

**А.Д. ПОЛУЛЯХ**, д-р техн. наук  
(Україна, Дніпропетровськ, ГП "Укрніиуглеобогашення"),

**О.В. ПОЛУЛЯХ**  
(Україна, Дніпропетровськ, Національний горний університет)

## **О ВЛАЖНОСТИ ОСАДКА ИЛОНАКОПИТЕЛЕЙ**

Жидкие отходы углеобогашения, направляемые в илонакопитель для складирования, после осаждения частиц представляют собой осадок с пористой структурой, заполненной водой.

Важнейшим показателем осадка действующего илонакопителя является его влажность, позволяющая расчетным путем прогнозировать оставшийся срок эксплуатации илонакопителя и количество возвращаемой на фабрику осветленной технической воды. При этом удельная нагрузка по питанию на илонакопитель в зависимости от гранулометрического состава жидких отходов должна находиться в пределах  $0,001-0,0025 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Известно [1], что во влажных шламах углеобогашительных фабрик различают внутреннюю (конституционную), гигроскопическую, капиллярную и свободную влагу.

Внутренняя влага связана химически с веществом угля и не может быть удалена средствами, используемыми на фабриках.

Гигроскопическая влага удерживается в угле адсорбционными силами. Ее содержание в шламах различных углей составляет: в бурых до 14%, длиннопламенных 8-10%, в коксующихся 2-4%. Гигроскопическую влагу можно удалить термической сушкой.

Капиллярная влага удерживается в капиллярах силами капиллярного давления, образуя с частицами шлама мениски. Чем меньше размер частиц шлама, тем меньше промежутки между ними и тем выше капиллярное давление, равное

$$p = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \text{ н/м}^2, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе вода – воздух, равное  $0,073 \text{ н/м}$ ;  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $r$  – радиус капилляра, м.

С увеличением значения  $\theta$ , т.е. когда материал плохо смачивается водой, величина  $\cos \theta$  и капиллярное давление уменьшаются, в результате чего создаются хорошие условия для успешного обезвоживания шлама механическим способом.

Свободная влага, механически захваченная углем, заполняет поры. Она может удаляться под действием собственного веса, т.е. дренированием.

В практике углеобогашения обычно различают два вида влаги: внешнюю и внутреннюю. Под внешней понимается вся влага в шламе или в другом продук-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

те за исключением химически связанной и гигроскопической, т.е. внутренней.

Количество влаги, которое нельзя удалить механическими средствами, зависит от максимальной молекулярной влагоемкости обезвоживаемого шлама.

По мнению А.Ф. Лебедева максимальная молекулярная влагоемкость является определенным количеством связанной влаги, независящим от внешней среды. Эта величина связана тесной корреляционной зависимостью с величиной поверхности пористой системы, а также с рядом других ее физических и физико-химических свойств, поэтому может служить эталонным показателем для характеристики свойств пористого тела [2].

Авторами [3] предложена формула расчета максимальной молекулярной влагоемкости, которая определяется на основе гранулометрического параметра  $P_{\bar{a}}$  шлама

$$W_{i \hat{A}} = \frac{100}{1 + \left( \frac{P_{\bar{a}}^{0,14} - 0,46}{0,46} \right) \frac{\delta_{\delta}}{\delta_{\alpha}}}, \%, \quad (2)$$

где  $P_{\bar{a}} = \frac{d_{\hat{e}}}{d_i}$  – гранулометрический параметр шлама [4];  $d_{\hat{e}}$  – средневзвешенный диаметр крупных частиц шлама с выходом 68,5% (от 31,5% до 100%), мм;  $d_i$  – средневзвешенный диаметр мелких частиц шлама с выходом 31,5% (от 0% до 31,5%), мм;  $\delta_{\delta}$ ,  $\delta_{\alpha}$  – плотность, соответственно, твердой и жидкой фаз суспензии, кг/м<sup>3</sup>.

Практика обезвоживания показала, что основное влияние на  $W_{i \hat{A}}^*$  оказывает содержание класса <0,074 мм. Полученные результаты позволили определить приведенную максимальную молекулярную влагоемкость шлама в виде

$$W_{i \hat{A}}^* = \frac{W_{i \hat{A} > 0,074} \cdot \gamma_{> 0,074} + 1,7 \cdot W_{i \hat{A} < 0,074} \cdot \gamma_{< 0,074}}{100}, \%, \quad (3)$$

где  $W_{i \hat{A} > 0,074}$  и  $W_{i \hat{A} < 0,074}$  – максимальная молекулярная влагоемкость классов >0,074 мм и <0,074 мм в исходном продукте, %;  $\gamma_{> 0,074}$  и  $\gamma_{< 0,074}$  – выход классов >0,074 мм и <0,074 мм в исходном продукте, %.

