

Гравітаційна сепарація

2. Разработана технология обогащения первичного шлама ЦОФ "Червоноградская", адаптированная к существующей технологической схеме фабрики и, включающая дополнительные операции обогащения сгущенных продуктов гидроциклонов ГЦ-1000 и ГЦ-710 на винтовых сепараторах, со сгущением концентрата МВС в гидроциклонах ГЦ-630 и обезвоживанием на ленточном вакуум-фильтре ЛСХ-30 или высокочастотных грохотах ГІсМх-8×1.

3. Применение технологии обогащения первичного шлама позволяет снизить зольность осадка ленточного вакуум-фильтра с 23,5 до 22,5% и вывести из шламовой схемы дополнительно 25,6 т/ч (или 3,71% выхода) шламового продукта. При этом зольность продуктов, сбрасываемых в сгуститель отходов, увеличивается на 3,38 с 60,2 до 63,5%, при зольности отходов МВС более 72%.

4. Разработан проект привязки блока винтовых сепараторов для обогащения первичного шлама на ЦОФ "Червоноградская".

Список литературы

1. Курченко И.П. Дополнительные ресурсы угольной промышленности // Уголь Украины. – 2006. – № 4. – С. 40–41.

2. Папушин Ю.Л., Рябушенко Е.В. Энергетическое использование техногенных угольных месторождений Донбасса // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 12–16.

3. Технологические регламенты обогатительной фабрики (ЦОФ) "Червоноградская": ТР 10.1-00185755-002:2007. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогашення", 2007. – 250 с.

© Полулях А.Д., Зозуля О.А., Полулях Д.А., Перерва А.Ю., 2010

*Надійшла до редколегії 10.02.2010 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.755

В.И. КРИВОЩЕКОВ, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

РЕЗУЛЬТАТЫ АСИММЕТРИЧНОГО ГИДРОЦИКЛОНИРОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На ряде углеобогатительных фабрик в крупнозернистых шламах и фильтрате (дисковых фильтров), часто направляемых в циркуляцию, питания флотации и фугате содержится до 40...60% зерен крупностью более 0,15(0,25) мм и зольностью 5...9%. Содержание крупных (более 0,5 мм) зерен в питании флотации составляет 10...15%. Эти данные свидетельствуют о необходимости совершенствования водно-шламовых схем с целью полного улавливания и обогащения шламов, осветления оборотной воды.

При осуществлении эффективной классификации (сепарации) из крупнозернистых шламов и питания флотации можно извлечь крупные зерна, приемлемые по зольности для присадки к готовым продуктам и теряемые в отходах, и тонкие шламы крупностью менее 0,04 мм зольностью более 70%, снижающие эффективность флотационного процесса и повышающие расход реагентов.

Анализ исследований и публикаций. Применяемые для классификации зернистых материалов цилиндроконические гидроциклоны имеют не высокую эффективность (34...48%). Ее повышение достигается в прямоточном многопродуктовом цилиндрическом гидроциклоне. Его применение позволяет получать при одностадийной сепарации требуемое число кондиционных продуктов разделения с заданными гранулометрическими и фракционными характеристиками.

Известен прямоточный многопродуктовый гидроциклон с радиальной разгрузкой продуктов разделения (МГЦ) для классификации и обогащения полезных ископаемых, содержащий цилиндрической формы корпус с питающим патрубком, крышкой, днищем и разгрузочное устройство – щелевой желоб, установленного разгрузочной щелью вдоль радиуса вращения потока пульпы. Внутри по оси корпуса закреплен элемент в виде усеченного конуса вершиной вниз [1].

Этот гидроциклон имеет недостаточную эффективность разделения по крупности для получения кондиционных продуктов сепарации, обусловленную взаимным их засорением по границе раздела, приосевой вихревой зоной потока пульпы и нестабильностью режима разгрузки продуктов сепарации.

Указанные недостатки устранены в многопродуктовом прямоточном гидроциклоне с центрально-кольцевой разгрузкой продуктов разделения (ПГЦ) [2–5], который содержит: цилиндрический корпус, питающий патрубок, полусферическую крышку, днище. Внутри корпуса расположен самоцентрирующий полный элемент из эластичного материала. В днище выполнены кольцевые щели и центральное отверстие, между которыми концентрично установлены обечайки. К днищу крепится приемно-распределительная камера.

При работе гидроциклона в нем образуется вращательно поступательное движение пульпы к разгрузочному устройству. Во вращающемся объеме пульпы происходит подъем и самоцентрирование эластичного элемента. Он принимает форму свободной поверхности вращающейся пульпы и имеет окружную скорость, примерно равную средней тангенциальной составляющей скорости, соприкасающейся с его поверхностью приосевого слоя потока.

