

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

**Б.Ф. БЕВЗЕНКО**, канд. техн. наук  
(Украина, Донецк, Великоанадольский огнеупорный комбинат)

## **ЦИКЛОННО-СИТОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**

Из анализа технологических показателей работы флотации на углеобогатительных фабриках следует, что основные потери горючей массы с флотоотходами представляют собой зернистую часть крупностью  $+0,2$  мм [1, 2]. Следовательно, контроль крупности питания флотационных машин является необходимой технологической подготовительной операцией. Применяемые для этой операции гидроциклоны имеют большую производительность, однако при низкой плотности твердого материала не обеспечивают кондиционность по крупности сливного продукта [3]. Известно, что наибольшая точность разделения по одному продукту зернистых материалов по крупности имеет место при ситовой классификации, подситный продукт которой не содержит частицы крупнее отверстий применяемых сит. Однако грохоты с ситовой поверхностью при разбавленных пульпах ( $\leq 100$  г/л) имеют низкую удельную производительность.

Из вышеизложенного следует целесообразность попытки сочетания в одном аппарате достоинств гидроциклона и грохота с ситовой поверхностью [2, 4, 5].

С целью обоснования параметров циклонно-ситового классификатора выполнено исследование закрученного восходящего потока суспензии, набегающего на ситовую поверхность. Расчетная схема движения потока суспензии приведена на рис. 1.

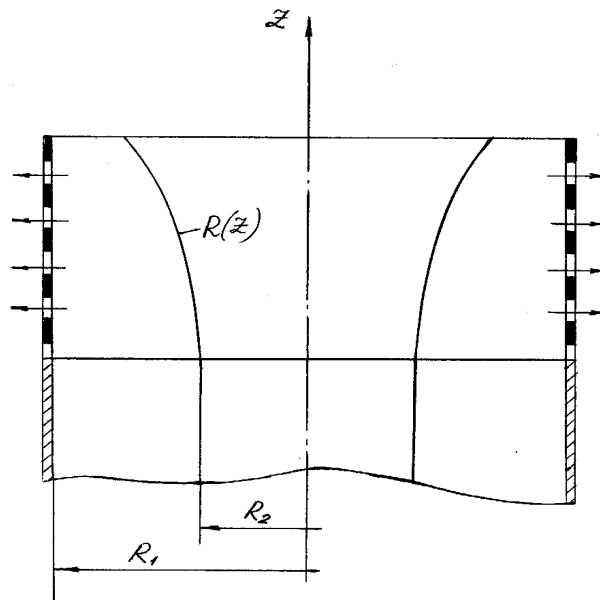


Рис. 1. Расчетная схема восходящего закрученного сливного потока

## Підготовчі процеси збагачення

Будем полагать, что параметры истечения суспензии через щели сита будут определяться параметрами ячеек сита и давлением вращающегося кольцевого потока убывающей толщины. Для колосниковых тонкоячеистых сит с ячейками трапецеидального сечения скорость истечения (в условиях ползучего течения) зависит от перепада давлений на сите в соответствии с [6]

$$\tilde{V}_r = \frac{\gamma \cdot B}{\nu \cdot \rho} \cdot \Delta \tilde{p} \quad (1)$$

где  $\gamma$  – живое сечение сита,  $B$  – геометрический параметр сита, рассчитываемый по формуле

$$B = \frac{1 - \cos \alpha}{2} \cdot \frac{l_1 \cdot l_2^2}{l_2^2 - l_1^2} \quad (2)$$

Обозначения в этой формуле поясняются схемой на рис. 2.