Таким образом, для уплотненных осадков остаточная их влажность  $W_{i \bar{n}.\delta}$  может быть принятый равной  $W_{i \hat{A}}^*$ , т.е.

$$W_{i \bar{n}.\delta} \approx W_{i \hat{A}}^*. \quad (4)$$

Пример расчета  $W_{i \hat{A}}$ ,  $W_{i \hat{A}}^*$  и  $W_{i \bar{n}.\delta}$  для жидких отходов марки "Г" приведен в табл. 1.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Действительная плотность твердого  $\delta_o$  в формуле (2) рассчитывается по формуле [5].

$$\delta_o = 100 \left[ \left( 100 - 1,1A^d \right) / \delta_o + 1,1A^d / 2700 \right]^{-1}, \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

где  $\delta_o$  – плотность органической массы, принятая для угля марки "Г" равной 1240 кг/м<sup>3</sup> [5];  $A^d$  – зольность продукта, %.

Приведенные расчеты пригодны для уплотненных осадков. Для неуплотненных осадков необходимо, в первую очередь, учитывать порозность осадков, а не зольность и связанные с ней свойства.

Для определения порозности уплотненных осадков Клешниним А.А. предложено уравнение [6]

$$m_y = \frac{0,46}{P_{\bar{a}}^{0,14}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Таблица 1

Гранулометрический состав отходов и расчетные параметры

Класс, мм	$d_{cp}$	Исходный шлам 0-1 мм		Класс >0,074 мм			Класс <0,074 мм		
		Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Выход приведенный к 100%	Зольность, %	Выход, %	Выход приведенный к 100%	Зольность, %
0,5-1	0,750	8,1	12,1	8,1	31,8	12,1	-	-	-
0,25-0,5	0,375	4,5	6,2	4,5	17,6	6,2	-	-	-
0,16-0,25	0,205	5,1	23,2	5,1	20,0	23,2	-	-	-
0,074-0,16	0,117	7,8	33,6	7,8	30,6	33,6	-	-	-
0,04-0,074	0,057	6,3	58,1	-	-	-	6,3	8,4	58,1
0-0,04	0,02	68,2	80,7	-	-	-	68,2	91,6	80,7
<b>Итого</b>		<b>100,0</b>	<b>63,8</b>	<b>25,5</b>	<b>100,0</b>	<b>19,9</b>	<b>74,5</b>	<b>100,0</b>	<b>78,8</b>
$d_{cp}$ , мм		0,114		0,381			0,023		
$d_{cp0-31,5}$ , мм		0,02		0,12			0,02		
$d_{cp31,5-100}$ , мм		0,158		0,501			0,025		
$A_{0-31,5}^d$ , %		80,7		13,7			80,7		
$A_{31,5-100}^d$ , %		53,4		33,3			77,9		
$P_{\bar{a}}$		7,9		4,175			1,25		
$P_{\bar{a}}^{0,14}$		1,336		1,221			1,032		
$\delta_o$ , кг/м <sup>3</sup>		1996		1406			2336		
$W_{i \dot{A}}$		20,8		30,1			25,6		
$W_{i \dot{A}}^*$		40,1							
$W_{i \dot{\sigma}} = W_{i \dot{A}}^*$		40,1							

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Однако выполненные исследования, результаты которых приведены в табл. 2, показали, что между порозностью уплотненного материала и порозностью свободно насыпного существует существенная разница, учет которой можно осуществить с помощью коэффициента уплотнения  $f_i$ .

Следовательно, порозность уплотненного материала равна

$$m_i = f_i \cdot m_y. \quad (7)$$

Таблица 2

Определение коэффициента  $f_i$  для сухого угля

Уголь, класс, мм	Порозность в свободно насыпном состоянии, %	Порозность после виброуплотнения, %	$f_i$
6-13	52,9	46,1	1,15
2,5-6	51,9	45,1	1,15
1,0-2,5	53,3	44,4	1,20
0,63-1,0	54,7	45,6	1,20
0,25-0,63	55,4	45,9	1,21
0,1-0,25	58,8	48,2	1,22
0,063-0,1	59,2	46,6	1,27
<0,063	63,6	47,5	1,34

Коэффициент  $f_i$  осадка илонакопителя определенного гранулометрического состава равен

$$f_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i f_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i}, \quad (8)$$

где  $\gamma_i$  – выход  $i$ -го класса крупности осадка, %;  $f_i$  – коэффициент уплотнения  $i$ -го класса.

Таблица 3

Результаты исследований полной влагоемкости осадков

Гранулометрический состав материала по классам крупности, %				$d_{cp}$ , мм	$W_{i\ddot{v}}$ , %	$m_i$ , %	$K_W$ , %
0,25-1 мм	0,08-0,25 мм	<0,08 мм	Итого				
72	18	10	100	0,484	42,25	38,5	3,75
62	18	20	100	0,425	38,03	35,1	2,93
48	22	30	100	0,348	35,10	32,0	3,10
36	24	40	100	0,281	36,10	33,8	2,30
24	26	50	100	0,214	38,00	34,9	3,10
15	25	60	100	0,149	39,85	36,8	3,05
5	15	80	100	0,088	43,70	40,0	3,70
Среднее							3,13

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Исходя из утверждения, что влажность осадка илонакопителя определяется порозностью его материала в свободно насыпном сухом состоянии и, исходя из результатов исследований по определению полной влагоемкости осадков, приведенных в табл. 3, для вычисления  $W_{i\bar{n}.i}$  предложена следующая формула

$$W_{i\bar{n}.i} = f_i \frac{46}{P_{\bar{a}}^{0,14}} + K_W, \% \quad (9)$$

где  $K_W = 3,13\%$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности осадка на  $f_i$ , которое имеет место в соответствии с результатами табл. 4.

