

УДК 677.076

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ СМЕШАННОГО ПРОЦЕССА
ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ НЕТКАНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Е.Е.САВИЦКАЯ, Л.И.ГУДИМ, В.М.ГОРЧАКОВА

**(ОАО «Научно-исследовательский институт нетканых материалов»,
Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)**

В процессах разделения неоднородных систем, обеспыливания воздуха и газовых выбросов все большее применение находят фильтровальные перегородки из тканей и нетканых материалов.

Для оценки фильтрующих свойств нового материала, выбора способа и режимов его регенерации, для расчета и проектирования фильтров необходимо знать закономерности и характеристики процесса фильтрации, которые реализуются при использовании данного материала.

Далее приводится описание наиболее общего процесса фильтрации с закупориванием пор и образования осадка при переменных скорости и давлении. Показано, как практически определяются вид и константы процесса, которые наряду со степенью разделения являются основными характеристиками, необходимыми для сравнительной оценки исследуемых материалов и их дальнейшего использования в качестве фильтровальных.

Общепринято [1...3], что для расчета процессов фильтрации можно использовать известную зависимость Пуазейля, описывающую ламинарное течение жидкости в цилиндрических каналах:

$$W_k = \Delta P d^2 / (32 \mu l), \quad (1)$$

где W_k – средняя скорость течения; ΔP – потеря давления в канале диаметром d и длиной l ; μ – динамическая вязкость жидкости.

Длина и диаметр извилистых и разнообразных по форме живого сечения пор фильтровальной перегородки и осадка – величины трудноопределимые. Кроме того, в цикле фильтрации они могут меняться во времени. В связи с этим примем условно, что длина всех пор в пределах перегородки или осадка одинакова и равна высоте соответствующего слоя, то есть $l_p = H_p$ или $l_o = H_o$, а среднюю скорость W_k выразим через некоторую фиктивную среднюю скорость W , отнесенную ко всей поверхности слоя и его порозности ε :

$$W = \varepsilon W_k = \Delta P d^2 \varepsilon / 32 \mu H. \quad (2)$$

Полный перепад давления на фильтре складывается из перепада давления в пределах перегородки ΔP_p и в пределах осадка ΔP_o :

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_o. \quad (3)$$

В течение цикла фильтрации может изменяться как сопротивление перегородки (частичная или полная закупорка пор, набухание материала перегородки, ее сжатие), так и сопротивление осадка (увели-

чение толщины слоя, сжатие, закупорка пор и т.п.). В результате при постоянной скорости фильтрования растет давление, а при постоянном давлении падает скорость фильтрования.

С течением времени в цикле фильтрования свободный объем пор и порозность перегородки уменьшаются за счет осевшего в перегородке объема частиц от некоторых начальных значений $Q_{пн}$ и ϵ_n до текущих значений Q_n и ϵ . Соответственно некоторый эквивалентный диаметр проходного сечения перегородки снижается от начального d_n до текущего значения d .

В общем случае объем частиц Q_r , задержанный фильтром, складывается из объема удержанных порами перегородки Q_m и объема частиц Q_{ro} , образующих осадок на ее поверхности, то есть $Q_r = Q_m + Q_{ro}$.

Примем, что оба объема пропорциональны объему фильтрата Q_ϕ , прошедшего через фильтр:

$$\begin{cases} Q_r = xQ_\phi = xqF, \\ Q_m = \alpha_1 xQ_\phi = \alpha_1 xqF, \\ Q_{ro} = \alpha_2 xQ_\phi = \alpha_2 xqF, \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \end{cases} \quad (4)$$

где x , α_1 , α_2 – коэффициенты пропорциональности; q – удельный объем фильтрата (объем, прошедший через 1 м^2 перегородки).

С учетом изложенного и (2) для начальной скорости фильтрования имеем

$$W_n = \Delta P_n d_n^2 \epsilon_n / (32\mu H) = \frac{\Delta P_{пн}}{\mu R_n}, \quad (5)$$

где $\epsilon_n = \frac{Q_{пн}}{Q_{пн}}$ – начальная порозность (пористость) перегородки; $Q_{пн} = FH$ – объем перегородки; $d_n^2 = \frac{4Q_{пн}}{\pi H}$ – квадрат начального эквивалентного диаметра пор перегородки; $\Delta P_{пн}$ – потеря давления в пределах перегородки в начале процесса; $R_n = \frac{32H}{\epsilon_n d_n^2}$ – коэф-

фициент сопротивления чистой перегородки.

