

УДК 622.766:622.333

**А.Д. ПОЛУЛЯХ**, д-р техн. наук  
(Украина, Днепр, ОП "Укрнииуглеобогащение" ГП "Углеинновация"),

**А.С. БУЧАТСКИЙ**  
(Россия, Белгород, ООО "Сателлит"),

**Д.А. ПОЛУЛЯХ**, канд. техн. наук, **Р.А. НИКУТОВ**  
(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАСОРЕНИЯ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО СЕПАРАТОРА**

#### *Введение*

В методиках расчета практического баланса продуктов обогащения в углеобогащении принято применять их засорение некондиционными фракциями. При выделении в технологической операции трех продуктов обычно применяются плотности разделения 1500 и 1800 кг/м<sup>3</sup>, при выделении двух продуктов либо 1500 кг/м<sup>3</sup>, либо 1800 кг/м<sup>3</sup>. Однако требования потребителей угольной продукции предопределяет необходимость ведения разделения частиц по плотности между 1500 и 1800 кг/м<sup>3</sup>. В связи с изменением плотности разделения изменяются и коэффициенты взаимозасорения продуктов обогащения. В соответствии с [1-3] с увеличением плотности разделения засорения концентрата и отходов возрастают, соответственно, фракциями больше и меньше плотности разделения.

#### *Засорения продуктов тяжелосреднего обогащения*

Практика тяжелосреднего обогащения последних лет показывает, что с увеличением количества породы в исходном материале до уровня 50% существенно изменило эти закономерности. Для подтверждения этого вывода на ЦОФ "Комсомольская" на сепараторе СК-32 были выполнены специальные исследования по установлению засорения продуктов тяжелосреднего обогащения при изменении плотности магнетитовой суспензии [4]. Обогащению подвергался уголь марки "Г" с показателями обогатимости  $T = 4,1-5,4\%$ . Плотность магнетитовой суспензии составляла 1500, 1700, 1900, 2100 кг/м<sup>3</sup>.

В табл. 1 приведены результаты работы сепаратора СК-32 на различной плотности магнетитовой суспензии при обогащении рядового угля, в табл. 2 – тоже, но по классам крупности, в табл. 3 – показатели засорения продуктов обогащения, взятые из табл. 1 и табл. 2.

## Гравітаційна сепарація

Таблиця 1

Показатели работы сепаратора СК-32 при различной плотности магнетитовой суспензии

Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>	Продукт	Фракции, кг/м <sup>3</sup>								Выход к исходному, %	Показатель T, %	Плотность разделения, кг/м <sup>3</sup>	E <sub>рм</sub> , кг/м <sup>3</sup>
		<1500		1500-1800		>1800		Итого					
		γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %				
1500	Исходный	48,82	2,8	2,34	32,6	48,84	87,8	100,0	45,0	100,0	4,6	1540	15
	Концентрат	98,64	2,8	1,14	25,3	0,22	69,7	100,0	3,2	49,45			
	Отходы	0,27	10,6	3,55	34,9	96,28	88,0	100,0	86,0	50,55			
1700	Исходный	46,54	4,0	2,64	32,3	50,82	88,0	100,0	47,4	100,0	5,4	1730	18
	Концентрат	94,94	4,0	4,79	32,4	0,27	63,2	100,0	5,6	48,92			
	Отходы	0,21	11,8	0,58	33,0	99,21	89,2	100,0	88,7	51,08			
1900	Исходный	39,23	4,5	2,09	32,9	58,68	88,7	100,0	54,5	100,0	5,1	1890	20
	Концентрат	93,47	4,5	4,9	21,8	1,63	67,2	100,0	6,4	41,91			
	Отходы	0,14	6,1	0,03	40,1	99,83	88,9	100,0	89,1	58,09			
2100	Исходный	40,5	4,0	1,75	35,4	57,75	89,0	100,0	53,6	100,0	4,1	2090	25
	Концентрат	92,65	3,2	4,95	35,3	2,40	65,5	100,0	6,3	42,92			
	Отходы	0,06	9,0	0,02	42,2	99,92	89,3	100,0	89,2	57,08			