Таблица 4

Зависимость коэффициента  $f_i$  от влажности

Влажность, %	Порозность, %					
	Флотоконцентрат			Флотоотходы		
	Свободно насыпной	Уплотненный	$f_{i.e}$	Свободно насыпные	Уплотненные	$f_{i.i}$
Сухой	49,6	37,2	1,33	64,4	55,0	1,17
4,76	63,8	51,8	1,23	67,5	59,5	1,13
12,04	74,5	56,2	1,33	76,5	63,5	1,20
23,07	68,0	37,8	1,80	76,4	48,4	1,58
35,48	62,9	30,7	2,05	64,4	33,0	1,95

Пример расчета влажности неуплотненного осадка осуществлен с использованием гранулометрического состава отходов марки "Г", приведенного в табл. 4 и пересчитанного на классы крупности табл. 2 методом графической интерполяции, а именно:

Класс, мм	0,63-1,0	0,25-0,063	0,1-0,25	0,063-0,1	0-0,063	0-1
Выход, %	5,0	7,6	9,4	7,0	71,0	100

Определение коэффициента уплотнения по формуле (8)

$$f_i = \frac{5,0 \cdot 1,2 + 7,6 \cdot 1,21 + 9,4 \cdot 1,22 + 7,0 \cdot 1,27 + 71,0 \cdot 1,34}{100} = 1,31. \quad (10)$$

Определение влажности неуплотненного осадка по формуле (9)

$$W_{i\bar{n}.i} = 1,31 \cdot \frac{46}{7,9^{0,14}} + 3,13 = 48,2\%. \quad (11)$$

Таким образом, разница во влажности уплотненного и неуплотненного осадка илонакопителя одного гранулометрического состава составляет

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\Delta W_{oc} = W_{i \text{ н.і}} - W_{oc.y} = 48,2 - 40,1 = 8,1\% . \quad (12)$$

Ориентировочным показателем влажности осадков илонакопителей может служить влажность флотоотходов после обезвоживания их дренированием и при заполнении всех пор водой, приведенная в табл. 5 по данным [1].

Таблица 5

Крупность, мм	Концентрата флотации		Отходы флотации	
	при заполнении всех пор водой	при прекращении интенсивного истечения	после окончания капежа	при заполнении всех пор водой
0,45-1	41,5	40,0	38,0	42,9
0,25-0,45	43,1	42,5	41,2	45,6
0,15-0,25	44,2	43,8	42,0	46,1
0,10-0,15	46,4	45,5	43,3	48,2
0,06-0,10	54,2	54,2	46,4	55,5
0,045-0,06	56,3	56,3	47,7	56,9
-0,045	59,0	59,0	48,9	59,7

При наличии гранулометрического состава осадка его влажность рассчитывается как средневзвешенная классов крупности с использованием данных табл. 5.

Влажность шламов, вынимаемых из наружных отстойников грейферным краном для складирования на дренажную площадку, не должна превышать для отходов флотации 45%, для угольных шламов 35%.

При более высокой влажности материал сильно растекается по площадке и в этом случае его нужно обваловывать высушенным материалом или устанавливать ограничительные борта.

Влажность обезвоженного продукта зависит от характера материала, первоначальной его влажности, времени просушки и климатических условий.

Просушенный материал, отгружаемый с дренажных площадок, должен иметь влажность, %, не более:

Отходы флотации .....	30
Угольные шламы .....	20

Порядок загрузки, просушки материала и его отгрузки с дренажных площадок производится по установленному графику для каждой фабрики на летний и зимний периоды времени.

### Список литературы

1. Фоменко Т.Г., Бутовецкий В.С., Погарцева Е.М. Водно-шламовое хозяйство углеобогатительных фабрик. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
2. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. – М.: Изд. АН СССР, 1956. – 238 с.
3. Мучник Э.И. Исследование влагоудерживающих свойств угольных шламов и их

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

влияние на результаты процесса обезвоживания на дисковых вакуум-фильтрах: Дис. ... канд. техн. наук. – Д.: ДГИ, 1977. – 126 с.

4. Клешнин А.А., Кейтельгиссер И.Н., Рабинович Ю.М. Наладка, регулировка и эксплуатация фильтровальных отделений углеобогачительных фабрик. – М.: Недра, 1985. – 135 с.

5. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогачительных фабрик: Справочно-информационное пособие. – Д.: НГУ, 2002. – 855 с.

6. Клешнин А.А. Исследование процесса фильтрования угольных шламов различного гранулометрического состава: Дис. ... канд. техн. наук. – Донецк: ДПИ, 1974. – 148 с.

© Полулях А.Д., Полулях О.В., 2013

*Надійшла до редколегії 12.03.2013 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*