

Обогащение угля методом пневматической сепарации с использованием "СЕПАИР"

¹**ОМАРОВА Надежда Какибаевна**, к.т.н., доцент, nazim 48@mail.ru,

^{1*}**ШЕРЕМБАЕВА Рымкеш Тюлюхановна**, к.т.н., и.о. доцента, sherembayeva@mail.ru,

¹**АМИРХАН Алма Амирханкызы**, старший преподаватель, argyn-alma@mail.ru,

¹**АЛЬШЕРОВ Ерлан Бабаханович**, магистрант, oos plus@mail.ru,

²**СЕЛЕЗНЕВА Оксана Олеговна**, начальник отдела науки, oos plus@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

²ТОО «НИЦ «Уголь», пр. Н. Назарбаева, 74А, Караганда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В процессе гравитационного обогащения месторождения угля Кара-Кече Кыргызской Республики использовалась проба рядового угля крупностью 0,5-100 мм. Исследования проводились по определению параметров процесса пневматической сепарации. В результате исследований определены основные технологические показатели пневматической сепарации углей. Химический анализ продуктов обогащения выполнен в лаборатории ТОО «Научно-исследовательский центр «Уголь». Сухая пневматическая сепарация углей обеспечивается процессом разделения продуктов по плотности в псевдосжиженном слое с управляемой циркуляцией слоя, что позволяет получить продукты обогащения, соответствующие требованиям. При обогащении угля сухой пневматической сепарацией получен угольный концентрат, с зольностью, которая снизилась на 12,67 % по отношению к исходному рядовому углю с выходом 61,92 %. Зольность промпродукта составила 35,97 % с выходом 3,03 %, а отходы с зольностью 85,06 % и выходом 10,52 %, сумма образовавшейся просыпи с необогащенной угольной мелочью, общая зольность 24,70 % при выходе 24,53 %.

Ключевые слова: обогащение углей, пневматическая сухая сепарация, гравитационное обогащение угля, концентрат, отходы, промежуточный продукт, зольность, влажность.

Введение

Пластовая проба угля месторождения Кара-Кече была отобрана с целью определения возможности обогащения методом пневматической сепарации и подбора связующих веществ для производства брикетов из угольной мелочи.

Строение пласта выдержанное, крутопадающее - более 3 м, поэтому проба отобрана на разрезе высеканием продольной борозды по всей длине забоя в горизонтальном направлении.

Сухое пневматическое обогащение позволит добиться необходимых технологических показателей при уменьшении затрат на капитальные сооружения, обезвоживание, сушку полученных продуктов, организацию оборотного водоснабжения.

Предлагаемый метод позволяет корректировать технологическую схему обогащения углей под характеристики исходного сырья и требования к готовому продукту [1-

2].

Цель работы заключается в оценке эффективности применения технологии «Сепайр» при обогащении углей данного месторождения.

Методы исследования

Для проведения исследований процесса гравитационного обогащения месторождения угля Кара-Кече, использовалась проба рядового угля крупностью поступающего на сепарацию 0,5-100 мм.

Угли исследуемого месторождения относятся к разряду труднообогащаемых: с высокой зольностью 48-50%, значительным содержанием продуктов близкой плотности, с плавным изменением свойств материалов внутри единого куска [3-5].

Преимущество предлагаемого метода сухой пневматической сепарации – низкая себестоимость, с уменьшением как разовых затрат, так и эксплуатационных, при сопоставимых объемах переработки сырья «су-

хая» фабрика в 5-10 дешевле «мокрой».

При сухой сепарации нет необходимости создавать шламоотвал, что приводит к решению экологических проблем.

Работа сепаратора заключается в следующем: поступающий на сепарацию материал с помощью вибрационного питателя распределяется равномерным слоем по всей ширине, на поверхность ленточного сетчатого конвейера. Транспортируясь, материал попадает в рабочую зону сопла, через которое с определенной скоростью проходит воздух.

