

УДК 622.7

И.Д. ПЕЙЧЕВ, канд. техн. наук
(Украина, Луганск, "Укрнииуглеобогащение")

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЛЬТРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Процесс промышленного фильтрования представляет собой гидромеханическое разделение суспензий с применением пористой перегородки, задерживающей твердую фазу (осадок) и пропускающей жидкую фазу (фильтрат) суспензии, чем и отличается от процесса естественной фильтрации, протекающей при движении жидкости через пористый грунт в природных условиях.

Фильтрованию на углеобогащительных фабриках подвергаются суспензии флотационных концентратов и отходов флотации – продукты флотации угольных шламов, а также продукты мокрого обогащения классификации и сгущения суспензий угольной мелочи в гидроциклонах, сепараторах и сгустителях.

Скорость фильтрования прямо пропорциональна площади фильтра и разности давлений на нем и обратно пропорциональна вязкости суспензии [1]

$$\omega = \frac{V}{F} = r \frac{\Delta p \cdot g}{\mu \cdot h} \quad (1)$$

где ω – средняя скорость фильтрования, м/с; V – расход, м³/с; F – площадь фильтра, м²; r – коэффициент, характеризующий гидравлическое сопротивление при фильтровании, м²; h – толщина слоя, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – вязкость, кг/м·с.

Размерность коэффициента является .

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$1 \text{ darcy} = 9,87 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2$$

При $r = 1 \text{ darcy}$ через 1 см^2 фільтруючої поверхності і градиенте тиску в 1 атм/см проходить $1 \text{ см}^3/\text{с}$ рідини з в'язкістю в 1 спуаз .

Розглянемо шар осаду товщиною dr на відстані x від межі шару при загальній товщині h . Силу тиску, діючу на елемент об'єму шару і необхідну для здійснення процесу фільтрування визначимо за рівнянням

$$r \cdot R_x \cdot dh = -dp \quad (2)$$

де r – удільне опір шару осаду, $1/\text{м}^2$; R_x – градієнт сили опору, кг/м ; P – тиск потоку в досліджуваному перерізі, кг/см^2 .

При умові, що R_x пропорційний в'язкості і швидкості фільтрації, одержимо рівняння

$$R_x = \frac{K_I \cdot v \cdot \mu}{g} \quad (3)$$

де K_I – коефіцієнт пропорційності; v – лінійна швидкість потоку.

Представимо втрати тиску в шарі осаду через Δp_c і розв'язавши спільно рівняння (2) і (3) одержимо,

$$\Delta p_c \cdot g = r \cdot K_I \cdot h \cdot v \cdot \mu \quad (4)$$

відомо, що

$$v = \frac{dV}{dt \cdot F} \quad (5)$$

де t – час фільтрації, с ; V – об'єм фільтрату, м^3 , одержимо рівняння

$$\frac{dV}{dt} = v \cdot F = \frac{\Delta p_c \cdot g \cdot F}{r \cdot K_I \cdot h \cdot \mu} = \frac{\Delta p_c \cdot g \cdot F}{K_c \cdot \mu} \quad (6)$$

де – коефіцієнт опору, $1/\text{м}$.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Так как масса слоя M_c пропорциональна количеству фильтрата, то

$$K_c = \frac{\alpha \cdot M_c}{F} = \frac{\alpha V}{KF} \quad (7)$$

где K – коэффициент пропорциональности, м³/кг; α – коэффициент, зависящий от удельного сопротивления и свойств слоя частиц, м/кг. Для несжимаемых осадков α не зависит от разности давлений.

Обозначив через Δp_m потери давления на фильтрующем материале и через K_m – коэффициент сопротивления этого материала, получим уравнение [2]

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_m \cdot g \cdot F}{K_m \cdot \mu} \quad (8)$$

Так как суммарная потеря давления в фильтре $\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_c$, то, принимая давление на выходе из фильтра равным атмосферному и, исходя из приведенных выше уравнений, получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{p \cdot g \cdot F}{(K_c + K_m) \cdot \mu} = \frac{p \cdot g \cdot F}{\frac{\alpha \cdot \mu \cdot V}{F \cdot k} + K_m \cdot \mu} = \frac{2 \frac{p \cdot g \cdot F^2 \cdot k}{\alpha \cdot \mu}}{2(V + \frac{F \cdot k}{\alpha} \cdot K_m)} \quad (9)$$