Самоцентрирование элемента обеспечивается высокой устойчивостью, создаваемой смещением вниз центра тяжести балансиром-стабилизатором, опорой скольжения в вершине профилированной крышки и центрально-кольцевой разгрузкой продуктов разделения. Стабилизаторы винтовой формы плавникового типа усиливают гидродинамическое центрирующее воздействие на эластичный элемент.

В гидроциклоне осуществляется распределение минеральных зерен по крупности и плотности в радиальном и осевом направлениях. В пристенном слое пульпы у внутренней цилиндрической поверхности концентрируются бо-

Гравітаційна сепарація

лее крупные зерна с большей концентрацией, а в приосевом – более мелкие с меньшей концентрацией твердой фазы. Пульпа с расклассифицированным материалом разгрузочным регулируемым устройством распределяется на кондиционные продукты разделения.

Основные концентрические проточные зоны (приосевая и пристенная), разделенные прямоточным ядром, являются гидродинамической особенностью прямоточного гидроциклона. Они обусловлены преимущественно осевой составляющей скорости потока пульпы, а ядро – тангенциальной [3]. Этими скоростями определяются транспортирующий и сепарационный эффекты, причем последний интенсифицируется уменьшением радиальной скорости потока. Рациональное техническое решение принято из условия приемлемых гидродинамических и конструктивных параметров гидроциклона с соответствующим соотношением зон ввода исходного, его сепарации и вывода продуктов разделения.

Высокая производительность гидроциклона за счет снижения его гидравлического сопротивления обеспечивается демпфированием прямоточного безциркуляционного потока двухфазной среды самоцентрирующимся эластичным элементом и плавным соединением поступающего и основного потоков пульпы в гидроциклоне разделяющей, демпфирующей вставкой в загрузочном кольцевом канале [4].

Повышение эффективности процесса классификации путем перечистки пристенного слоя достигается оснащением спиральными направляющими балансира-стабилизатора самоцентрирующегося элемента и винтовым тором внутренней поверхности гидроциклона в направлении, обратном вращению потока пульпы [5], а также центрально-кольцевой разгрузкой продуктов разделения посредством индивидуально-стабилизированных потоков без возмущающих воздействий.

Особенностью перечистки является достижение ее эффекта по всему цилиндрическому периметру предварительно “взрыхленного” винтовым тором пристенного слоя пульпы и плавность ввода его части в интенсивную зону центробежного поля сил, в которую стабилизаторами отводятся относительно крупные минеральные зерна из приосевого слоя потока. Перечистка сформированных слоев пульпы (пристенного и приосевого) наряду с классификацией обеспечивает и сепарационное свойство гидроциклона. Так, при классификации угольного шлама с концентрацией твердого в исходной пульпе 190 г/л и зольностью 24,7% получены продукты разделения: слив зольностью – 27,1%, промпродукт – 23,5%, сгущенный – 19,7% (усредненные данные промышленных испытаний) [6].

Постановка задачи. Цель данной работы – рассмотрение особенностей и результатов прямоточного гидроциклонирования зернистых материалов в асимметричном потоке пульпы.

Изложение материала и результаты. Многопродуктовый прямоточный гидроциклон (ПГЦ) имеет сложную конструкцию эластичного элемента, что снижает эксплуатационную надежность гидроциклона и мобильность элемента в вертикальной плоскости, которая при постоянной массе утяжелителя в балан-

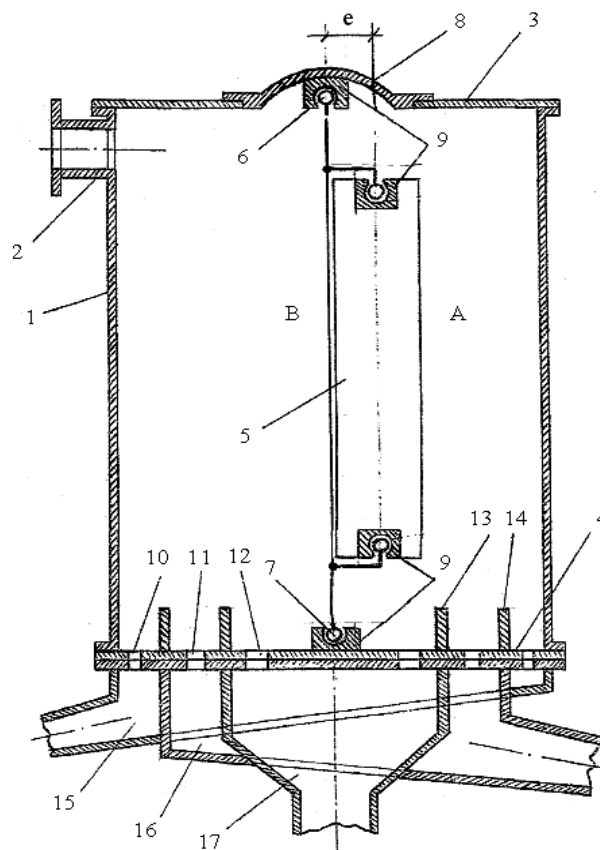
сире-стабілізаторе и переменных гидродинамических параметрах исходной пульпы негативно влияет на эффективность сепарации по крупности и плотности минеральных частиц.