Таблиця 2

Распределение фракций различных классов крупности по продуктам обогащения при различной плотности магнетитовой суспензии

Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>	Продукт	Фракции, кг/м <sup>3</sup>								Выход к исходному, %	Показатель T, %	Плотность разделения, кг/м <sup>3</sup>	E <sub>рм</sub> , кг/м <sup>3</sup>
		<1500		1500-1800		>1800		Итого					
		γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %	γ, %	A <sup>d</sup> , %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Класс 50-100 мм													
1500	Исходный	20,57	2,4	3,96	33,3	75,47	88,1	100,0	68,4	100,0	16,1	1540	15
	Концентрат	99,76	2,4	0,24	25,3	0	0	100,0	2,4	20,82			
	Отходы	0,88	8,7	4,68	33,9	94,44	89,0	100,0	85,7	79,18			
1700	Исходный	42,41	3,7	1,78	27,7	55,81	91,4	100,0	53,0	100,0	4,0	1730	15
	Концентрат	99,25	3,7	0,75	27,8	0	0	100,0	3,9	41,96			
	Отходы	0,62	9,4	3,23	18,8	96,15	91,3	100,0	88,5	58,04			
1900	Исходный	52,24	4,4	2,8	31,8	44,96	86,6	100,0	42,6	100,0	5,1	1860	25
	Концентрат	98,07	3,6	1,55	31,8	0,38	59,3	100,0	4,2	53,73			
	Отходы	0,36	7,6	1,46	41,8	98,18	88,2	100,0	87,2	46,27			
2100	Исходный	27,97	3,7	1,47	42,9	70,56	89,4	100,0	64,7	100,0	5,0	2140	35
	Концентрат	97,56	3,6	1,92	42,0	0,52	68,5	100,0	4,7	29,08			
	Отходы	0,21	8,4	0,52	39,2	99,27	89,6	100,0	89,3	70,92			
Класс 25-50 мм													
1500	Исходный	65,54	2,7	2,32	30,0	32,14	87,2	100,0	30,5	100,0	3,4	1545	30
	Концентрат	99,44	2,7	0,56	24,1	0	0	100,0	2,8	66,26			
	Отходы	0,66	7,2	3,5	40,1	95,84	87,1	100,0	84,9	33,74			
1700	Исходный	55,56	4,7	4,81	31,5	39,63	86,4	100,0	38,4	100,0	8,0	1740	40
	Концентрат	98,49	4,7	1,03	31,3	0,48	45,8	100,0	5,2	58,6			
	Отходы	0,17	12,8	2,33	32,9	97,5	86,8	100,0	85,4	41,4			
1900	Исходный	26,04	4,1	1,29	35,5	72,67	90,3	100,0	67,2	100,0	4,7	1920	50
	Концентрат	97,39	4,1	1,85	35,8	0,76	68,6	100,0	5,2	26,28			
	Отходы	0,28	6,5	1,28	40,8	98,44	90,2	100,0	89,3	73,72			

