

УДК 622.765

**И.Д. ПЕЙЧЕВ**, канд. техн. наук

(Украина, Луганск, Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по обогащению и брикетированию углей "УкрНИИУглеобогащение")

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

С целью обоснования выбора фильтровального оборудования для разделения угольных суспензий нами в первую очередь был проведен анализ технологических параметров работы аппаратов различной конструкции. Анализу подвергались полностью автоматизированные и механизированные фильтр-прессы, частично механизированные камерные фильтр-прессы, и немеханизированные аппараты типа ФК и PF-ROW. Параметры фильтрации (продолжительность фильтрации, толщина осадка, удельная производительность по сухому осадку и фильтрату и полное время цикла) определялись по уравнениям, вытекающим из основного дифференциального уравнения фильтрации Сперри-Кармана. [1];

$$\frac{dV_{\phi}}{d\tau_{\phi}} = \frac{P}{\mu(\alpha_v \cdot uV_{\phi} + \beta)}, \text{ м/с} \quad (1)$$

где  $V_{\phi}$  – объем фильтрата (отнесенный к 1 м<sup>2</sup> фильтрованной поверхности), м;  
 $\tau_{\phi}$  – продолжительность фильтрации, с;  $P$  – разность давления по обе стороны фильтрующей перегородки, МПа;  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости, Нс/м<sup>2</sup>;  $\alpha_v$  – удельное объемное сопротивление осадка, 1/м<sup>2</sup>;  $u$  – отношение объема осадка к объему фильтрата;  $\beta$  – сопротивление фильтрующей перегородки, 1/м<sup>2</sup>.

В результате анализа установлены зависимости удельной производительности фильтр-прессов различной конструкции от сопротивления и толщины осадков, образующихся при разделении угольных суспензий. Для разделения суспензий необогащенных шламов и отходов флотации наиболее эффективным оборудованием являются крупномеражные камерные, диафрагмовые или бездиафрагмовые горизонтальные фильтр-прессы (ГФП) с высотой камеры для труднофильтрующихся суспензий отходов 30–40 мм (оптимальная толщина осадка 30–40 мм). Во всех случаях суспензии,

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

поступаючі на фільтр-пресси, повинні бути попередньо стиснені.

### *Влияние давления фильтрования на удельное сопротивление осадка*

Оптимізація тиску і глибини камери ГФП. Найважливішими параметрами, що визначають конструкцію апарату, є робоче тиску в фільтрованих камерах і геометричні розміри елементів, що складають камеру. Для оцінки впливу тиску на удельне опір осадка відомі декілька нескладних емпіричних рівнянь, згідно з якими з підвищенням тиску нескінченно зростає швидкість і, відповідно, ефективність процесу фільтрування. Однак для високодисперсних відходів флотації угольних шламов існує оптимальне тиску, вище якого процес фільтрування стає менш ефективним.

Для спрощення математичних виражень при аналізі розглянутих залежностей введемо допоміжну величину  $\varphi$  – критерій ефективності фільтрування під тиску, що представляє собою відношення тривалості фільтрування при тиску рівному 0,1 МПа –  $\tau$  до тривалості фільтрування при інтенсифікованому режимі – підвищеному тиску –  $\tau_p$ :

$$\varphi = \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad (2)$$

Експериментально доведено, що для відходів флотації високодисперсних угольних шламов удельне опір осадка знаходиться не в степіній, а в експоненціальній залежності від тиску (див. рис. 1, побудований за експериментальними даними для тиску до 1 МПа з екстраполяцією цих даних для тиску 1–2 МПа), і величина опору осадка краще описується емпіричним рівнянням виду:

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

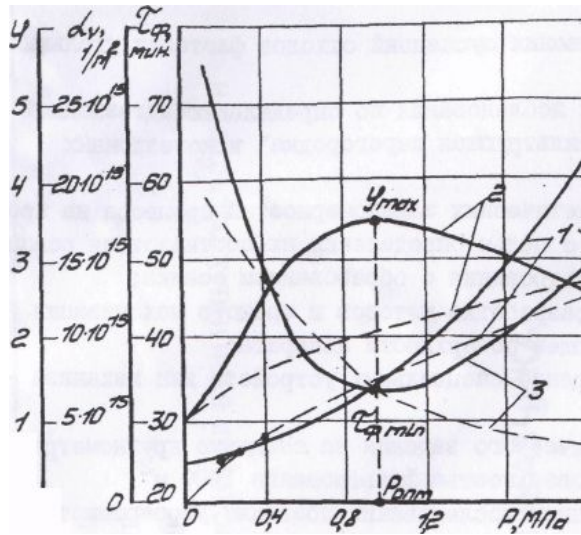


Рисунок 1. Зависимость параметров фильтрации от давления:

----- при степенной зависимости  $S = 0,67$  ;  
 \_\_\_\_\_ при экспоненциальной зависимости (3)  
 $\alpha_0 = 2800 \cdot 10^{12} / \text{м}^2$  ,  $s = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{Н}$   
 1)  $\alpha_v = f(P)$  ; 2)  $\varphi = f(P)$  ; 3)  $\tau_\phi = f(P)$

$$\alpha_v = \alpha_0 \cdot e^{sP}, 1 / \text{м}^2 \quad (3)$$

где  $\alpha_0$  – гипотетическое удельное объемное сопротивление осадка при  $P = 0,1/\text{м}^2$ ;  $S$  – коэффициент сжимаемости осадка.

При использовании уравнения (3) критерий эффективности фильтрации составит:

$$\varphi = \frac{\mu \alpha_0 e^{sP} h^2}{\zeta \cdot 1 \cdot u} \cdot \frac{2P \cdot u}{\mu \alpha_0 e^{sP} h^2} = \frac{P}{e^{s(P-1)}}, \quad (4)$$

где  $h$  – толщина осадка.

Анализ уравнения (4) путем нахождения производной и приравнивания ее нулю

$$\frac{d\varphi}{dP} = \frac{1 - sP}{e^{s(P-1)}} = 0$$

показывает, что оптимальное давление (при конечном значении) соответствует условию или

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

$$P_{opt} = \frac{1}{s}, \text{ МПа} \quad (5)$$

Опыты показывают [2], что для отходов флотации  $s = (0,08 \div 0,12) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{Н}$ ; следовательно  $P_{opt} = 0,8 \div 1,2 \text{ МПа}$ . При более высоком давлении фильтрования отходов флотации эффективность процесса снижается. Для оценки удельного сопротивления осадка при фильтровании некоторых суспензий, помимо суспензий отходов флотации угольных шламов, более достоверными могут оказаться другие эмпирические уравнения.

В общем случае для определения оптимального давления рекомендуется использовать следующую методику: проведение эксперимента и нахождение эмпирического уравнения зависимости удельного сопротивления осадка от величины рабочего давления; нахождение констант эмпирического уравнения; определение величины критерия эффективности фильтрования под давлением  $\Phi$ ; анализ величины  $\Phi$  на максимум путем нахождения ее производной и приравнивания ее нулю; нахождение численного значения оптимального давления  $P_{opt}$ .

Геометрические размеры фильтровальных элементов прежде всего зависят от расстояния между соседними плитами, которое определяет толщину слоя осадка. В работах исследователей [3] при определении оптимальной толщины осадка  $h_{opt}$  продолжительность отжим  $\tau_0$ , так же, как и продолжительность вспомогательных операций  $\tau_\epsilon$ , считается величиной постоянной, не зависящей от  $h_{opt}$ . Исследованиями также установлено, что продолжительность отжима  $\tau_0$  зависит от толщины и заданной влажности конечного продукта фильтрования суспензии  $\omega_{вн}$  и, следовательно, отжим (так же, как и просушка) осадка должен быть отнесен к основным, а не к вспомогательным операциям. С учетом этого в общем случае (при фильтровании суспензии с последующими операциями отжима и промывки осадка) уравнение для определения оптимальной толщины осадка нами скорректировано и имеет вид:

$$h_{opt} = \sqrt{\frac{60P\tau_\epsilon}{\alpha_V \left( \frac{\mu_\phi(1+\lambda_w)}{2U_\phi} + \frac{\mu_n}{u_n} \right)}}, \text{ м} \quad (6)$$

где  $\lambda_w = \frac{\tau_0}{\tau_\epsilon}$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от заданной влажности отжатого осадка; индексами  $\phi, o, n$  обозначены величины относящиеся к операциям соответственно фильтрования, отжима, просушки и промывки.