Новое техническое решение [7] основано на совершенствовании цилиндрических прямооточных гидроциклонов [1–5] посредством формирования периодически изменяющегося центробежного поля сил, стабилизации гидродинамических параметров потока пульпы и его структуры, что повышает эффективность сепарации по крупности и плотности минеральных частиц.

Технический результат достигается тем, что центральный элемент в прямооточном гидроциклоне (ПГЦА) выполнен цилиндрической формы из неупругого материала и закреплен эксцентрично с возможностью перемещения по орбитальной траектории в горизонтальной плоскости [7].

На рисунке изображен общий вид (поперечный разрез) такого гидроциклона с одним из вариантов эксцентричного закрепления центрального цилиндрического элемента.

Устройство гидроциклона. Гидроциклон имеет цилиндрической формы корпус 1 с питающим патрубком 2, крышкой 3 и дном 4. Внутри корпуса эксцентрично установлен центральный цилиндрический элемент 5 из неупругого материала с шаровой верхней 6 и нижней 7 опорами скольжения, которые связаны соответственно с профилированным люком 8 и дном 4 корпуса 1 гидроциклона. Вследствие использования резиновых втулок 9 шаровые опоры скольжения не требуют смазки и работают продолжительное время без износа.



Принципиальная схема прямооточного гидроциклона

Гравітаційна сепарація

Профилированный люк 8 целесообразно выполнять полусферическим и обращенным выпуклостью наружу корпуса 1.

В днище 4 выполнены кольцевые щели 10, 11 и 12, между которыми концентрично установлены перегородки (обечайки) 13 и 14. К днищу прикреплены соосаженные со щелями 10–12 соответственно приемники 15–17 для вывода продуктов разделения.

Принцип работы гидроциклона. Исходная пульпа через тангенциально установленный питающий патрубок 2 поступает внутрь корпуса 1 гидроциклона и вращается в нем, приводя в орбитальное вращение центральный элемент 5.

Ввиду относительно малого эксцентриситета (e – менее 1,5 радиуса центрального элемента) и совместного с пульпой вращения центральный цилиндрический элемент 5 не требует специальной балансировки.

Эксцентрическое закрепление и орбитальное вращение центрального цилиндрического элемента 5 формирует периодически изменяющееся силовое поле рабочего объема сепарации, в котором дисперсная фаза за один оборот многократно переходит с большего на меньший и, наоборот, с меньшего на больший радиус вращения относительно элемента 5. При переходе с большего радиуса на меньший плотность разделения увеличивается, а при переходе участков с меньшего радиуса на больший – уменьшается, что способствует изменению структуры потока и перераспределению минеральных частиц в нем в соответствии их разделительному признаку.

Под действием центробежного поля сил и вследствие различия скоростей движения разделяемых минеральных частиц относительно жидкой среды и центрального цилиндрического элемента 5 происходит перегруппировка зерен по крупности так, что их крупность уменьшается в направлении к оси гидроциклона, а из приосевой зоны потока пульпы отводятся крупные частицы в радиальном направлении к стенке гидроциклона.

При этом поток пульпы имеет две одновременно повторяющихся зоны А и В, различающихся функционально.

В зоне А за счет ее сужения происходит уплотнение дисперсной фазы и увеличение скорости вращения пульпы, что способствует направленному движению крупных зерен к стенке гидроциклона. Последние поступают в зону транспортирования пристенного слоя пульпы и через кольцевую щель 10 разгружаются в приемную камеру 15 для вывода крупнозернистого продукта.

В зоне В – напротив, за счет ее расширения снижаются скорость вращения пульпы (в частности, радиальная составляющая скорости) и радиальное сопротивление среды, происходит разрыхление твердой фазы пульпы с увеличением расстояния между частицами, что и способствует направленному движению к оси гидроциклона тонкодисперсной фракции сепарируемого материала.

