

В.А. СПИНЕЕВ, О.А. МОРОЗОВ, канд. техн. наук

(Україна, Луганськ, ГП "УКРНИИУГЛЕБОГАЩЕНИЕ"),

А.В. ФЕДОРОВ

(Україна, Добропольє, ПАО "ДТЭК Добропольская ЦОФ")

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПРОДУКТОВ ФЛОТАЦИИ ПАО "ДТЭК "ДОБРОПОЛЬСКАЯ ЦОФ"

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одной из наиболее сложных проблем в обогащении углей до настоящего времени является обезвоживание тонких шламовых продуктов.

Постепенное увеличение содержания шламов (до 40%) [1] в рядовых углях, добываемых шахтами в Украине, при увеличении средней зольности рядового угля к 2013 году до 39,4% [2], приводит к усложнению технологии и удорожанию процессов его обогащения и обезвоживания. При этом требования к качеству товарной угольной продукции по влажности не уменьшаются, что вынуждает технологов уделять вопросам обезвоживания шламовых продуктов особое внимание. Это приводит к необходимости увеличения фронта флотации и фильтрации на фабрике либо к поиску эффективных методов интенсификации процессов обогащения и обезвоживания шламов.

Анализ исследований и публикаций. Как известно, эффективность работы фильтровального оборудования определяется производительностью фильтров, влажностью осадка и содержанием твердого в фильтрате [3]. На эффективность фильтрования влияет множество факторов, главными из которых являются: подготовка питания фильтров необходимого гранулометрического состава и содержания твердого, а также обеспечение работы основного и вспомогательного обезвоживающего оборудования в соответствии с требованиями паспортных параметров.

Сырьевую базу фабрики ПАО "ДТЭК "Добропольская ЦОФ" в основном составляют павлоградские угли марки Г с высоким содержанием тонких классов в рядовом угле (15,7-19,4%) и зольностью от 36 до 50% [4].

Так как питанием флотации на фабрике является часть слива высокозольных шламов гидроциклонов ГЦ-1000, слив гидроциклонов ГЦ-350 и фильтрат вакуум-фильтров, то содержание тонких классов в питании флотации, флотоконцентрате и флотоотходах составляет соответственно 69,29, 63,95 и 81,76% [4]. При этом, согласно [5, 6], флотацию газовых углей с высоким содержанием тонких глинистых частиц рекомендуется проводить в разбавленных пульпах с содержанием твердого не более 100-120 г/л. В результате флотоконцентрат образуется также разбавленным. Обезвоживание такого флотоконцентрата с высоким содержанием тонкодисперсных частиц и невысоким содержанием твердого осуществляется в дисковых вакуум-фильтрах "Украина-80" недостаточно эффективно. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых [7, 8], установлено, что для повышения эффективности процесса фильтрования необходимо, прежде всего, повысить крупность питания фильтров путем добавления в него соответствующих присадок, либо применять дополнительно флокулянты,

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

обеспечивающие образование флокул в питании фильтров, увеличивающие пористость, толщину осадка на дисках фильтров и повышающие эффективность отдувки. Однако, использование того или иного метода для улучшения эффективности обезвоживания конкретных шламовых продуктов должно быть выбрано на основании проведения исследований с учетом их характеристики и водно-шламовой схемы фабрики.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование способов интенсификации процессов сгущения и обезвоживания флотоконцентрата ПАО "ДТЭК "Добропольская ЦОФ" путем изменения его гранулометрического состава и применения различных флокулянтов.

Изложение материала и результаты. Для выбора методов интенсификации процессов фильтрования флотоконцентрата были выполнены ситовые анализы питания и продуктов флотации, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Класс крупности, мм	Питание флотации		Флотоконцентрат		Отходы флотации	
	Выход γ , %	Зольность A^d , %	Выход γ , %	Зольность A^d , %	Выход γ , %	Зольность A^d , %
> 1,0	0,03	7,2	0,01	6,9	0,04	3,7
1,0-0,5	0,83	3,3	0,55	4,0	0,68	4,9
0,5-0,25	6,02	3,4	6,03	3,2	3,24	6,9
0,25-0,2	4,15	4,8	3,19	4,3	1,65	9,9
0,2-0,125	7,45	9,9	10,23	5,9	5,18	20,9
0,125-0,063	6,08	17,9	8,83	8,6	3,46	43,1
0,063-0,045	6,16	28,1	7,20	12,5	3,98	51,2
0,045-0	69,29	58,7	63,95	39,7	81,76	78,1
ИТОГО	100,00	44,7	100,0	28,0	100,00	68,9
Содержание твердого, г/л	110		170		90	
Средняя крупность $d_{ср}$, мм	0,076		0,077		0,054	
Степень дисперсности, $мм^{-1}$	0,154		0,146		0,175	