Если считать, что диаметр пор слоя определяется отношением порозности слоя удельной поверхности частиц, то для диаметра пор чистой перегородки можно записать:

$$d_p^2 = \beta_1 Q_{пн}, \quad (6)$$

где β_1 – коэффициент, зависящий от порозности чистой перегородки и размеров элементов (волокон) ее образующих.

Для произвольного времени фильтрования

$$W = \epsilon \Delta P_n d^2 / (32\mu H), \quad (7)$$

где соответствующее значение порозности и квадрата диаметра

$$\epsilon = \frac{Q_{пн} - Q_{гп}}{Q_{пн}} = \epsilon_n - \alpha_1 xq/H, \quad (8)$$

$$d^2 = \beta_2 (Q_{пн} - Q_m), \quad (9)$$

где β_2 – коэффициент, зависящий от свойств улавливаемых частиц и характера процесса закупоривания пор.

Выражение (7) для скорости фильтрования с закупориванием пор перегородки с учетом (6), (8) и (9) можно представить в виде

$$W = \frac{\Delta P_n \beta_2}{\mu R_n \beta_1} \left(1 - \frac{\alpha_1 xq}{\epsilon_n H}\right)^2. \quad (10)$$

Для перепада давления имеем

$$\Delta P_n = \mu R_n \frac{\beta_1}{\beta_2} W / \left(1 - \frac{\alpha_1 xq}{\epsilon_n H}\right)^2. \quad (11)$$

Та же скорость фильтрования в пределах образующегося на перегородке осадка может быть определена согласно (2) из выражения

$$W = \frac{\Delta P_o \epsilon_o d_o^2}{32\mu H_o}, \quad (12)$$

где ε_0 – порозность осадка; d_0 – эквивалентный диаметр пор осадка; H_0 – высота слоя осадка; ΔP_0 – потеря давления в пределах осадка.

Объем осадка

$$Q = FH_0. \quad (13)$$

Порозность осадка с учетом (4):

$$\varepsilon_0 = \frac{Q_0 - Q_{ro}}{Q_0} = \left(1 - \frac{\alpha_2 x q}{H_0}\right). \quad (14)$$

Откуда

$$H_0 = \frac{\alpha_2 x q}{1 - \varepsilon_0}. \quad (15)$$

Из (12) для скорости фильтрования получим

$$W = \frac{\Delta P_0 \varepsilon_0 (1 - \varepsilon_0) d_0^2}{32 \mu \alpha_2 x q}, \quad (16)$$

а для перепада давления в пределах осадка

$$\Delta P_0 = \frac{32 \mu W \alpha_2 x q}{\varepsilon_0 (1 - \varepsilon_0) d_0^2}. \quad (17)$$

Для полного перепада давления на фильтре согласно (3):

$$\Delta P = \mu R_n W \left[\frac{\frac{\beta_1}{\beta_2}}{\left(1 - \frac{\alpha_1 x q}{\varepsilon_n H}\right)^2} + \frac{32 \alpha_2 x q}{\varepsilon_0 (1 - \varepsilon_0) R_n d_0^2} \right]. \quad (18)$$

Введем в расчет следующие константы фильтрования:

$$C_1 = \frac{\beta_1}{\beta_2}, \quad (19)$$

$$C_2 = \frac{d_1 x}{\varepsilon_0 H},$$

$$C_3 = \frac{32 \alpha_2 x}{\varepsilon_0 (1 - \varepsilon_0) R_n d_0^2} = \frac{32 \alpha_2 x \varepsilon_n d_n^2}{\varepsilon_0 (1 - \varepsilon_0) H d_0^2}.$$

Тогда уравнение процесса фильтрования с закупориванием пор перегородки и образования на ее поверхности осадка принимает вид

$$\Delta P = \frac{\mu R_n [C_1 + C_3 q (1 - C_2 q)^2]}{(1 - C_2 q)^2} W, \quad (20)$$

$$W = \frac{(1 - C_2 q)^2}{\mu R_n [C_1 + C_3 q (1 - C_2 q)^2]} \Delta P. \quad (21)$$

Процесс фильтрования может идти при постоянной скорости и росте потери давления, либо при постоянной потере давления и уменьшающейся скорости, либо при переменных скорости и потере давления. Последний случай на практике является наиболее частым и реализуется, например, при подаче суспензий и газов центробежными насосами и вентиляторами.