Воздушный поток создается за счет работы дымососа, соединенного через продуктовый и шламоотделительный бункер с соплом. Частотным преобразователем устанавливается режим работы двигателя тягодутьевой машины и подбирается необходимый расход воздуха через сопло. Восходящий поток воздуха передает импульс транспортируемому по конвейеру материалу. Возникающая «подъемная» сила будет определяться формой и плотностью разделяемых материалов.

В зоне сепарации создается управляемый циркулирующий псевдосжиженный слой из частиц материала, имеющих плотность равную значению плотности, по которой происходит разделение частиц.

Частицы материала, имеющие меньшую, чем граничная, плотность для данного воздушного потока, будут «захватываться» им и транспортироваться в продуктовый бункер, частицы, имеющие большую плотность, останутся на конвейере, и будут транспортироваться им в накопительную емкость для «хвостов» сепарации.

Сепарация продукта в воздушной среде проходит на основании объединенной характеристики частиц плотность/размер/форма. Результат (качество) сепарации зависит от соотношения указанных факторов. Зафиксировав один из параметров, можно провести разделение по другим параметрам. Т.к. конечной целью работы является разделение продукта по плотности, однозначно связанной с его составом, необходимо минимизировать влияние на процесс сепарации параметров размер/форма. Эта задача достигается разделением всей пробы материала на машинные классы крупности.

Весь исходный материал был рассеян на вибрационном грохоте по машинным классам крупности 0-3, 3-6, 6-13, 13-25, 25-50, 50-100 и +100 мм. Уголь крупностью более 50 мм дробился при помощи шнекозубчатой дробилки ДШЗ 500.03-50-2х11.5.

После дробления уголь был рассеян по машинным классам от 0 до 50 мм. После чего классы, полученные после дробления, были

объединены с исходными классами аналогичной крупности, с определением гранулометрического состава рабочей пробы угля.

Разделение продуктов обогащения по плотности зависит от плотности частиц, формирующих слой, которая определяется скоростью газовой фазы, проходящей через псевдосжиженный слой.

Сухая сепарация позволяет получить продукты обогащения: концентрат и хвосты за одну стадию обогащения, перечистка и контрольная операция не требуются.

Научные результаты

Фракционный состав перерабатываемого угля плавно изменяет качество и выход продуктов обогащения.

При необходимости получения промпродукта может быть использован сепаратор с 2-мя зонами сепарации. Возможен процесс с выделением продуктов различной плотности. Производительность одного сепаратора составляет от 100 кг/ч до 100 т/ч. Максимальная производительность одной технологической линии может составлять 300 т/ч и более. Затраты электроэнергии на процесс сепарации составляют 0.5-1.0 кВт на тонну перерабатываемого угля. Полные затраты на обогащение, включая процессы углеподготовки, сепарации, транспортировки и складирования, составляют 1,2-1,7 кВт на тонну перерабатываемого угля.

В зависимости от текущих требований к зольности концентрата, и его выход может изменяться в пределах фракционного состава углей.

Исходное сырьё – рядовой уголь крупностью до 300 мм, подается в приемный бункер питателя, с рабочим объемом 25 м³. Питатель пластинчатого типа. Подача угля осуществляется одним погрузчиком с объемом ковша 9 или 12 м³. Для удаления негабаритов из процесса переработки бункер питателя оснащён подъёмной колосниковой решёткой шириной 300 мм.

С питателя уголь поступает на конвейер, оснащенный металлоуловителем и конвейерными весами. Дробление рядового угля крупностью 50-300 мм до номинальной крупности 0-50 мм осуществляется в одну стадию на шнекозубчатой дробилке типа ДШЗ-500.18-50-132.60.

Использование дробилок данного типа позволяет избежать переизмельчения и получить максимальный выход класса 13-50 мм. Класс крупности 0-50 на инерционных грохотах ГИС-62 сортируется на отсеив 0-3 мм и машинные классы: 3-6, 6-13, 13-25 и 25-50 мм, в две стадии. Далее машинные классы 3-6, 6-13, 13-25 и 25-50 мм поступают на четыре пневматических сепаратора «Сепайр». Каждый сепаратор предназначен

для обогащения продукта определённого класса крупности. Сепараторы однозональные, с получением только двух продуктов обогащения: концентрата и хвостов.