Сформировавшийся преимущественно в приосевой зоне В тонкодисперсный сливной продукт через кольцевую щель 12 поступает в приемную камеру 17 и выводится из гидроциклона.

Промежуточный продукт формируется в виде концентрического буферного слоя между приосевым тонкодисперсным и пристенным крупнозернистым

слоями пульпы.

В зоне разгрузки пульпа распределяется обечайками 13 и 14, а также кольцевыми щелями 10–12 на три продукта разделения, отличающихся качественно-количественной характеристикой.

На базе ПГЦ-1000 были выполнены конструктивные изменения в соответствии технического решения [7] и проведены его испытания с положительным результатом (табл. 1 и 2).

Технологические показатели работы прямооточного гидроциклона ПГЦА-1000 [7] свидетельствуют о высокой его стабильной эффективности гидросепарации угольного шлама при различном (от 150 до 290 кг/м³) содержании твердого в исходном продукте.

Таблица 1

Гранулометрический состав продуктов классификации угольного шлама в гидроциклонах

Класс, мм	Выход класса, %											
	Прямоточный гидроциклон ПГЦА-1000							Цилиндрикоконический гидроциклон ГЦ-900 (при трех работающих)				
	Исходный продукт	Сгущенный		Промпродукт		Слив		Исходный продукт	Сгущенный		Слив	
		к продукту	к исходному	к продукту	к исходному	к продукту	к исходному		к продукту	к исходному	к продукту	к исходному
>1,0	4,19	16,70	3,56	2,60	0,63	-	-	3,47	6,10	2,83	1,20	0,64
0,5-1,0	21,14	55,80	11,89	37,50	9,04	0,40	0,21	27,79	47,30	21,95	10,90	5,84
0,3-0,5	10,47	13,20	2,81	29,50	7,11	1,00	0,55	18,03	24,50	11,37	12,40	6,66
0,2-0,3	16,77	6,40	1,36	15,70	3,78	21,30	11,63	13,19	12,60	5,85	13,70	7,34
0,1-0,2	7,66	3,40	0,72	6,80	1,64	9,70	5,30	5,82	3,20	1,48	8,10	4,34
<0,1	39,77	4,50	0,96	7,90	1,90	67,60	36,91	31,70	6,30	2,92	53,70	28,78
<0,5	74,67	27,50	5,85	59,90	14,43	99,60	54,39	68,74	46,60	21,62	87,90	47,12
<0,2	47,43	7,90	1,68	14,70	3,54	77,30	42,21	37,52	9,50	4,40	61,80	33,12
Итого	100,0	100,0	21,30	100,0	24,10	100,0	54,60	100,0	100,0	46,40	100,0	53,60

Таблица 2

Технологические показатели классификации угольного шлама в гидроциклонах

Показатель	ПГЦА-1000	ГЦ-900 (при трех работающих)
1	2	3
Выход продукта классификации, %:		
сгущенного	21,30	46,40
промпродукта	24,10	-
слива	54,60	53,60
Производительность:		
по пульпе, м ³ /ч		
исходного	1144,22	942,26
сгущенного	100,02	163,02
промпродукта	136,97	-
слива	907,23	779,24
по твердому, т/ч		
исходного	216,00	210,80
сгущенного	46,01	97,81
промпродукта	52,05	-
слива	117,94	112,99
Содержание твердого, кг/м ³		
в исходном	188,77	223,72
в сгущенном	460,00	600,00
в промпродукте	380,00	-
в сливе	130,00	145,00
Зольность продукта, %		
исходного	24,66	23,37

Продолжение табл. 2

1

2

3

Гравітаційна сепарація

сгущеного	19,70	21,80
промпродукта	23,50	-
слива	27,10	24,90
Крупність граничного зерна розділення, мм:		
сгущений+промпродукт/слив	0,19	-
сгущений/промпродукт+слив	0,68	-
сгущений/слив	-	0,29
Середнє верооятне відхилення, мм:		
сгущений+промпродукт/слив	0,085	-
сгущений/промпродукт+слив	0,345	-
сгущений/слив	-	0,225
Коефіцієнт погрешності розділення:		
сгущений+промпродукт/слив	0,447	-
сгущений/промпродукт+слив	0,507	-
сгущений/слив	-	0,879
Общий ентропийний коефіцієнт ефективності розділення (по класу 0,2-0,3 мм)	0,4476	0,2391

Техническая характеристика ПГЦА-1000:

Диаметр, м	1,0
Высота, м	2,4
Сечение питающего патрубка, м	0,15×0,21
Давление пульпы на входе, кПа	80–98
Производительность, м ³ /ч	1000–1160

Результаты исследований и сравнительные промышленные испытания (табл. 1, 2) прямооточного трехпродуктового гидроциклона диаметром 1000 мм (ПГЦА-1000) и применяемых на углеобогадательных фабриках цилиндрикоконических гидроциклонов диаметром 900 мм (ГЦ-900) показали преимущество первого (втрое по производительности и вдвое по эффективности разделения) и целесообразность его применения для переработки угольных шламов.