Из таблицы 1 видно, что средневзвешенная крупность частиц твердого каждого из продуктов менее 0,1 мм, а степень дисперсности – более 0,1 $мм^{-1}$, что соответствует эквивалентной крупности менее 45 мкм. Это свидетельствует о высокой дисперсности питания и продуктов флотации, которые по своим характеристикам являются тонкими илистыми продуктами. Флотоконцентрат содержит около 64% тонких илистых частиц крупностью менее 45 мкм и больше 71% частиц крупностью менее 63 мкм (при рекомендуемых значениях 20-40%, [3]). Таким образом, питание дисковых вакуум-фильтров с такими параметрами относится к труднофильтруемому и требует необходимой корректировки.

Для исследования способов интенсификации процесса обезвоживания флотоконцентрата ЦОФ "Добропольская" институтом, совместно с работниками фабрики, были проведены промышленные испытания его фильтрования на дисковом вакуум-фильтре "Украина-80" (поз. 157₂, отм. +17,0 м) с применением крупнозернистой присадки, а также при добавлении флокулянтов, исследован-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

них в лабораторних умовах.

В качестве крупнозернистой присадки к питанию вакуум-фильтров был выбран сгущенный продукт гидроциклонов ГЦ-1000 из условий удобства его подачи при существующей компоновке оборудования. Характеристика данного продукта в период опробования была следующая:

- средневзвешенная крупность частиц 0,325 мм;
- содержание твердого 540-850 г/л;
- зольность 57,7%.

В таблице 2 представлены результаты исследования качества кека, полученного при фильтровании флотоконцентрата:

- без добавления флокулянтов и присадок в питание фильтра;
- с добавлением в качестве присадки сгущенного продукта ГЦ-1000;
- с добавлением сгущенного ГЦ-1000 и флокулянта Vesfloc K 6632.

Таблиця 2

Класс крупности, мм	Характеристики осадка фильтров (кека) при различных условиях					
	без добавления присадки и флокулянта		с добавлением присадки сгущенного ГЦ-1000 без добавления флокулянта		с добавлением присадки сгущенного ГЦ-1000 и с добавлением флокулянта	
	Выход γ , %	Зольность A^d , %	Выход γ , %	Зольность A^d , %	Выход γ , %	Зольность A^d , %
	Проба №30		Проба №28		Проба №29	
>3	0	0	0,02	27,6	0,08	34,9
3,0-1,0	1,15	7,6	2,23	27,6	5,79	34,9
1,0-0,5	4,42	10,6	8,94	39,6	12,77	38,6
0,5-0,25	9,18	16,9	20,65	40,2	20,87	45,0
0,25-0,125	11,95	21,1	15,33	49,9	17,11	48,9
0,125-0,063	11,69	21,5	14,67	59,4	12,01	52,0
0,063-0,045	6,70	20,0	2,93	46,8	3,41	52,3
0,045-0	54,91	37,6	35,23	48,3	27,95	50,7
ИТОГО	100,00	29,1	100,00	47,2	100,00	46,9
Общая зола, %		29,5		47,9		47,5
Влага, %	31,3		29,0		28,9	
Средняя крупность $d_{ср}$, мм	0,140		0,242		0,345	
Степень дисперсности a , мм ⁻¹	0,128		0,089		0,074	

Из данных таблицы 2 видно, что добавление сгущенного продукта гидроциклонов ГЦ-1000 и флокулянта Vesfloc K 6632 позволяет почти вдвое увеличить средневзвешенную крупность частиц кека и снизить его степень дисперсности, в результате чего снижается влага кека.

При проведении испытаний по подбору флокулянтов для обезвоживания флотоконцентрата на ЦОФ "Добропольская" принимали участие представители фирмы "Скиф", которые использовали для приготовления и дозирования флокулянта автоматическую станцию собственного изготовления [9]. Оптимальное количество флокулянта рассчитывалось заранее, однако уточнялось визуально по характеру флокул в переливе ванны фильтра и по массе осадка на дисках. Результаты испытаний показали, что наибольшее увеличение производительности фильтра происходит при добавлении в питание фильтра крупнозернистой присадки (сгущенного продукта гидроциклонов ГЦ-1000):

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

- без добавлення флокулянта – на 1,7 т/ч;
- с добавлення флокулянта Besfloc K 6632 – на 3,1 т/ч.