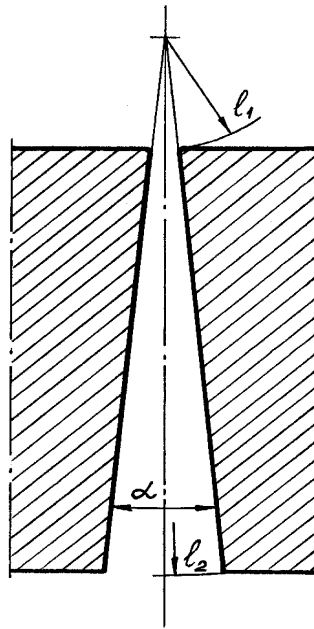


Рис. 2. Щель винтового сита

Кроме того, на внутренней, свободной стороне поверхности потока выполняется условие

$$\frac{d\tilde{R}(Z)}{d\tilde{Z}} = \frac{\tilde{V}_r}{\tilde{V}_z} \quad (3)$$

где  $\tilde{R}(Z)$  – изменяющийся вдоль осевой координаты радиус свободной поверхности потока.

## Підготовчі процеси збагачення

Рассматривая стационарное движение жидкости в восходящем кольцевом вращающемся потоке, ограниченном непроницаемой цилиндрической поверхностью радиусом  $R_1$  при  $z < 0$  и проницаемой (ситовой) поверхностью радиусом  $R_1$  при  $z \geq 0$ , и используя в цилиндрической системе координат  $\tilde{r}, \tilde{\varphi}, \tilde{z}$  уравнения стационарного движения Навье-Стокса и уравнения неразрывности для закрученного потока, имеющего осевую составляющую, получено уравнение свободной поверхности восходящего вращательно-поступательного потока в закрытом канале с перфорированной внутренней стенкой:

$$\frac{R^3 dR}{\frac{R^4}{F_r} - DR^2 + G} = \frac{dZ}{1 - \frac{Z}{F_r}}, \quad (4)$$

где  $D = r_1^2 / F_r - \frac{1}{2} a^2 \gamma Re_1 r_2^2 / r_1$ ;  $G = \frac{1}{2} a^2 \gamma Re_1 r_2^2 r_1$ ;  $F_r = \frac{U^2}{g \tilde{R}_2}$ ;  $a = \omega R_2 / U$ ;  $r_1$ ;  $r_2$  –

отношение  $R_1 / R_2$  при различных условиях;  $u$  – осевая составляющая скорости;  $\gamma$  – живое сечение сита;  $Re_1 = BU / \nu$  – безразмерный параметр, имеющий смысл числа Рейнольдса, построенного по осевой составляющей скорости и геометрическому параметру сита  $B$ ;  $U$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости;  $\omega$  – угловая скорость;  $R_2$  – внутренний радиус потока, соответствующий радиусу воздушного столба в сливном патрубке;  $R_1$  – радиус цилиндрического сита.

Интегрирование уравнения (1) дает следующее его решение

$$\ln \left( 1 - \frac{Z}{F_r} \right) = \frac{1}{4} \ln \frac{1 - DF_r + GF_r}{R^4 - DF_r R^2 + GF_r} - \frac{D}{2\delta} \left( \arctg \frac{2R^2 - DF_r}{\delta F_r} - \arctg \frac{2 - DF_r}{\delta F_r} \right), \quad (5)$$

где  $\delta = (4G / F_r - D^2)^{1/2}$ .

При интегрировании уравнения (4) учитывалось, что для фактических параметров потока, геометрических параметров сливного патрубка и отверстий сита разность  $D^2 - 4G / F_r < 0$ .

Полученное решение (5) связывает изменяющийся радиус свободной внутренней поверхности потока  $R(Z)$  с осевой координатой  $Z$  и позволяет определить конструктивные параметры внутренней ситовой поверхности.

На основе установленных закономерностей ГП "Украиниуглеобогащение" разработана конструкция трехпродуктового циклонно-ситового классификатора ЦСК-630 для подготовки по крупности питания флотационных машин, реализующего в себе достоинства гидроциклона (высокая производительность) и ситовой поверхности (высокая эффективность классификации).

Схема циклонно-ситового классификатора ЦСК-630 приведены на рис. 3, общий вид – на рис. 4, общий вид рабочей поверхности – на рис. 5.

