка угля	Глубина обогащения, мм	Количество дополнительного шлама в % от исходного угля
Д, ДГ	0	10
Д	13	8
Г	0	до 10
Г	13/6	до 5
Г	25	до 3
Т, ТС, ОС	0	до 14
Т, ТС, ОС	13	до 12
А	13/6	до 3
А	0	до 5
К/К ₁₀ , 1К и 2К	13	до 14
ОС и их шихты	0	9–17*

* – меньшие значения шламообразования должны приниматься для углей большой степени метаморфизма.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 5

Количество дополнительного шлама крупностью 0-0,5 мм по процессам

Источник шлагообразования	Количество дополнительного кл. 0-0,5 мм в % от поступающего на операцию продукта
Аккумуляция в бункерах (пирамидальных и силосных), в т.ч.: высотой емкостной части до 10 м высотой емкостной части до 20 м высотой емкостной части до 30 м	3-4 4,5-6 6-9
Аккумуляция в бункерах с наклонными стенками	2-3
Подготовительная классификация: сухая мокрая	1-2 2-3
Тяжелосредные сепараторы и грохоты сброса суспензии и обезвоживания	2-4
Обесшламливание перед обогащением в отсадочных машинах	1-2
Отсадочные машины	6-12
Обесшламливание мелкого угля или продукта перед обогащением в тяжелосредных гидроциклонах: при конвейерной (элеваторной) подаче при подаче насосами	1-2 8-12
Сгустительные гидроциклоны	3-8
Насосы для подачи питания флотации, флотоконцентрата и других пульп	6-10
Тяжелосредные гидроциклоны и грохоты сброса суспензии и обезвоживания	2-5
Обезвоживание центрифуги: вибрационные шнековые	2-4 4-6

В практике углеобогащения при неизвестном значении коэффициента шлагообразования широкое распространение получило уравнение [2], определяющее общее количество шлага на фабрике исходя из количества его в рядовом угле

$$\gamma_{шл.} = 4,3 + 1,34\gamma_{0-1}, \quad \% \quad (1)$$

где γ_{0-1} – выход класса 0-1 мм в рядовом угле, %.

Исходя из уравнения (1) дополнительное количество шлага можно определить как

$$\Delta\gamma_{шл.} = \gamma_{шл.} - \gamma_{0-1}, \quad \% \quad (2)$$

Количество вновь образовавшегося шлага из машинных классов рядового угля определяется пропорционально выходам этих классов, а зольность дополнительного шлага приравнивается зольности тех классов, из которого он образовался.

С целью прогнозирования шлагообразования производят моделирование измельчаемости рядового угля.

Моделирование измельчаемости и шлагообразования в процессе транспортирования и обогащения угля проводят в большом стандартном барабане для определения механической прочности угля.

Моделирование измельчения и шлагообразования угля в процессе добычи, транспортирования и обогащения проводят последовательно:

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

– в начале моделируют измельчение от шахты до обогатительной фабрики без воды при сухом способе добычи в течение соответствующего времени (2 мин.);

– затем в барабан с испытуемой пробой подают воду и проводят моделирование шламообразования в процессе обогащения в течение 10 мин.

По результатам гранулометрического состава сравниваемых проб исходного угля и после моделирования вычисляют относительную измельчаемость, которая показывает, какое количество надрешетного продукта перешло в подрешетный по выбранной границе разделения:

$$K = \frac{\sum \Delta \gamma}{\sum \gamma_1} 100, \quad (3)$$

где $\sum \Delta \gamma$ – разность выходов одинаковых классов сравниваемых проб, суммирования нарастающим итогом, то есть разность выходов надрешетного продукта по выбранной границе разделения, %; $\sum \gamma_1$ – выход классов продукта до измельчения, суммированный нарастающим итогом, т.е. выход надрешетного продукта до измельчения, %.

Критерием оценки моделирования измельчения и шламообразования угля в лабораторных условиях служит количество и качество образовавшегося класса 0-0,5 мм.

Наиболее правильным следует считать определение коэффициента шламообразования технологической схемы фабрики по результатам опробования ее входящих и выходящих продуктов [6]. При этом предлагается вести расчет коэффициента шламообразования по изменению содержания в этих продуктах класса +1 мм, так как он (в сравнении с классом -1 мм) более точно определяется и в количественном, и в качественном отношении.