При этом результаты переработки угольного шлама в прямооточных гидроциклонах ПГЦ-1000 и ПГЦА-1000 практически одинаковы. Однако для второго гидроциклона характерна повышенная эксплуатационная надежность и стабильная эффективность сепарации по крупности и плотности минеральных частиц за счет объемной пересортировки в асимметричном потоке пульпы.

Технология этой переработки угольного шлама включает три варианта распределения продуктов разделения прямооточного гидроциклона с последующим их обогащением:

1) слив направлять на флотацию, промпродукт – на пенную сепарацию, сгущенный (крупнозернистый) – на отсадку;

2) слив и промпродукт направлять по первому варианту, сгущенный – на обезвоживание и затем в концентрат;

3) слив направлять в оборот, промпродукт – на флотацию, сгущенный – на пенную сепарацию или концентрацию на винтовые сепараторы.

Реализация данной технологии переработки угольного шлама на ЦОФ "Узловская" обеспечила улучшение качества и увеличение выхода концентрата. Например, по первому и второму вариантам зольность флотоконцентрата снизилась на 0,1...0,2%.

Вывод и направление дальнейших исследований:

Применение технического решения [7] повысит эксплуатационную надежность прямооточного гидроциклона, интенсифицирует одностадийную классификацию шлама, а создание периодически изменяющегося силового поля рабочего объема сепарации со стабилизацией гидродинамических параметров асимметричного потока обеспечит высокую технологическую эффективность сепарации минеральных зерен по крупности и плотности с получением кондиционных продуктов разделения для последующей их переработки, например, флотацией и гравитационным методом, что способствует созданию малооперационных водно-шламовых схем и снижению накопления в них шлама.

Дальнейшие исследования автора – установление рациональных гидродинамических и технологических параметров гидроциклонирования зернистых материалов в асимметричном потоке пульпы.

Список литературы

1. А.с. 486789 СССР, ВОЗВ 3/45. Гидроциклон для классификации и обогащения полезных ископаемых [Текст] / **Н.Г. Бедрань, Я.С. Гольдберг, В.И. Кривощек** и др. (СССР). – 2011070 / 22 – 1; заявл. 02.04.74; опубл. 04.02.76, Бюл. №37.
2. А.с. 789160 СССР, ВО4С 3/06. Гидроциклон для классификации и обогащения полезных ископаемых [Текст] / **Н.Г. Бедрань, В.И. Кривощек, П.И. Пилов** и др. (СССР). – 2745743 / 23 – 26; заявл. 26.02.79; опубл. 23.12.80, Бюл. №47.
3. **Кривощек В.И.** Структура потока несжимаемой жидкости в прямооточном гидроциклоне [Текст] / *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1997. – №2. – С. 36-37.
4. А.с.893268 СССР, МКИ В 04 С 3/06. Гидроциклон для классификации и обогащения полезных ископаемых [Текст] / **Н.Г. Бедрань, В.И. Кривощек** (СССР). – № 2906932 / 23-26; заявл. 07.04.80; опубл. 30.12.81, Бюл. №48.
5. А.с.915973 СССР, МКИ В 04 С 5/103 . Гидроциклон для классификации и обогащения полезных ископаемых [Текст] / **Н.Г. Бедрань, В.И. Кривощек, А.П. Гадюков, В.М. Зубов** (СССР). – № 2886078 / 23-26; заявл. 20.02.80; опубл. 30.03.82, Бюл. №12.
6. **Кривощек В.И.** Технологическое преимущество прямооточного гидроциклона [Текст] // *Уголь Украины.* – 2002. – №7. – С. 42 – 44.
7. Патент 46580 (Україна). 7В04С3/06. Гідроциклон для класифікації і збагачення корисних копалин [Текст] / **В.І. Кривощек**. – 2001085984; заявл. 28.08.2001; опубл. 15.02.2005, Бюл. №2.

© Кривощек В.И., 2010

*Надійшла до редколегії 17.02.2010 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*