## Підготовчі процеси збагачення

Циклонно-ситовий класификатор складається з циліндроконічного корпусу 1 з тангенціальним питаючим патрубком 2, сливного стакану 3, сливної камери 4 со сливним патрубком 5, промпродуктового патрубку 6 з циліндричним ситом 7. С зовнішньої сторони сита 7 і соосно з ним встановлений регулювальний стакан 8. Стакан 8 може переміщатися вздовж сита 7 по направляючим шпилькам 9, змінюючи, таким чином, активну площу просеиваючої поверхності сита і, тим самим, об'ємну продуктивність класификатора по розгружаемому підситному продукту. Величина активної площі просеиваючої поверхності сита може змінюватися в межах від 0 до max. В заданому положенні стакан 8 фіксується на направляючих шпильках 9 гайками 10. Відходи видаляються з класификатора через піскову насадку 11.

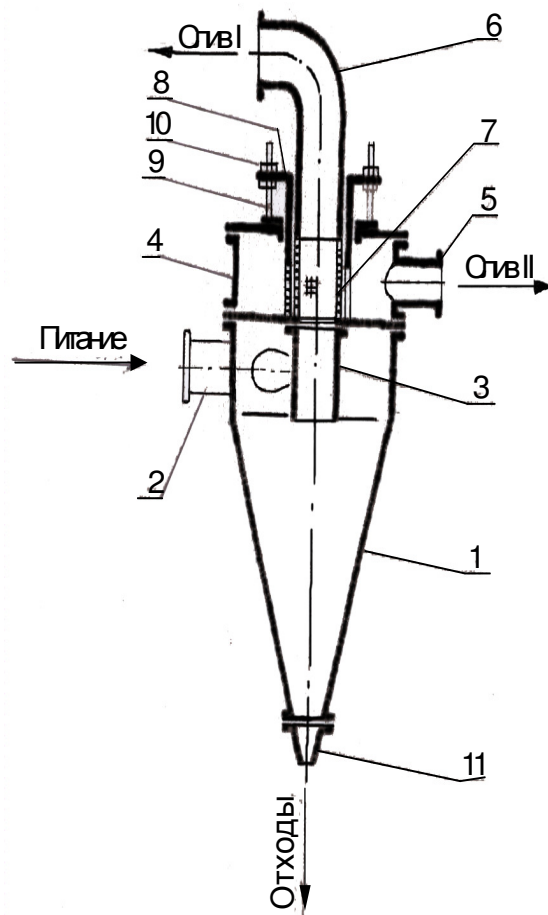


Рис. 3. Схема циклонно-ситового класификатора ЦСК-630

*Циклонно-ситовий класификатор працює наступним чином*

Исходная суспензия под давлением через тангенциальный питающий патрубок подается в цилиндрическую часть корпуса. Под действием центробежных сил более крупные и более тяжелые частицы отбрасываются к стенкам корпуса и перемещаются вдоль винтовой линии по его конической части до песковой насадки, через которую они выводятся из классификатора.

**Збагачення корисних копалин, 2010. – Вип. 41(82) – 42(83)**

## Підготовчі процеси збагачення



Рис. 4. Общий вид циклонно-ситового классификатора ЦСК-630

### Техническая характеристика ЦСК-630

Диаметр корпуса внутренний, мм (без футеровки)	690
Диаметр сливного стакана, мм (МПК)	200
Высота сливного стакана, мм	340
Внутренний диаметр сита, мм	222
Высота сита (полностью открытого), мм	220
Ширина щели сита, мм (сменные сита)	0,5; 1,0; 2,0; 4,0
Размер питающего патрубка, мм	236×236
Размер питающего патрубка на входе в корпус, мм	140×236
Диаметр сливного патрубка, мм	200
Диаметр промпродуктового патрубка, мм	200
Диаметр песковых насадок, мм (в комплектации классификатора)	120; 160
Угол конусности конической части, град.	20
Ход стакана, регулирующего активную площадь сита, мм	0-220
Высота, мм, шах	5050
Ширина (по кромкам опорных лап), мм	950
Ширина (полная), мм	955
Ширина по питающему и разгрузочному патрубкам, мм	915
Масса (без учета сменных сит), кг	580