Методика определения коэффициента шламообразования основана на уравнении материального баланса продуктов обогащения, в соответствии с которым количество поступившего на обогащение рядового угля равно сумме продуктов, полученных в результате его переработки. В рядовом угле присутствует шлам, полученный в процессе добычи, транспортировки и других технологических операций на угледобывающих предприятиях. Содержание шлама в рядовом угле определяется содержанием в нем класса крупности менее 1 мм. Принимая в уравнении материального баланса количество рядового угля по сухой массе за 100%, представим его как сумму выходов рядового угля крупностью более 1 мм ($\gamma_{p.y.+1}$) и шлама (класс крупности менее 1 мм – $\gamma_{p.y.-1}$):

$$\gamma_{p.y.+1} + \gamma_{p.y.-1} = 100\%. \quad (4)$$

При переработке рядового угля на ОФ происходит дополнительное шламообразование, поэтому сумма продуктов, полученных в результате переработки, будет:

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\gamma_{p.y.+1} + \gamma_{p.y.-1} = \gamma_{n.o.+1} + \gamma_{p.y.-1} + \gamma_{n.o.-1}, \quad (5)$$

где $\gamma_{n.o.+1}$, $\gamma_{n.o.-1}$ – содержание в продуктах обогащения классов крупности более 1 мм и менее 1 мм соответственно, %.

Из уравнения (5) определяем уменьшение выхода класса более 1 мм в продуктах обогащения по сравнению с содержанием этого класса в рядовом угле в связи с дополнительным шламообразованием (выход дополнительно образовавшегося шлама):

$$\gamma_{n.o.-1} = \gamma_{p.y.+1} - \gamma_{n.o.+1}. \quad (6)$$

При рассмотрении уравнения (6) видим, что присутствующий в рядовом угле шлам (класс крупности менее 1 мм) на выход дополнительно образовавшегося шлама влияния не оказывает.

Разделив левую и правую части уравнения (6) на выход класса крупности более 1 мм в рядовом угле $\gamma_{p.y.+1}$

$$\frac{\gamma_{n.o.-1}}{\gamma_{p.y.+1}} = \frac{\gamma_{p.y.+1} - \gamma_{n.o.+1}}{\gamma_{p.y.+1}} \quad (7)$$

и обозначив соотношение в левой части уравнения через $K_{ш}$, получим величину относительного уменьшения выхода класса более 1 мм в рядовом угле в связи с дополнительным шламообразованием, которая представляет собой коэффициент шламообразования технологической схемы фабрики:

$$K_{ш} = \frac{\gamma_{p.y.+1} - \gamma_{n.o.+1}}{\gamma_{p.y.+1}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Получение исходных данных для расчета коэффициента шламообразования осуществляется при опробовании и исследовании поступающих на обогащение рядовых (товарных) углей шахт и всех конечных продуктов обогащения, а также определении материального баланса продуктов обогащения.

При значительных отличиях механических свойств крупного и мелкого машинных классов рядового угля появляется целесообразность определения коэффициентов изменения их выходов.

Определение коэффициентов изменения выхода машинных классов (K_{Δ}) при обогащении рядовых углей осуществляется на основе их материального баланса по продуктам обогащения.

Для крупного машинного класса коэффициент изменения выхода ($K_{\Delta+13}$) определяется по формуле:

$$K_{\Delta+13} = \frac{\gamma_{p.y.+13} - \gamma_{n.o.+13}}{\gamma_{p.y.+13}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

где $\gamma_{p.y.+13}$ и $\gamma_{n.o.+13}$ – выход класса +13 мм соответственно в рядовом угле и в продуктах обогащения, %.

Для мелкого машинного класса коэффициент изменения выхода ($K_{\Delta 1-13}$) определяется как:

$$K_{\Delta 1-13} = \frac{\gamma_{p.y.1-13} - \gamma_{n.o.1-13}}{\gamma_{p.y.1-13}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где $\gamma_{p.y.1-13}$ и $\gamma_{n.o.1-13}$ – выход класса 1–13 мм соответственно в рядовом угле и в продуктах обогащения, %.

При известных значениях $K_{\Delta +13}$ и $K_{\Delta 1-13}$ коэффициент шламообразования определяется как

$$K_{ш} = \frac{\gamma_{p.y.+13} \cdot K_{\Delta +13} + \gamma_{p.y.1-13} \cdot K_{\Delta 1-13}}{\gamma_{p.y.+13} + \gamma_{p.y.1-13}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

В качестве примера, приведен расчет коэффициента шламообразования технологической схемы ЦОФ "Червоноградская". Исходные данные для расчета, полученные в результате опробования входящих и выходящих продуктов, приведены в табл. 6 [7].