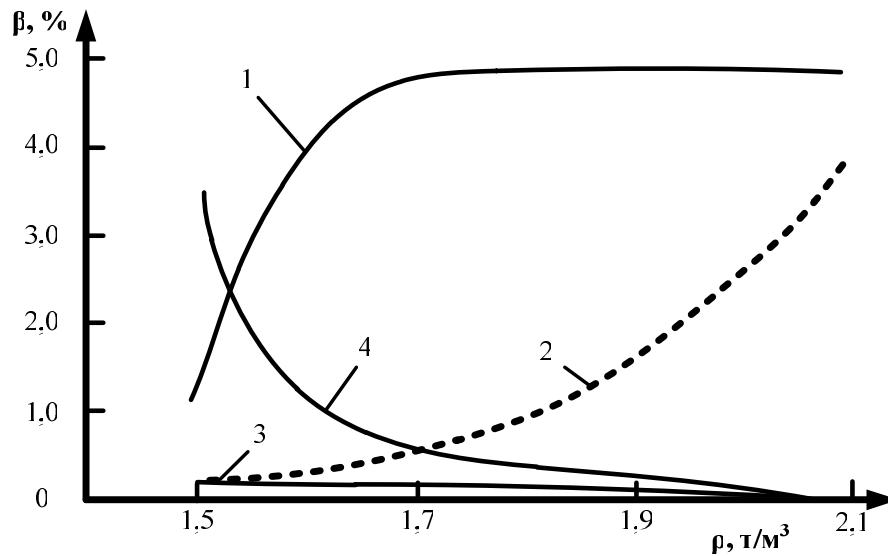
## Гравітаційна сепарація

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2100	Исходный	48,96	3,9	2,27	34,3	48,77	88,6	100,0	45,9	100,0	5,4	2060	60
	Концентрат	95,77	3,9	3,01	33,8	1,22	51,8	100,0	5,4	51,09			
	Отходы	0,12	6,2	0,21	50,9	99,67	89,0	100,0	88,2	48,91			
Класс 13-25 мм													
1500	Исходный	67,63	2,6	1,73	33,2	30,64	85,2	100,0	28,5	100,0	2,5	1627	45
	Концентрат	99,11	2,5	0,74	25,8	0,15	91,0	100,0	2,9	68,2			
	Отходы	0,52	14,5	2,82	36,2	96,66	85,3	100,0	83,5	31,8			
1700	Исходный	59,47	4,3	3,63	34,1	36,9	85,4	100,0	35,3	100,0	5,8	1790	50
	Концентрат	98,32	4,3	1,16	34,1	0,52	56,2	100,0	4,9	62,05			
	Отходы	0,38	6,6	1,01	33,5	98,61	85,8	100,0	85,0	37,95			
1900	Исходный	53,28	3,8	2,93	35,1	43,79	86,9	100,0	41,1	100,0	5,2	1954	96
	Концентрат	97,04	3,8	2,02	32,7	0,94	62,0	100,0	4,9	56,17			
	Отходы	0,24	18,7	0,69	42,4	99,07	88,0	100,0	87,5	43,83			
2100	Исходный	51,96	4,0	2,09	31,1	45,95	87,8	100,0	43,1	100,0	3,9	2091	102
	Концентрат	95,39	4,0	3,14	30,9	1,47	73,1	100,0	5,9	54,63			
	Отходы	0,07	9,1	0,11	39,7	99,82	88,0	100,0	87,9	45,37			
Класс 6-13 мм													
1500	Исходный	49,56	3,2	1,08	31,5	49,36	89,5	100,0	46,1	100,0	2,1	1651	35
	Концентрат	98,73	3,1	0,99	24,4	0,28	80,0	100,0	3,5	49,65			
	Отходы	0,43	10,5	2,12	37,0	97,45	89,6	100,0	88,1	50,35			
1700	Исходный	31,33	4,3	1,52	34,0	67,15	89,1	100,0	61,7	100,0	4,6	1800	60
	Концентрат	97,9	4,3	1,33	33,7	0,77	59,0	100,0	5,1	32,13			
	Отходы	0,31	10,9	0,91	37,9	98,78	89,2	100,0	88,5	67,87			
1900	Исходный	32,49	4,0	1,8	32,7	65,71	89,5	100,0	60,7	100,0	5,3	1899	110
	Концентрат	96,14	4,0	2,29	32,6	1,57	71,1	100,0	5,7	34,45			
	Отходы	0,11	7,0	0,42	37,1	99,47	89,9	100,0	89,6	65,55			
2100	Исходный	44,95	4,6	1,57	31,4	53,48	89,8	100,0	50,6	100,0	3,4	2109	122
	Концентрат	93,5	4,6	3,24	31,3	3,26	72,3	100,0	7,7	48,05			
	Отходы	0	0	0,06	45,7	99,94	90,3	100,0	90,3	51,95			
Класс 3-6													
1500	Исходный	72,41	3,3	1,84	29,9	25,75	88,6	100,0	25,8	100,0	2,5	1705	91
	Концентрат	97,3	3,3	1,84	27,3	0,86	64,2	100,0	4,3	74,19			
	Отходы	0,32	5,8	1,87	37,5	97,81	88,8	100,0	87,6	25,81			
1700	Исходный	50,57	3,8	3,21	33,1	46,22	84,4	100,0	42,0	100,0	6,0	1890	90
	Концентрат	95,04	3,7	2,24	32,7	2,72	65,9	100,0	6,0	54,08			
	Отходы	0,24	10,7	0,82	33,7	98,94	85,0	100,0	84,4	45,92			
1900	Исходный	47,01	3,8	9,69	31,2	43,3	88,1	100,0	43,0	100,0	3,5	2147	137
	Концентрат	88,54	3,8	3,02	30,0	8,44	81,8	100,0	11,2	59,13			
	Отходы	0,06	6,0	0,31	37,2	99,63	89,2	100,0	89,0	40,87			
2100	Исходный	56,46	3,0	2,1	29,4	41,44	89,3	100,0	30,3	100,0	3,6	2233	147
	Концентрат	87,32	2,9	3,32	29,3	9,36	81,3	100,0	11,1	75,82			
	Отходы	0	0	0	0	100,0	90,5	100,0	90,5	24,18			
Класс 1-3													
1500	Исходный	67,18	2,5	2,61	30,4	30,21	85,7	100,0	25,4	100,0	3,7	1755	206
	Концентрат	96,54	2,5	2,09	29,2	1,37	79,3	100,0	4,1	74,02			
	Отходы	0,23	4,3	1,24	39,0	98,53	86,9	100,0	86,1	25,88			
1700	Исходный	47,5	3,8	2,06	32,3	50,44	86,5	100,0	46,1	100,0	4,2	1820	280
	Концентрат	89,3	3,6	2,9	31,0	7,8	77,9	100,0	10,2	53,38			
	Отходы	0,11	5,7	0,69	34,4	99,2	87,7	100,0	87,2	46,62			
1900	Исходный	20,43	3,6	0,99	30,7	78,58	88,0	100,0	70,2	100,0	4,6	2110	290
	Концентрат	79,71	3,1	3,38	31,4	16,91	83,1	100,0	17,5	25,67			
	Отходы	0	0	0,28	37,4	99,72	88,5	100,0	88,4	74,33			
2100	Исходный	49,94	3,3	2,05	30,7	48,01	87,5	100,0	44,3	100,0	3,9	2254	294
	Концентрат	71,41	3,1	3,69	30,6	24,9	84,4	100,0	24,4	69,2			
	Отходы	0	0	0	0	100,0	89,0	100,0	89,0	30,8			