Рис. 5. Шпальтовые цилиндрические сита с щелью размером 4; 2; 1; 0,5 мм

Мелкие и легкие частицы перемещаются к оси цилиндрической части корпуса классификатора и восходящим вихревым потоком через сливной стакан поднимаются вверх, где они попадают на сито, которое установлено в камере

## Підготовчі процеси збагачення

слива. Основная масса частиц, которые меньше отверстий сита, попадает вместе с суспензией в камеру слива и через патрубок слива подситного продукта выводятся из классификатора и направляются на флотацию.

Частицы, размеры которых больше отверстий сита и остатки мелких частиц по внутренней поверхности сита вращающимся потоком суспензии выводятся в промпродуктовую камеру и направляются с помощью сливного патрубка надситного продукта в емкость исходного питания классификатора.

Экспериментальный образец классификатора ЦСК-630 изготовлен экспериментальной базой ГП "Укрнииуглеобогащение", а его промышленные испытания проведены на ЦОФ "Пролетарская".

Экспериментальный образец классификатора ЦСК-630 установлен на отм.+37,0 м, параллельно действующему циклону ГЦ-630 на операции подготовки по крупности питания флотации. Подача питания на ЦСК-630 осуществлялась путем перекрытия питания гидроциклона ГЦ-630. Сгущенный продукт ЦСК-630 поступает совместно со сгущенным продуктом ГЦ-1000 на обезвоживание на неподвижные сита "Каскад", подситный продукт – в АКП-1600 и далее на флотацию, сливной (надситный) продукт – возвращается в пирамидальные отстойники.

Результаты работы классификатора при размере щели шпальтового сита 0,5 мм, давлении на входе 0,29 МПа и коэффициента использования площади сита  $S$  приведены в табл. 1 (где  $\gamma$  и  $A^d$  – выход и зольность продукта, %;  $Q$  – нагрузка по твердому, т/ч;  $C$  – концентрация твердого в пульпе, г/л;  $P$  – нагрузка по пульпе, м<sup>3</sup>/ч). Из таблицы 1 следует, что применение циклонно-ситового классификатора позволяет уменьшить содержание частиц крупностью более 0,3 мм в питании флотации на 2,4% (с 2,6 до 0,2%) при размере отверстий сита 0,5 мм и тем самым снизить их содержание в отходах на 0,7% (с 1,1 до 0,4%). Применение циклонно-ситового классификатора особенно актуально для фабрик обогащающих угли, плотность концентратных частиц которых может достигать плотности оборотной воды, что предопределяет их попадание в сливные продукты гидроциклонов.

Таблица 1

Результаты работы ЦСК-630 при  $d_{щ} = 0,5$  мм и  $P_1 = 0,29$  МПа

Класс, мм	Исходный		Сгущенный		Подситный		Слив	
	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S = 0\%$								
+1,0	0,5	2,6	1,3	2,6	–	–	–	–
0,5-1,0	4,3	2,3	10,1	2,4	–	–	0,2	1,9
0,25-0,5	12,9	2,8	37,2	2,8	–	–	2,0	2,1
0,125-0,25	14,8	4,1	25,8	6,5	–	–	12,1	2,4
0,063-0,125	15,1	8,7	12,4	22,8	–	–	18,2	3,2
-0,063	52,4	28,8	13,2	33,7	–	–	67,5	27,6
Итого	100,0	17,5	100,0	10,3	–	–	100,0	19,6
$Q$ , т/ч	20,0		8,0		–		12,0	
$C$ , г/л	111		565		–		73	
$P$ , м <sup>3</sup> /ч	180		14,2		–		165	