По показателям эффективности данная технология существенно превышает эффективность альтернативных сухих методов. Например, по данным исследований ассо-

циации «Coaltech» (ЮАР) показатель ЕРМ (погрешность разделения) для технологии «Сепайр» близок к 0,1, в то время как сухие отсадочные машины и рентгенорадиометрические сепараторы имеют ЕРМ 0,25-0,3 [6-7].

В таблицах 1-5 представлены результаты пневматической сепарации по разным клас-

Таблица 1 – Результаты пневмосепарации по классу 25–50 мм

Продукт №	Масса, кг	$Y_{\text{частн}}$, %	$Y_{\text{общ}}$, %	A^d , %	Q_i^r , ккал/кг	Q_s^{daf} , ккал/кг	V^{daf} , %	S_t^d , %	W_t^r , %
1-конц-т	72,2	74,65	21,58	8,58	5735	7241	39,1	0,9	9,5
2-пром.пр.	3,8	3,93	1,14	40,81	3605	6766	42,3	2,5	5,7
3-хвосты	19,8	20,47	5,92	87,84	-	-	83,0	0,5	0,9
просыпь	0,92	0,95	0,28	48,61	3102	6675	43,9	0,8	5,1
Итого	96,72	100	28,91	26,45	4053	6928	40,7	1,1	7,0

Таблица 2 – Результаты пневмосепарации по классу 13-25 мм

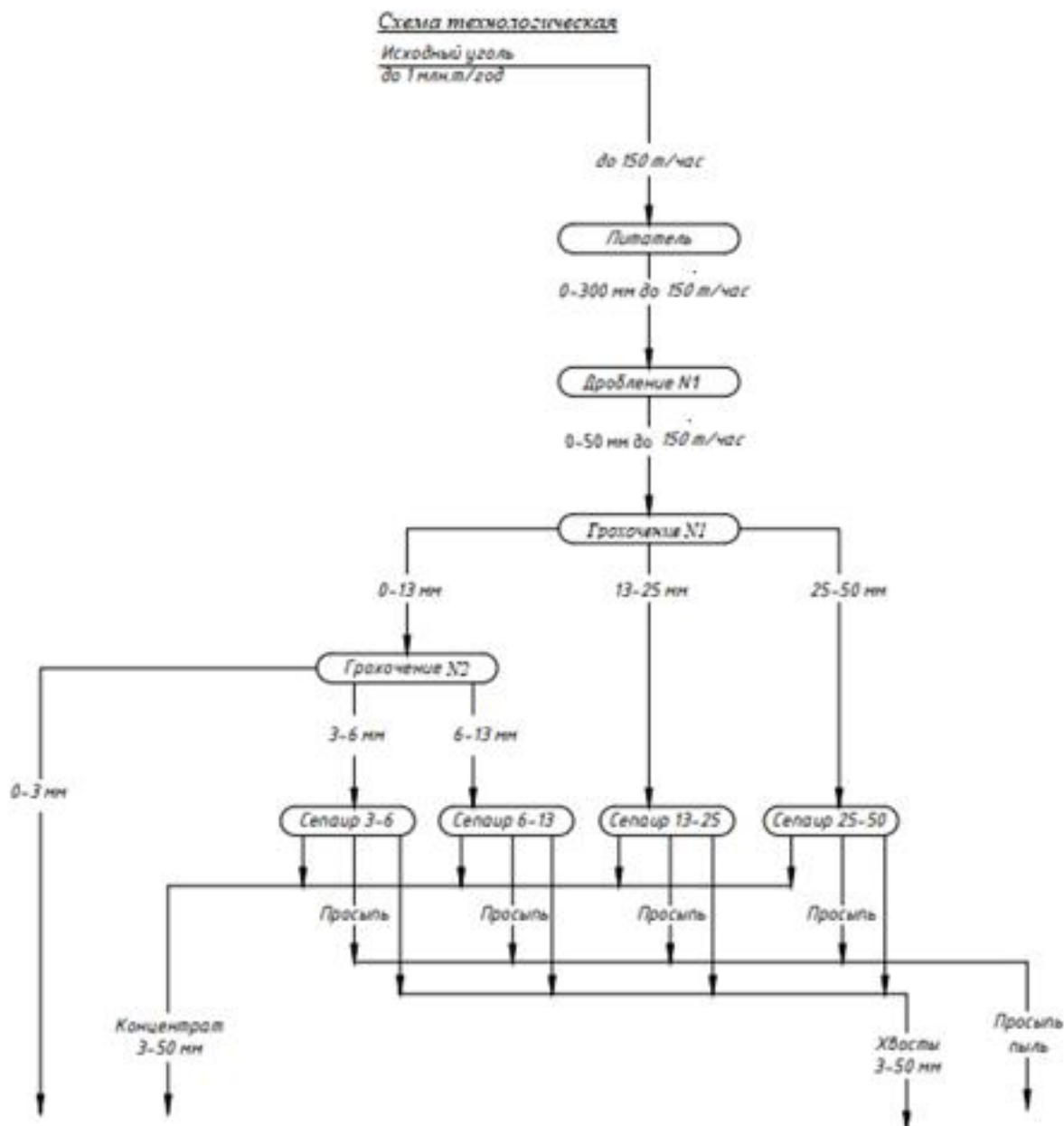
Продукт №	Масса, кг	$Y_{\text{частн}}$, %	$Y_{\text{общ}}$, %	A^d , %	Q_i^r , ккал/кг	Q_s^{daf} , ккал/кг	V^{daf} , %	S_t^d , %	W_t^r , %
1-конц-т	43,8	84,23	17,26	8,49	5734	7165	38,2	0,8	8,6
2-пром.пр.	1,8	3,46	0,71	33,34	4162	6923	39,0	3,2	5,6
3-хвосты	5,6	10,77	2,21	84,8	-	-	68,9	3,0	0,9
просыпь	0,8	1,54	0,32	44,24	3437	6817	41,6	1,3	5,2
Итого	52	100	20,49	18,12	3102	7007	39,8	1,1	7,4