Матеріал	Плотність суспензії, кг/м <sup>3</sup>	Засорение продуктов обогащения					
		Продукты обогащения			отходы		
		концентрат			отходы		
		βп/п(к)	βп(к)	Итого	βк(о)	βп/п(о)	Итого
Рядовой уголь	1500	1,14	0,22	1,66	0,27	3,55	3,82
	1700	4,79	0,27	5,06	0,21	0,58	0,79
	1900	4,9	1,63	6,53	0,14	0,3	0,17
	2100	4,95	2,4	7,35	0,06	0,02	0,08
Класс 50-100 мм	1500	0,24	0	0,24	0,88	4,68	5,56
	1700	0,75	0	0,75	0,62	3,23	3,85
	1900	1,55	0,38	1,93	0,36	1,46	1,82
	2100	1,92	0,52	2,44	0,21	0,52	0,73
Класс 25-50 мм	1500	0,56	0	0,56	0,66	3,51	4,17
	1700	1,03	0,48	1,51	0,47	2,33	2,8
	1900	1,85	0,76	2,61	0,28	1,28	1,56
	2100	3,01	1,22	4,23	0,12	0,21	0,33
Класс 13-25 мм	1500	0,74	0,15	0,89	0,52	2,82	3,34
	1700	1,16	0,52	1,68	0,38	1,01	1,39
	1900	2,02	0,94	2,96	0,24	0,69	0,93
	2100	3,14	1,47	4,61	0,07	0,11	0,18
Класс 6-13 мм	1500	0,99	0,28	1,27	0,43	2,12	2,55
	1700	1,33	0,77	2,1	0,31	0,91	1,22
	1900	2,29	1,57	3,86	0,11	0,42	0,53
	2100	3,24	3,26	6,5	0	0,06	0,06
Класс 3-6 мм	1500	1,84	0,86	2,7	0,32	1,87	2,19
	1700	2,24	2,72	4,96	0,24	0,82	1,06
	1900	3,02	8,44	11,46	0,06	0,31	0,37
	2100	3,32	9,36	12,68	0	0	0
Класс 1-3 мм	1500	2,09	1,37	3,46	0,23	1,24	1,47
	1700	2,9	7,8	10,7	0,11	0,69	0,8
	1900	3,38	16,91	20,29	0	0,28	0,28
	2100	3,69	24,9	28,59	0	0	0