С учетом различий в расходах флокулянтов, а также результатов лабораторных и промышленных исследований, испытанные флокулянты по увеличению экономической эффективности их применения располагаются в следующем порядке:

Brenntaflor A 3345 → Оптифлок А 150 → Besfloc K 6630 → Besfloc K 6632.

Таким образом, испытания, проведенные с добавлением присадки, показали значительное увеличение производительности фильтра. Зашламовывание ванны вакуум-фильтра крупнозернистой присадкой не наблюдалось. Однако, из-за высокой зольности сгущенного продукта ГЦ-1000, присадка его в питание фильтров значительно увеличивает зольность кека, поэтому применять его в качестве присадки не желательно.

Для присадки в питание фильтров могут быть рекомендованы:

а) сгущенный продукт ГЦ-250 концентрата винтовой сепарации с такими характеристиками:

- зольность 28,8%;
- средневзвешенная крупность 0,526 мм;
- содержание твердого 770 г/л,

б) сгущенный переливов ванн вакуум-фильтров,

в) сгущенный флотоконцентрата.

Для сгущения этих продуктов имеются резервные гидроциклоны ГЦ-350.

Применение данных продуктов в качестве питания или присадки к питанию дисковых вакуум-фильтров позволило бы значительно увеличить содержание твердого в исходном при уменьшении степени дисперсности частиц, что в свою очередь привело бы к повышению эффективности фильтрования и увеличению производительности фильтров.

Однако, в настоящее время сгущенный продукт ГЦ-250 концентрата винтовой сепарации обезвоживается на осадительных центрифугах ОГШ-462Л, а для сгущения флотоконцентрата и переливов ванн вакуум-фильтров необходимо провести модернизацию фильтровального отделения и ввести в действие гидроциклоны ГЦ-350 (ГЦ-250).

Таким образом, результаты проведенных исследований указали на необходимость усовершенствования водно-шламовой схемы на ЦОФ "Добропольская" с целью укрупнения флотоконцентрата. В качестве одного из способов увеличения содержания частиц более 0,063 мм в пенном продукте флотации фабрики может быть изменение диаметра насадки гидроциклонов ГЦ-1000, в результате чего содержание крупнозернистых частиц в сливе ГЦ-1000, а следовательно и в питании флотации увеличится.

Моделирование этого процесса в лабораторных условиях производилось путем приготовления композиций, состоящих из слива и сгущенного продукта ГЦ-1000 при добавлении последнего в количестве 20 и 30% (без частиц класса +1,0 мм). Гранулометрический состав флотоконцентрата, образовавшегося при флотации жидких шламовых продуктов этих композиций, приведен в табл. 3.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Зольність полученного флотоконцентрата равна 21,6 и 22,7% , при этом зольность флотоотходов составила 85,0 и 87,1% соответственно.

Таблиця 3

Крупність, мм	слив ГЦ-1000:сгущений ГЦ-1000 = 80:20		слив ГЦ-1000:сгущений ГЦ-1000 = 70:30	
	Выход, %	Зольність, %	Выход, %	Зольність, %
+1	0,10	5,1	0,06	5,1
1-0,5	3,95		6,32	
0,5-0,25	13,05	10,7	17,35	9,4
0,25-0,2	4,61	18,7	6,01	11,4
0,2-0,125	11,99	18,1	14,03	13,8
0,125-0,063	6,39	14,1	7,64	13,8
0,063-0,045	6,52	12,9	6,51	13,7
0-0,045	53,38	28,5	42,08	21,6
ИТОГО	100,0	21,6	100,0	22,7
Зольність флотоотходов – 85,0%			Зольність флотоотходов – 87,1%	

Исследования фильтруемости флотоконцентрата, полученного при флотации жидких шламовых продуктов приготовленных композиций, с применением флокулянта BESFLOC K6632 (катионактивный) и BESFLOC K4046 (анионактивный) приведены в таблице 4.

Как видно из данных таблиц 3 и 4, содержание частиц тонких классов крупностью 0-0,063 мм в пенном продукте флотации жидких шламовых продуктов представленных композиций составляет 59,9 и 48,6%. Снижение содержания токодисперсных частиц во флотоконцентрате позволило увеличить толщину осадка на фильтре на 0,8 мм по сравнению с исходным флотоконцентратом фабрики, а расчетную производительность – на 1,7 т/ч (до 4 т/ч).

Обработка флотоконцентрата анионактивным флокулянтом BESFLOC K4046 привела к увеличению расчетной производительности фильтра на 1,1-1,4 т/ч, а катионактивным флокулянтом BESFLOC K6632 – на 3,1-3,5 т/ч.