Таблица 6

Исходные данные для расчета коэффициента шламообразования технологической схемы ЦОФ "Червоноградская"

Наименование продуктов	Содержание класса +1 мм к исходному, %					
	Крупный машинный класс		Мелкий машинный класс		Итого	
	Выход, %	Обозначение	Выход, %	Обозначение	Выход, %	Обозначение
Рядовой уголь	44,9	$\gamma_{p.y.+13}$	46,3	$\gamma_{p.y.1-13}$	91,2	$\gamma_{p.y.+1}$
Продукты обогащения	40,75	$\gamma_{n.o.+13}$	42,48	$\gamma_{n.o.1-13}$	83,23	$\gamma_{n.o.+1}$

Коэффициент шламообразования технологической схемы ЦОФ "Червоноградская" определяется как:

$$K_{ш} = \frac{\gamma_{p.y.+1} - \gamma_{n.o.+1}}{\gamma_{p.y.+1}} \cdot 100\% = \frac{91,2 - 83,23}{91,2} \cdot 100\% = 8,74\%,$$

где $\gamma_{p.y.+1}$, $\gamma_{n.o.+1}$ – выход классов крупностью +1 мм, соответственно, в рядовом угле и в продукте обогащения.

Коэффициент шламообразования технологической схемы фабрики может быть также определен по коэффициентам изменения выхода крупного и мелкого машинных классов как:

$$K_{ш} = \frac{\gamma_{p.y.+13} \cdot K_{\Delta +13} + \gamma_{p.y.1-13} \cdot K_{\Delta 1-13}}{\gamma_{p.y.+13} + \gamma_{p.y.1-13}} = \frac{44,9 \cdot 9,25 + 46,3 \cdot 8,25}{44,9 + 46,3} = 8,74\%,$$

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

где $K_{\Delta+13} = \frac{\gamma_{p.y.+13} - \gamma_{n.o.+13}}{\gamma_{p.y.+13}} \cdot 100\% = \frac{44,9 - 40,75}{44,9} \cdot 100\% = 9,25\%$ – коэффициент

изменения выхода крупного машинного класса;

$K_{\Delta 1-13} = \frac{\gamma_{p.y.1-13} - \gamma_{n.o.1-13}}{\gamma_{p.y.1-13}} \cdot 100\% = \frac{46,3 - 42,48}{46,3} \cdot 100\% = 8,25\%$ – коэффициент

изменения выхода мелкого машинного класса; $\gamma_{p.y.+13}$, $\gamma_{n.o.+13}$ – выход классов крупностью +13 мм, соответственно, в рядовом угле и в продуктах обогащения, %; $\gamma_{p.y.1-13}$, $\gamma_{n.o.1-13}$ – выход классов крупностью 1-13 мм, соответственно, в рядовом угле и в продуктах обогащения, %.

Выполненный расчет выхода концентрата при обогащении рядового угля шахты "Межиричанская" на ЦОФ "Червоноградская" без и с учетом шламообразования технологической схемы фабрики показал, что при планировании показателей обогащения завышение выхода концентрата, приведенного к зольности 25%, составляет 1,42%.

Значения коэффициента шламообразования, а также коэффициент изменения выходов крупного и мелкого машинных классов должны быть заложены в технологическом регламенте фабрики.

В табл. 7 приведены коэффициенты шламообразования технологических схем ряда углеобогатительных фабрик. Из табл. 7 следует, что с увеличением технологических операций и с ростом зольности рядового угля происходит существенное увеличение коэффициента шламообразования технологических схем углеобогатительных фабрик. Если первая причина роста коэффициента шламообразования объясняется увеличением количества перепадов, насосов и времени обогащения, то вторая – увеличением количества породы, легче истираемой и размокаемой.

Таблица 7

Коэффициенты шламообразования технологических схем ряда углеобогатительных фабрик