Таблица 3 – Результаты пневмосепарации по классу 6-13 мм

Продукт №	Масса, кг	$Y_{\text{частн}}$, %	$Y_{\text{общ}}$, %	A^d , %	Q_i^r , ккал/кг	Q_s^{daf} , ккал/кг	V^{daf} , %	S_t^d , %	W_t^r , %
1-конц-т	49,7	84,75	13,56	9,52	5670	7222	38,9	0,7	9,3
2-пром.пр.	2,2	3,75	0,60	34,2	4056	6876	39,8	2,8	5,7
3-хвосты	6	10,23	1,64	78,6	-	-	59,3	4,5	1,6
просыпь	0,74	1,26	0,20	44,74	3415	6856	42,6	1,2	5,5
Итого	58,64	100	16,00	17,96	4863	7093	39,4	1,6	10,0

Таблица 4 – Результаты пневмосепарации по классу 3-6 мм

Продукт №	Масса, кг	$Y_{\text{частн}}$, %	$Y_{\text{общ}}$, %	A^d , %	Q_i^r , ккал/кг	Q_s^{daf} , ккал/кг	V^{daf} , %	S_t^d , %	W_t^r , %
1-конц-т	68,9	86,64	9,52	10,07	5564	7131	39,3	0,7	9,3
2-пром.пр.	4,2	5,28	0,58	31,53	4189	6895	39,8	1,8	7,0
3-хвосты	5,5	6,92	0,76	78,08	-	-	58,7	8,7	1,4
просыпь	0,92	1,16	0,13	50,02	3083	6799	42,3	1,1	4,9
Итого	79,52	100	10,99	16,37	5009	7102	39,5	1,7	8,5



Принципиальная схема обогащения углей

сам крупности.

В ходе обогащения во всех классах крупности наблюдается характерное отличие в качестве получаемых продуктов, т.е. чистые низкосольные концентраты, промпродукты с более высоким содержанием золы и хвосты, состоящие только из вмещающих пород.