Подбор шламовых продуктов для составления питания флотации оптимального гранулометрического состава с содержанием тонкодисперсных частиц до 35%, а также применение флокулянтов позволяет увеличить толщину осадка на фильтре до 8 мм и повысить расчетную производительность вакуум-фильтра до 14 т/ч [10], что почти соответствует номинальной производительности дисковых вакуум-фильтров "Украина-80".

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 4

№ п/п	Наименование флокулянта	Кек			Фильтрат	Удельная нагрузка, кг/ч*м ²	Расчетная производительность в/ф, т/ч
		Выход, %	Влажность, %	Толщина осадка на фильтре, мм	Содержание твердого, г/л		
Композиция – слив ГЦ-1000:сгущенный ГЦ-1000 = 80:20 (содержание твердого в питании – 200 г/л, удельный расход флокулянта – 100 г/т).							
1	–	60,9	35,2	2,2	29	50,4	4,0
2	BESFLOC K4046	84,1	38,3	2,8	5	64,1	5,1
3	BESFLOC K6632	89,1	33,6	3,9	8	89,3	7,1
Композиция – слив ГЦ-1000:сгущенный ГЦ-1000 = 70:30 (содержание твердого в питании – 200 г/л, удельный расход флокулянта – 100 г/т).							
4	–	64,8	37,8	2,09	9	47,9	3,8
5	BESFLOC K4046	92,9	28,8	2,86	2	65,5	5,2
6	BESFLOC K6632	93,7	35,2	3,98	3	91,1	7,3

Выводы

1. Результаты определения гранулометрического состава продуктов флотации углей, составляющих сырьевую базу ПАО "ДТЭК "Добропольская ЦОФ", показали, что флотоконцентрат содержит больше 71% тонкодисперсных частиц крупностью менее 63 мкм, в том числе около 64% илистых частиц крупностью менее 45 мкм, при рекомендуемых 20-40%, в связи с чем является труднофильтруемым.

2. Проведены промышленные испытания фильтрации флотоконцентрата с применением крупнозернистой присадки и при обработке питания дисковых вакуум-фильтров флокулянтами. Установлена возможность увеличения производительности вакуум-фильтров на 1,7-3,1 т/ч.

3. Показано, что наиболее рациональным способом увеличения крупности флотоконцентрата является сгущение его в гидроциклонах малого диаметра и изменение грансостава исходных продуктов, составляющих питание флотации. Применение флокулянтов Brenntaflor A 3345, Оптифлок А 150 и Besfloc К 6630 (К 6632) для обработки питания вакуум-фильтров обеспечивает образование флокул, увеличивающих пористость, толщину осадка на дисках фильтров и повышающих эффективность отдувки.

Список литературы

1. Филиппенко Ю.Н., Морозова Л.А., Федосеева С.О. Анализ гранулометрического состава добываемых углей // Уголь Украины. – 2013. – №3. – С. 12-14.
2. Довідник показників якості, обсягу видобутку вугілля та випуску продуктів збагачення у 2012 р. – Луганськ: ДП "Укрндівуглезбагачення", Технічний комітет України x стан-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

дартизації ТК-92, 2013. – 60 с.

3. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.

4. Полулях А.Д. Технологический регламент центральной обогатительной фабрики ЦОФ "Добропольская": ТР 10.1-00185755-10:2008. – Луганск, 2008. – 73 с.

5. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1981. – 304 с.

6. С.О. Федосеева, Л.А. Морозова и др. Разработка нового реагентного режима флотации углей ПАО "ДТЭК Добропольская ЦОФ" // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 50(91). – С. 122-128.

7. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Самойлов А.И., Папушин Ю.Л. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. – Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2002. – 266 с.

8. Борц М.А., Петренко М.В. О вакуумном фильтровании угольного флотационного концентрата // Уголь. – 1982. – № 3. – С. 54-59.

9. Морозов О.А., Федосеева С.О., Загний С.И., Нечитайло А.Ф. Методы интенсификации процесса обезвоживания флотоконцентрата с применением флокулянтов // Уголь Украины. – 2013. – №3. – С. 7-11.

10. Исследовать, разработать и испытать методы интенсификации работы флото-фильтровального отделения ПАО "ДТЭК Добропольская ЦОФ": Отчет НИР. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение", 2012. – 61 с.

© Спинеєв В.А., Морозов О.А., Федоров А.В., 2013

*Надійшла до редколегії 24.04.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*