Их характеристики в диапазоне цикла фильтрования с достаточной точностью могут быть аппроксимированы выражением вида

$$P = a - bQ = a - bFW, \quad (22)$$

где P – давление насоса или вентилятора; Q – производительность; a, b – константы.

Так как при работе фильтра $P = \Delta P$, а $W = \frac{dq}{d\tau}$, из (21) и (22) имеем дифференциальное уравнение

$$d\tau = \left[\frac{\mu R_n}{a} \left(\frac{C_1}{(1 - C_2 q)^2} + C_3 q \right) + \frac{b}{a} F \right] dq. \quad (23)$$

После интегрирования в пределах $0 - \tau$ и $0 - q$ получим уравнение смешанного процесса фильтрования при переменных скорости и давления:

$$\tau = \frac{\mu R_n}{a} \left(\frac{C_1 q}{1 - C_2 q} + \frac{1}{2} C_3 q^2 \right) + \frac{b}{a} F q. \quad (24)$$

Частные уравнения для процессов только с образованием осадка или с заку-

порыванием пор получаем из (20) и (24), предположив $C_1=1$ и $C_2=0$ или $C_3=0$ соответственно.

Уравнение (24) содержит четыре константы R_n , C_1 , C_2 и C_3 , зависящие от свойств перегородки и суспензии.

Для начальной скорости фильтрования с учетом (5) и (22) имеем

$$W_n = \frac{a}{\mu R_n + bF}, \quad (25)$$

а для коэффициента сопротивления перегородки

$$R_n = \frac{a}{\mu W_n} - \frac{bF}{\mu}. \quad (26)$$

С учетом (26) преобразуем основное уравнение фильтрования (24):

$$\frac{\tau}{q} = \left(\frac{1}{W_n} - K \right) \left(\frac{C_1}{1 - C_2 q} + \frac{1}{2} C_3 q \right) + K, \quad (27)$$

где $K = \frac{b}{a} F$.

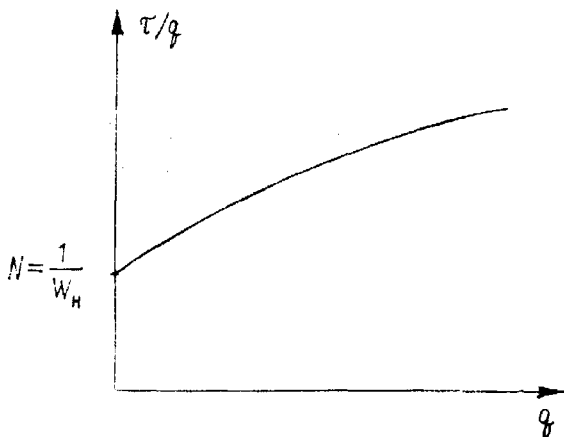


Рис. 1

По опытным данным τ - q в результате испытаний фильтровального материала в координатах τ/q - q строится график процесса (рис.1), по которому определяются все константы R_n , C_1 , C_2 и C_3 , необходимые для сравнительной оценки качества фильтровальных материалов и для расчета фильтров, в которых они могут быть использованы.

ВЫВОДЫ

1. Получено уравнение смешанного процесса фильтрования при переменных скорости и давлении, по которому можно судить о характере процесса фильтрования, свойствах суспензий и качестве фильтровальных материалов.

2. На основе полученных закономерностей проводится оценка разрабатываемых нами нетканых фильтровальных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жужиков В.А. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий. Изд.4-е. -М.: Химия, 1980.
2. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. Лен. -М.: Химия, 1982.
3. Сажин Б.С., Гудим Л.И., Реутский В.А. Гидромеханические и диффузионные процессы. -М.: Легпромбытиздат, 1985.

Рекомендована кафедрой нетканых материалов МГТУ им.А.Н. Косыгина. Поступила 03.10.01.