В таблице 5 представлен общий качественно-количественный баланс обогащения.

Согласно рассчитанному балансу, в результате обогащения были получены следующие товарные продукты:

- угольный концентрат, зольность которого снизилась на 12,67 % по отношению к исходной горной массе, выход которого со-

ставил 61,92 %;

- пром.продукт с зольностью 35,97 % и выходом 3,03 %;

- хвосты с зольностью 85,06 % и выходом 10,52 %;

- сумма образовавшейся просыпи с необогащенной угольной мелочью, общая зольность 24,70 % при выходе 24,53 %.

Полученный промпродукт состоит из среднесольных и высокосольных углей, выход которых незначителен. Для выделения таких углей в качестве самостоятельного продукта в промышленных условиях, технологическую линию по обогащению необходимо комплектовать сепараторами с двумя зонами сепарации, что приведёт к увели-

Таблица 5 – Баланс обогащения класса 0-50 мм

Продукт	$Y_{\text{бщ}}, \%$	$A^d, \%$	$Q_i^d, \text{ккал/кг}$	$Q_s^{\text{daf}}, \text{ккал/кг}$	$V^{\text{daf}}, \%$	$S_d^d, \%$	$W_i^d, \%$
Концентрат общий	61,92	8,99	5694	7199	38,84	0,79	9,17
в т.ч.							
Конц. 25-50	21,58	8,58	5735	7241	39,11	0,87	9,47
Конц. 13-25	17,26	8,49	5734	7165	38,22	0,77	8,62
Конц. 6-13	13,56	9,52	5670	7222	38,9	0,72	9,31
Конц. 3-6	9,52	10,07	5564	7131	39,27	0,73	9,27
Промпродукт общий	3,03	35,97	3937	7199	38,84	0,79	5,92
в т.ч.							
пр.пр. 25-50	1,14	40,81	3605	6766	42,26	2,53	5,66
пр.пр. 13-25	0,71	33,34	4162	6923	38,97	3,19	5,64
пр.пр. 6-13	0,60	34,2	4056	6876	39,76	2,8	5,65
пр.пр. 3-6	0,58	31,53	4189	6895	39,78	1,81	7,03
Хвосты общие	10,52	85,06	н/д	н/д	74,56	2,24	1,02
в т.ч.							
хвосты 25-50	5,92	87,84	н/д	н/д	82,95	0,49	0,87
хвосты 13-25	2,21	84,8	н/д	н/д	68,87	3,03	0,92
хвосты 6-13	1,64	78,6	н/д	н/д	59,28	4,52	1,56
хвосты 3-6	0,76	78,08	н/д	н/д	58,66	8,73	1,35
Просыпь общая	0,92	46,46	3283	6781	42,59	1,08	5,21
в т.ч.							
Прос. 25-50	0,28	48,61	3102	6675	43,85	0,77	5,1
Прос. 13-25	0,32	44,24	3437	6817	41,64	1,32	5,24
Прос. 6-13	0,20	44,74	3415	6856	42,55	1,15	5,53
Прос. 3-6	0,13	50,02	3083	6799	42,27	1,08	4,87
Класс 0-3 мм	23,61	23,85	4652	6972	41,02	1,02	8,21
Всего	100	21,66	4234	7000	40,24	1,23	8,0

чению капитальных затрат. В случае, если линия комплектуется однозональными сепараторами «Сепайр», то на выходе получаем только два продукта: концентрат и хвосты. В этом случае угли с более высоким показателем зольности могут распределяться между концентратом и хвостами частично или полностью в ту или иную сторону, путём регулирования границы разделения по плотности. Если этот уголь распределяется в концентрат, то общий выход его при этом возрастает на 3%, но и зольность при этом увеличивается с 9 до 10,2 %. Если же распределить эти угли в хвосты, то зольность концентрата останется неизменной, а зольность хвостов также останется в пределах отвалных значений и не приведёт к риску возгорания хвостохранилища.