Для случая фильтрования без промывки

$$h_{opt} = \sqrt{\frac{120P_u\tau_s}{\mu\alpha_v(1+\lambda_w)}}, \text{ м} \quad (7)$$

Заметим, что величину  $h_{opt}$  следует рассчитывать при оптимальном давлении  $P_{opt}$ .

Расчеты по уравнению (7) показывают, что при  $P_{opt} = 1 \text{ МПа}$ ;  $u = 0,5$ ;  $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Нс/м}^2$ ;  $s = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{Н}$  и  $\tau_s = 40 \text{ мин}$  величина оптимального слоя осадка составляет от 15 мм (для труднофильтрующихся суспензий отходов флотации при  $\alpha_v = 10^{16} 1/\text{м}^2$ ) до 25 мм (для суспензий отходов флотации средней фильтруемости при  $\alpha_v = (2 \div 5) \cdot 10^{15} 1/\text{м}^2$ ). Рекомендуемое расстояние между соседними плитами составляет  $2h_{opt}$ , т.е. соответственно 30 и 50 мм. Однако при проектировании камерных ГФП для отходов флотации угольных шламов целесообразнее принимать толщину осадка равной 15 мм, что обеспечивает при относительно эффективном процессе фильтрования легкость съема достаточно массивного осадка.

#### *Кинетические закономерности процесса фильтрования*

Удельная производительность фильтровального оборудования зависит главным образом от продолжительности фильтрования  $\tau_\phi$ . Поэтому в ходе эксплуатации фильтр-прессов представляет особый интерес изучение кинетических закономерностей процесса фильтрования с образованием осадка и сравнение фактического времени фильтрования с теоретическим, рассчитанным по известным уравнениям. Такое сравнение позволит оценить явления, происходящие в фильтрованных камерах, и определить пути повышения производительности аппарата. Для этого воспользуемся известным уравнением И.Н. Циркина:

$$\frac{1}{Q_a} = M\tau_\phi + N^2, \frac{c^2}{\text{м}^6} \quad (8)$$

где  $\frac{1}{Q_a}$  – величина обратная, мгновенной производительности по фильтрату;  $M, N$  – постоянные величины, соответственно равные:

$$M = \frac{2\mu\alpha_v u}{P \cdot S^2}, \text{ с/м}^6 \quad \text{и} \quad N = \frac{\mu\beta}{PS}, \text{ с/м}^3 ;$$

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

где  $S$  – поверхность фильтрования, м<sup>2</sup>.

Графически в координатах  $\tau_\phi - \frac{1}{Q_\phi^2}$  уравнение (8) представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой равен  $M$ , а отрезок на оси ординат, отсекаемый

прямой, равен  $N$ . Линейная зависимость  $\frac{1}{Q_\phi^2} = f(\tau_\phi)$  свидетельствует о соответствии хода процесса в промышленных условиях теоретическому и позволяет определить величины  $M$  и  $N$ . Зная  $M$  и  $N$  можно определить теоретическую продолжительность процесса фильтрования  $\tau_\phi$ . Для этого, выразив в известной формуле

$$\tau_\phi = \frac{\mu(\alpha_v h^2 + 2\beta h)}{2Pu}, \quad c$$

$\alpha_v$  и  $\beta$  соответственно через  $M$  и  $N$ , после несложных преобразований получим теоретическую продолжительность процесса фильтрования

$$\tau_\phi = M \left( \frac{Sh}{2u} \right)^2 + \frac{Sh}{u} N, \quad (9)$$

Соответственно толщина осадка в различные периоды процесса определится уравнением

$$h = \frac{2u}{MS} \sqrt{M\tau_\phi + N^2} - N, \quad m \quad (10)$$

Таким образом, изучив кинетические закономерности процесса фильтрования на крупнометражных камерных ГФП в промышленных условиях, можно устанавливать оптимальное время цикла и контролировать процесс.

### *Условия гарантированного съема осадка с фильтрующей поверхности ГФП*

Съем осадка с поверхности фильтрующей перегородки основан на преодолении сил адгезии его к ткани [4]. В преодолении сил адгезии участвуют сила тяжести осадка  $G$  и силы, возникающие при механическом воздействии на осадок (в случае применения специальных разгрузочных устройств). Силу, возникающую при сдвиге осадка относительно ткани (рис. 2) и направленную противоположно силе тяжести, назовем удельной касательной составляющей силы адгезии (в дальнейшем касательная адгезия), а силу, приложенную к осадку с обеих сторон в момент размыкания плит и

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

направленную от осадка к ткани, назовем удельной нормальной составляющей силы адгезии  $A_n$  (в дальнейшем нормальная адгезия).