обозначив

$$\left. \begin{aligned} \frac{2 \cdot p \cdot g \cdot F^2 \cdot k}{\alpha \cdot \mu} &= K \quad (\text{м}^2 / \text{с}) ; \\ \frac{F \cdot k \cdot K_m}{\alpha} &= C \quad (\text{м}^3) ; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

получим основное уравнение фильтрования

$$\frac{dV}{dt} = \frac{K}{2(V + C)} \quad (11)$$

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Поскольку как это следует из уравнения (10), $K = k \cdot F^2$ и $C = c \cdot F$, то пусть $V = v \cdot F$, где V – объем фильтрата, приходящийся на единицу поверхности фильтра, $\text{м}^3/\text{м}^2$, уравнение может быть преобразовано следующим образом:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{kF}{2(u+c)} \quad (12)$$

где k ($\text{м}^2/\text{с}$) и c ($\text{м}^3/\text{м}^2$) – коэффициенты.

Тогда для сжимаемого осадка получим:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{2p \cdot g \cdot F^2 \cdot k}{\alpha \cdot \mu} = \frac{p \cdot g}{\alpha} \cdot K_1 ; \\ K &= \frac{K}{F^2} = \frac{p \cdot g}{F^2 \cdot \alpha} \cdot K_1 = \frac{p \cdot g}{\alpha} \cdot K_1 ; \\ C &= \frac{F \cdot k \cdot K_m}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \cdot C_1 ; \\ c &= \frac{C}{F} = \frac{1}{\alpha} \cdot C_1 . \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

При этом уравнения (11) и (12) будут иметь вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{p \cdot g \cdot K_1}{2(\alpha \cdot F + C_1)} \quad (14)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{p \cdot g \cdot K_1}{2(\alpha \cdot v + C_1)} \quad (15)$$

В случае фильтрования при постоянном давлении, интегрирование уравнения (11) при нулевых начальных условиях приводит к уравнению

$$t_0 = \frac{C^2}{K} = \frac{K_{m^2} \cdot \mu \cdot k}{2p \cdot g_c \cdot \alpha} \quad (16)$$

где t_0 – время, необходимое для получения заданного количества фильтрата.

Если фильтрование ведется с постоянной скоростью, то

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V}{t} \quad (17)$$

тогда из уравнения (14) получим

$$p = \frac{2(\alpha \cdot V + C_1)V}{t \cdot K_1 \cdot g} \quad (18)$$

где t – время фильтрования, с.

Максимальное давление для случая, когда можно пренебречь сопротивлением фильтровальной ткани можно определить из уравнения [3]

$$p = \frac{2 \cdot V^2 \cdot \alpha}{t \cdot K_1 \cdot g} = \frac{2 \cdot V^2 \cdot \alpha_0 (1 + \theta, 2p)}{t \cdot K_1 \cdot g} \quad (19)$$

В технике фильтрования наибольшее распространение получили фильтры, работающие под вакуумом. Суспензия в них подается либо насосами низкого давления, либо самотеком. В вакуумных фильтрах процесс фильтрования ведется непрерывно с небольшими затратами на обслуживание и ремонт. К недостаткам вакуумного фильтрования следует отнести требование постоянства свойств суспензии – концентрация твердой фазы не должна меняться.

Фильтрование под вакуумом ведется в нутч-фильтрах, барабанных, ленточных, дисковых и карусельных фильтрах.

При невозможности или неэкономичности фильтрования под вакуумом используется фильтрование под давлением от 2 до 30 атм.

К фильтрам, работающим под давлением, относятся фильтр-прессы с вертикальными и горизонтальными плитами, листовые и патронные фильтры.

К недостаткам фильтров, работающих под давлением, относится быстрый износ фильтровальной перегородки – ткани и сложность отмывки осадка. Однако эти фильтр-прессы позволяют получать большую поверхность фильтрования на единицу объема аппарата.

В последнее время в практике фильтрования угольных суспензий под давлением большое применение находят ленточные фильтр-прессы. Это высокоэффективные аппараты непрерывного действия, позволяют получать продукты фильтрования (фильтрат и осадок) высокой чистоты фильтрат и транспортабельный осадок при низких экономических затратах по сравнению с другими типами фильтр-прессов, работающими под давлением.

Список литературы