По показателям эффективности данная технология существенно превышает эффективность альтернативных сухих методов. Например, по данным исследований ассоциации «Coaltech» (ЮАР) показатель EPM

(погрешность разделения) для технологии «Сепайр» близок к 0,1, в то время как сухие отсадочные машины и рентгенорадиометрические сепараторы имеют EPM 0,25-0,3.

Выводы

Таким образом, в технологии «СЕПАИР®» и одноименном комплексе пневматической сепарации выполнен совершенно новый принцип, не реализованный ранее в машинах пневматической сепарации угля: принцип разделения продуктов по плотности в восходящем потоке воздуха, создаваемом в сопле, расположенном над перфорированным полотном. Высокая эффективность процесса обеспечивается тем, что во время сепарации происходит не разделение всей горной массы единым потоком, а обеспечивается двухэтапное разделение по заданной границе плотности для каждого отдельно взятого зерна перерабатываемого материала, и это при высокой производительности процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавриненко А.А., Гюльберг Г.Ю., Лусинян Ю.Г. Разработка технологической схемы пневматического обогащения высокозольного угля марки "Д" // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №3. С. 199-209. DOI:10.25018/02361493-2019-03-0-199-209.
2. Степаненко А.И. «СЕПАИР». Технология и аппараты пневмосепарации руд и нерудных материалов: – Новосибирск: Гормашэкспорт, 2018. – 40 с.
3. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Анализ и прогнозы развития добычи потребления угля в ведущих угледобывающих странах мира в период 2000-2035 гг. // Горный журнал. – 2018 – №3. – 4-9 с.
4. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Мировые тенденции развития угольной отрасли // Горная промышленность – 2019. – №2. – С. 6-12.
5. Арынов А.А. Направления инновационных решений по повышению качества угля в рыночных условиях // [https:// articlekz.com/article/5993](https://articlekz.com/article/5993) 06.08.2021.
6. Дрижд Н.А., Даулетжанов А.Е., Даулетжанова Ж.Т. и др. Исследование способов снижения зольности угля // Горный журнал Казахстана. – 2021. – №7. – 44-49 с.
7. Исследование процессов гравитационного обогащения рядового угля АО Шубарколь Премиум: Отчет / АО «Гормашэкспорт». – Астана, 2018. – 9 с.

«SEPAIR» қолданылуымен пневматикалық бөлу әдісімен көмір байыту

¹**ОМАРОВА Надежда Какибаевна**, т.ғ.к., доцент, nazim48@mail.ru,

^{1*}**ШЕРЕМБАЕВА Рымкеш Тюлюхановна**, т.ғ.к., доцент м.а., sherembayeva@mail.ru,

¹**АМИРХАН Алма Амирханқызы**, аға оқытушы, argyn-alma@mail.ru,

¹**АЛЬШЕРОВ Ерлан Бабаханович**, магистрант, oos_plus@mail.ru,

²**СЕЛЕЗНЕВА Оксана Олеговна**, ғылым бөлімінің меңгерушісі, oos_plus@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

²"ҒЗО "Көмір" ЖШС, Н. Назарбаев даңғылы, 74 А, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қырғыз Республикасының Қара-Кече көмір кен орнын гравитациялық байыту процесінде 0,5-100 мм қатарлы көмір сынамасы пайдаланылды. Зерттеу нәтижесінде көмірді пневматикалық бөлудің негізгі технологиялық көрсеткіштері анықталды. Байыту өнімдеріне химиялық талдау "Көмір" ғылыми-зерттеу орталығы" ЖШС зертханасында орындалды. Көмірдің құрғақ пневматикалық бөлінуі өнімдерді тығыздығы бойынша псевдо-сұйытылған қабатта басқарылатын қабат айналымымен бөлу процесімен қамтамасыз етіледі, бұл талаптарға сәйкес байыту өнімдерін алуға мүмкіндік береді. Көмірді құрғақ пневматикалық сепарациямен байыту кезінде күлі бар көмір концентраты алынды, ол 61,92% шығымы бар бастапқы қатардағы көмірге қатысты 12,67%-ға төмендеді. Өнеркәсіптік өнімнің күлділігі 3,03% шығысымен 35,97 %, ал күлділігі 85,06% және шығымдылығы 10,52 %, байытылмаған көмір ұсақ-түйегімен пайда болған төгілу сомасы, 24,53% шыққан кезде жалпы күлділігі 24,70% құрады.