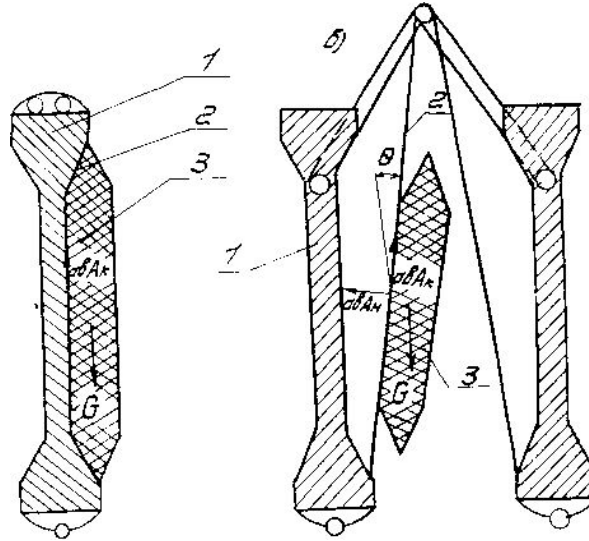


Рис. 2. Схемы съема, осадка с фильтрующей поверхности камерных ГФП:  
1 – фильтровальная плита; 2 – ткань; 3 – осадок.

При вертикальном расположении ткани (рис. 2а) самопроизвольное отделение (гарантированный съем) осадка от ткани станет возможным при условии:

$$G > \alpha b A_k, H \quad \text{или} \quad ab\gamma > \alpha b A_k, H$$

где  $\alpha$  – высота фильтровальной плиты, м;  $b$  – ширина фильтровальной плиты, м;  $H$  – высота камеры, м;  $\gamma$  – удельный вес осадка, Н/м<sup>2</sup>

$$\gamma H > A_k, H / m^2 \quad (11)$$

При наклонном расположении ткани (рис. 2б) самопроизвольное отделение осадка от ткани станет возможным при условии:

$$\gamma H \cos\theta > A_k, H / m^2 \quad (12)$$

где  $\theta$  – угол наклона ткани к плите, град, или

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\gamma H > A_k \cos \theta + A_H \sin \theta, H / м^2 \quad (13)$$

Так как в камерных ГФП фильтрование ведется, как правило, в обе стороны, важно, чтобы при съеме осадок не примыкал к обеим фильтрующим перегородкам, а это обеспечивается при условии, что удельная сила когезии  $K$  осадка (в дальнейшем когезия осадка) значительно превышает его нормальную адгезию  $A_n$  к ткани. В противном случае вероятность съема будет сведена к минимуму, так как весь осадок будет разбит на две части и его масса  $G$  – уменьшится вдвое.

### Список литературы

1. Брук О.Л. Фильтрование угольных суспензий, М.: "Недра", 1978. –376 стр.
2. Брук О.Л., Пейчев И.Д., Радущевич К.Л. Расчет оптимального давления фильтрования и некоторых конструктивных параметров фильтр-прессов. "Химическое и нефтяное машиностроение", 1979, № 7, с.15–16.
3. Жужиков В.А. Теория и практика разделения суспензий. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. 265 с.
4. Пейчев И.Д. Условия съема осадка из горизонтальных фильтр-прессов. "Уголь Украины", 1981, № 3, с. 40–41.

© Пейчев И.Д., 2005

*Надійшла до редколегії 26.04.2005 р.  
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.794

**Е.И. НАЗИМКО**, д-р техн. наук,

**Е. Е. ГАРКОВЕНКО**, канд. техн. наук

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

### ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА РАПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВДОЛЬ ПОРЫ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Решение задач повышения качества товарных концентратов при одновременном увеличении объемов обогащения угля неразрывно связано с переработкой и обезвоживанием мелких и тонких классов, количество которых в рядовом угле постоянно растет. Транспортабельность и стоимость таких продуктов зависит от их влажности, высокие значения которой снижают эффективность использования этих материалов.

161

**Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 22(63)**