Из данных табл. 3 следует, что с ростом плотности магнетитовой суспензии засорение концентрата промпродуктовыми и породными фракциями возрастает, а отходов концентратными и промпродуктовыми фракциями снижается. Причем, как следует из рисунка после плотности разделения 1700 кг/м<sup>3</sup> засорение концентрата промпродуктовыми фракциями стабилизируется, то засорение породными фракциями резко возрастает. Засорение отходов концентратными фракциями незначительно и с ростом плотности разделение снижается до 0; засорение отходов промпродуктовыми фракциями значительно при плотности разделения 1500 кг/м<sup>3</sup>, резко снижается при плотности 1700 кг/м<sup>3</sup> и плавно уменьшается до минимального значения при плотности 2100 кг/м<sup>3</sup>.



Влияние плотности разделения на величину засорения продуктов обогащения:

- 1 – концентрата промпродуктовыми фракциями;
- 2 – концентрата породными фракциями;
- 3 – отходов концентратными фракциями;
- 4 – отходов промпродуктовыми фракциями

Из табл. 3 также следует, что с уменьшением крупности машинных классов засорение продуктов обогащения увеличивается. Особенно резко увеличивается засорение концентрата для классов 3-6 и 1-3 мм для плотности разделения  $1900 \text{ кг/м}^3$  и составляет соответственно до 12 и 20%, что подтверждает необходимость их полного удаления при подготовительном грохочении из крупного машинного класса.

Таким образом, приведенные результаты промышленных исследований обогащения высокозольного угля в тяжелосредних сепараторах с выделением двух продуктов подтверждают необходимость корректировки значений взаимозасорения продуктов обогащения, приведенных в [1-3].

### Выводы

1. При тяжелосреднем обогащении угля в сепараторах с магнетитовой суспензией с увеличением плотности разделения засорение концентрата промпродуктовыми и породными фракциями возрастает, а отходов концентратными и промпродуктовыми фракциями снижается. Данное утверждение отличается от общепринятого.

2. При обогащении высокозольного угля с содержанием породы на уровне 50% абсолютные значения взаимозасорения продуктов обогащения увеличиваются, в сравнении с их значениями при обогащении низкозольного угля.

3. Необходима корректировка показателей взаимозасорения продуктов обогащения тяжелосреднего обогащения угля, приведенных в нормативных документах.

### **Список литературы**

1. Методика расчета показателей качества углей и продуктов их переработки. – Ворошиловград: Укрнииуглеобогащение, 1983. – 82 с.
2. СОУ 10.1.00185755:002-2004 "Вугільні продукти збагачення. Методика розрахунку показників якості". – Київ: Мінпаливенерго України, 2004. – 46 с.
3. РД 03-306-99 "Инструкция по определению и нормированию потерь угля (сланца) при переработке". – М.: Госгортехнадзор России, 1999. – 33 с.
4. Техническая помощь при внедрении отсадочных машин типа ОМ12-1 и ОМА10-1, модернизированных узлов и совершенствование технологии обогащения крупного и мелкого угля: Отчет о НИР / Рук. В.И. Хайдакин. – Ворошиловград: Укрнииуглеобогащение, 1976. – 148 с.

© Полулях А.Д., Бучатский А.С., Полулях Д.А., Никутов Р.А., 2017

*Надійшла до редколегії 14.04.2017 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*