Кілт сөздер: көмірді байыту, пневматикалық құрғақ бөлу, көмірді гравитациялық байыту, концентрат, қалдықтар, аралық өнім, күл, ылғалдылық.

Coal Enrichment by Pneumatic Separation Method Using «SEPAIR»

¹**OMAROVA Nadezhda**, Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, nazim48@mail.ru,

^{1*}**SHEREMBAYEVA Rimkesh**, Cand. of Tech. Sc., Acting Associate Professor,

sherembayeva@mail.ru,

¹**AMIRHAN Alma**, Senior Lecturer, argyn-alma@mail.ru,

¹**ALSHEROV Yerlan**, Master's Student, oos plus@mail.ru,

²**SELEZHNEVA Oksana**, Head of Science Department, oos plus@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56, Karaganda, Kazakhstan,

²LLP "SRC "Coal", N. Nazarbayev Avenue, 74 A, Karagandy, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. In the process of gravity enrichment of the Kara-Kech coal deposit of the Kyrgyz Republic, a sample of ordinary coal with a grain size of 0.5-100 mm was used. The studies were carried out to determine the parameters of the pneumatic separation process. As a result of the research, the main technological parameters of pneumatic coal separation have been determined. The chemical analysis of the enrichment products was performed in the laboratory of Scientific Research Center "Ugol" LLP. Dry pneumatic separation of coals is provided by the process of separating products by density in a pseudo-liquefied layer with controlled circulation of the layer, which makes it possible to obtain enrichment products that meet the requirements. When coal was enriched by dry pneumatic separation, coal concentrate was obtained, with an ash content that decreased by 12.67% relative to the initial ordinary coal with a yield of 61.92%. The ash content of the industrial product was 35.97% with a yield of 3.03%, and waste with an ash content of 85.06% and a yield of 10.52%, the amount of the resulting spillage with unenriched coal fines, the total ash content 24.70% with an output of 24.53%.

Keywords: coal enrichment, pneumatic dry separation, gravity coal enrichment, concentrate, waste, intermediate product, ash content, humidity.

REFERENCES

1. A.A. Lavrinenko, G.Yu. Gyul'berg, Yu.G. Lusinyan. Razrabotka tekhnologicheskoy skhemy pnevmaticheskogo obogashcheniya vysokozol'nogo uglya marki "D". Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2019, №3. – Pp. 199-209. DOI:10.25018/02361493-2019-03-0-199-209.
2. A.I. Stepanenko «SEPAIR». Tekhnologiya i apparaty pnevmoseparacii rud i nerudnyh materialov: – Novosibirsk: Gormasheksport, 2018. – 40 p.
3. L.S. Plakitkina, Yu.A. Plakitkin, K.I. D'yachenko. Analiz i prognozy razvitiya dobychi potrebleniya uglya v vedushchih ugledobyvayushchih stranah mira v period 2000-2035 g.g. // Gornyj zhurnal. – 2018. – №3. – Pp. 4-9.
4. L.S. Plakitkina, Yu.A. Plakitkin, K.I. D'yachenko. Mirovye tendencii razvitiya ugol'noj otrasli// Gornaya promyshlennost'. – 2019. – №2. – Pp. 6-12.
5. A.A. Arynov. Napravleniya innovacionnyh reshenij po povysheniyu kachestva uglya v rynochnyh usloviyah // [https:// articlekz.com/article/5993](https://articlekz.com/article/5993) 06.08.2021.
6. N.A. Drizhd, A.E. Dauletzhanov, Zh.T. Dauletzhanova i dr. Issledovanie sposobov snizheniya zol'nosti uglya // Gornyj zhurnal Kazahstana. – 2021. – №7. – Pp. 44-49.
7. Issledovanie processov gravitacionnogo obogashcheniya ryadovogo uglya AO Shchubarkol' Premium: Otchet / AO «Gormasheksport». – Astana. – 2018. – 9 p.