Наименование фабрики	Марка угля	Зольность рядового угля, %	Процессы обогащения* по четырем машинным классам**	$K_{ш}$, %	Год определения $K_{ш}$
1	2	3	4	5	6
Кураховская	Г	23,2	ТС (+13 мм)	1,6	1974 [8]
Кураховская	Г	45,8	ТС+ОМ+О+О	13,3	2011
Добропольская	Г	32,7	ОМ+ОМ+О+О	4,1	1974 [8]
Добропольская	Г	45,4	ОМ+ОМ+О+Ф	12,2	
Краснолиманская	Г	32,0	ОМ+ОМ+О+О	8,1	1974 [8]
Комендантская	А	22,4	ТС+ОМ+КС+Ф	3,9	1974 [8]
Свердловская	А	39,9	ТС+ОМ+О+О	2,4	2010
Чумаковская	ОС	11,5	ТС+ОМ+О+Ф	12,8	1974 [8]
Чумаковская	Г	42,7	ТС+ОМ+ВС+Ф	8,2	2012
Калининская	Г	29,5	ТС+ОМ+О+Ф	8,5	1974 [8]
Красноармейская	Г	39,2	ОМ+ОМ+О+О	5,8	1974 [8]
Новопавловская	А	26,0	ОМ(+6 мм)	3,4	1974 [8]
Горловская	Ж	18,4	ОМ+ОМ+КС+Ф	20,9	1974 [8]
Криворожская	К	11,1	ОМ+ОМ+О+Ф	17,2	1974 [8]
Брянковская	К	19,8	ОМ+ОМ+О+Ф	19,0	1974 [8]
Запорожская КХЗ	шихта	18,3	ОМ+ОМ+О+Ф	9,9	1974 [8]
Судженская	К			12,8	1974 [8]
Аджерская	ОС			4,6	1974 [8]
Березовская	К			18,3	1974 [8]

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6
Беловская	Ж			6,9	1974 [8]
Чертинская	Ж			11,1	1974 [8]
Тайбанская	К			6,9	1974 [8]
Зиминка	К			7,5	1974 [8]
Коксовая	К			6,7	1974 [8]
Абашевская	Ж			12,5	1974 [8]
Томусинская	К			10,0	1974 [8]
Моспинская	Г	40,7	ТС+ОМ+О+О	9,8	2013
Павлоградская	Г	45,7	ТС+ОМ+О+О	8,8	2012
Октябрьская	Г	44,5	ТС+ОМ+О+Ф	11,3	2011
Ровеньковская	А	37,8	ОМ+ОМ+О+О	1,8	2009
Червоноградская	Г	53,9	ТС+ОМ+О+О	8,7	2009

* крупный машинный класс +13 мм; мелкий машинный класс 1-13 мм; шлам нефлотационной крупности 0,5-1 мм; шлам флотационной крупности 0-0,5 мм.

** ТС – тяжелосредние сепараторы; ОМ – отсадочные машины; КС – концентрационные столы; ВС – винтовые сепараторы; ГС – гидросайзеры; Ф – флотация; О – нет процесса.

Выводы

1. При планировании показателей обогащения необходимо учитывать шламообразование рядового угля в технологической схеме фабрики.

2. Шламообразование рядового угля необходимо учитывать с помощью коэффициента шламообразования технологической схемы фабрики, определяемого по изменению содержания класса +1 мм в рядовом угле и в продуктах обогащения.

3. Коэффициент шламообразования технологической схемы углеобогажительных фабрик определяется по результатам опробования входящих и выходящих продуктов.

4. Значение коэффициента шламообразования технологической схемы должно быть заложено в технологическом регламенте фабрики.

Список литературы

1. Техника и технология обогащения углей / Под ред. В.А. Чантурия, А.Р. Молявко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.
2. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогажительных фабрик: Справочно-информационное пособие. – Д.: Национальный горный университет, 2002. – 855 с.
3. СОУ 10.1.00185755.002-2004 "Вугільні продукти збагачення. Методика розрахунку показників якості". – Д.: ДП: "Укрдівуглезбагачення", 2004. – 47 с.
4. Методика расчета норм показателей качества углей и продуктов их переработки. – Ворошиловград: Укрниинуглеобогащение, 1983. – 81 с.
5. Полулях А.Д., Пилов П.И., Егурнов А.И. Практикум по расчетам качественно-количественных и водно-шламовых схем углеобогажительных фабрик: Учебн. пособие. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2007. – 504 с.
6. Полулях А.Д., Мамренко В.Г. Методика определения коэффициента шламообразования технологической схемы углеобогажительной фабрики // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 35(76). – С. 144-147.
7. Определение коэффициента шламообразования технологической схемы ЦОФ "Червоноградская" / А.Д. Полулях, В.С. Мехальчишин, П.В. Чигринцев и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36(77)-37(78). – С. 161-165.
8. Фоменко Т.Г., Бутовецкий В.С., Погарцева Е.М. Водно-шламовое хозяйство углеобогажительных фабрик. – М.: Недра, 1974. – 270 с.

© Полулях А.Д., Полулях Д.А., 2015

*Надійшла до редколегії 12.01.2015
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Пиловим*