## Підготовчі процеси збагачення

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>S</i> = 50%								
+1,0	0,5	2,6	1,3	2,6	–	–	–	–
0,5-1,0	4,3	2,3	10,1	2,4	–	–	0,3	1,9
0,25-0,5	12,9	2,8	37,2	2,8	1,4	2,6	2,2	2,0
0,125-0,25	14,8	4,1	25,8	6,5	10,2	3,6	12,4	2,1
0,063-0,125	15,1	8,7	12,4	22,8	17,0	4,7	18,5	2,8
-0,063	52,4	28,8	13,2	33,7	71,4	28,8	66,6	27,2
Итого	100,0	17,5	100,0	10,3	100,0	21,8	100,0	18,9
<i>Q</i> , т/ч	20,0		8,1		2,9		9,0	
<i>C</i> , г/л	111		565		79		70	
<i>P</i> , м <sup>3</sup> /ч	180		14,4		36,7		128,9	
<i>S</i> = 75%								
+1,0	0,6	2,6	1,6	2,6	–	–	–	–
0,5-1,0	2,7	2,3	7,3	2,4	–	–	0,5	1,6
0,25-0,5	10,7	3,0	31,7	3,2	3,2	3,4	3,2	2,2
0,125-0,25	15,1	5,0	25,8	7,1	13,0	2,4	10,4	1,9
0,063-0,125	18,7	7,8	15,9	26,9	19,8	3,3	17,0	2,8
-0,063	52,2	28,6	17,7	35,9	64,0	27,6	68,9	26,8
Итого	100,0	17,6	100,0	13,7	100,0	18,7	100,0	19,3
<i>Q</i> , т/ч	19,2		7,2		6,0		6,0	
<i>C</i> , г/л	107		393		87		65	
<i>P</i> , м <sup>3</sup> /ч	180		18,4		69,3		92,3	
<i>S</i> = 100%								
+1,0	0,6	2,8	1,4	2,8	–	–	–	–
0,5-1,0	3,1	3,1	7,3	3,2	–	–	0,9	1,2
0,25-0,5	12,6	3,5	31,7	3,7	3,2	4,2	5,4	2,1
0,125-0,25	14,8	5,6	30,4	7,1	12,0	2,9	3,9	1,9
0,063-0,125	16,9	6,0	13,5	24,6	22,9	4,7	16,0	2,8
-0,063	52,0	28,5	15,7	34,6	61,9	27,0	73,8	26,6
Итого	100,0	17,2	100,0	12,4	100,0	18,2	100,0	20,3
<i>Q</i> , т/ч	18,0		6,0		9,0		3,0	
<i>C</i> , г/л	108		418		75		66	
<i>P</i> , м <sup>3</sup> /ч	180		14,3		120,2		45,5	

### Выводы

Создание циклонно-ситового классификатора позволяет соединить в одном аппарате достоинства гидроциклонов (высокая производительность) и грохотов (высокая эффективность классификации). Применение циклонно-ситового классификатора позволяет осуществить ситовый контроль по крупности питания флотации, что способствует снижению потерь концентратных фракций с флотоотходами.

### Список литературы

1. **Васько И.П.** Флотация павлоградских углей // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 7(78). – С. 111-115.
2. **Бевзенко Б.Ф.** О необходимости ситовой классификации питания флотации на углеобогажительных фабриках // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 69-73.

## **Підготовчі процеси збагачення**

3. Исследование классификации угольных шламов в гидроциклонах / **И.П. Курченко, Б.Ф. Бевзенко, А.Д. Нищеряков, и др.** – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2006. – 216 с.
4. **Полулях А.Д., Сансиев В.Г., Резниченко Г.Л.** Гидроциклон с внутренним ситом // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 14(55). – С. 3-12.
5. Патент на корисну модель № 20938 "Циклонно-ситовий класифікатор" / **І.П. Курченко, Б.Ф. Бевзенко, О.Д. Полулях та інші.** – Бюл. № 2 від 15.02.2007 р
6. **Сансиев В.Г.** Течение жидкости через щель колосникового сита тонкого грохочения // Обогащение полезных ископаемых: Наук.-техн. сб. – 2004. – Вып. 20(61). – С. 88-94.

© Полулях А.Д., Бевзенко Б.Ф., 2010

*Надійшла до редколегії 10.04.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*