

Химическая технология: что нового?

Лекция 5. Фильтрация.

Вадим К. Хлесткин, к.х.н.

Новосибирский государственный
университет

Разделение под действием сил
разности давления

Уравнение процесса фильтрации и
экспериментальное определение его
констант.

ФИЛЬТРОВАНИЕ

- это выделение дисперсной фазы из гетерогенной системы за счет пропускания ее через пористую фильтрующую перегородку.
- Фильтрацию используют для разделения суспензий на твердую (осадок) и жидкую (фильтрат) фазы.

Виды фильтрации

- Фильтрация с образованием осадка
- Фильтрация с закупориванием пор
- Промежуточный вид

ФИЛЬТРОВАНИЕ

- Для движения жидкости в порах осадка и фильтрующей перегородки необходимо создать перепад давления над и под фильтрующей перегородкой.
- Перепад давления над и под фильтрующей перегородкой является движущей силой процесса и создается за счет разряжения под фильтрующей перегородкой (вакуум-фильтры) или создания давления над фильтрующей перегородкой (фильтры под давлением).

Характеристики процесса фильтрации

- Движущая сила процесса;
- Скорость процесса;
- Производительность фильтра;
- Константы процесса фильтрации

Производительность фильтра

- Производительность фильтра зависит от режима фильтрования (давление, температура), вида фильтрующей перегородки и физико-химических свойств суспензии и осадка.

Тип осадка

- Фильтрация со сжимаемым и несжимаемым осадком:
 - Несжимаемые осадки – пористость которых не меняется при увеличении давлений (мел, песок);
 - Сжимаемые осадки – пористость уменьшается, гидравлическое сопротивление потоку жидкой фазы возрастает с увеличением давления (гидраты окисей металлов)

Фильтровальные (фильтрующие) перегородки

- Размер пор:
 - Больше размер пор – меньше гидравлическое сопротивление;
 - Хорошая задерживающая способность

Фильтрующие перегородки

- По принципу действия
 - Поверхностные и глубинные
- По материалу
 - Керамика, стекло...
- По структуре
 - Гибкие, негибкие жесткие, негибкие нежесткие

Скорость фильтрования

- Интенсивность фильтрования и производительность фильтров характеризуются скоростью фильтрования – количеством фильтрата, проходящего в единицу времени через единицу поверхности фильтра:

$$\omega = \frac{dV}{F \cdot d\tau}; \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

Скорость фильтрования

- скорость фильтрования суспензии прямо пропорциональна разности давления по обе стороны фильтрующей перегородки (ΔP) и обратно пропорциональна сопротивлению процесса фильтрования:

$$\omega = \frac{\Delta p}{\mu R_{\phi}}$$

Основное уравнение процесса фильтрования

$$\omega = \frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu R_{\phi}}$$

где: V – объем фильтрата (осветленной жидкости), м³;

F - площадь фильтра, м²;

μ - динамический коэффициент вязкости фильтрата, Па·с;

R_{ϕ} - сопротивление процесса фильтрования, м⁻¹.

Сопротивление процесса фильтрования

- При расчете сопротивления процесса учитывают сопротивление фильтрующей перегородки и сопротивление слоя осадка, образующегося на перегородке:

$$R_{\phi} = R_{\phi п} + R_{oc}, \text{ м}^{-1};$$

$$R_{\phi} = R_{\phi п} + r_{oc} \cdot h_{oc}, \text{ м}^{-1};$$

где: $R_{\phi п}$ - сопротивление фильтрующей перегородки, м^{-1} ;

R_{oc} - сопротивление слоя осадка, м^{-1}

r_{oc} - удельное объемное сопротивление осадка, м^{-1} ;

h_{oc} - высота слоя осадка, м.

Физический смысл

- **Сопротивление фильтрующей перегородки** равно перепаду давления, который необходимо создать для фильтрования жидкости вязкостью $1\text{Па}\cdot\text{с}$ со скоростью 1м/с через перегородку.
- **Удельное объемное сопротивление осадка** равно перепаду давления, который необходимо создать для того, чтобы через слой осадка высотой 1м проходил фильтрат вязкостью $1\text{Па}\cdot\text{с}$ со скоростью 1м/с .

Вязкость жидкостей при 25 °С	Па*с	мПа*с
ацетон	$3.06 \cdot 10^{-4}$	0.306
бензол	$6.04 \cdot 10^{-4}$	0.604
кровь (при 37 °С)	$(3-4) \cdot 10^{-3}$	3-4
касторовое масло	0.985	985
кукурузный сироп	1.3806	1380.6
этиловый спирт	$1.074 \cdot 10^{-3}$	1.074
этиленгликоль	$1.61 \cdot 10^{-2}$	16.1
глицерин (при 20 °С)	1.49	1490
мазут	2.022	2022
ртуть	$1.526 \cdot 10^{-3}$	1.526
метиловый спирт	$5.44 \cdot 10^{-4}$	0.544
моторное масло SAE 10 (при 20 °С)	0.065	65
моторное масло SAE 40 (при 20 °С)	0.319	319
нитробензол	$1.863 \cdot 10^{-3}$	1.863
жидкий азот (при 77K)	$1.58 \cdot 10^{-4}$	0.158
пропанол	$1.945 \cdot 10^{-3}$	1.945
оливковое масло	.081	81
серная кислота	$2.42 \cdot 10^{-2}$	24.2
вода	$8.94 \cdot 10^{-4}$	0.894

Влияние ΔP на характер процесса

- если $\Delta P = \text{const}$, то накопление осадка на фильтре уменьшает скорость фильтрования (процесс нестационарный);
- если с увеличением толщины слоя осадка h_{oc} увеличивается ΔP , скорость фильтрования остается постоянной (процесс стационарный).

В промышленности наиболее распространены процессы нестационарного фильтрования.

Вывод уравнения для нестационарного процесса фильтрования

Объем образующегося осадка:

$$V_{oc} = h_{oc} F, \text{ м}^3 .$$

x_o - объем влажного осадка, образующегося на фильтре, при прохождении 1 м³ фильтрата:

$$x_o = V_{oc} / V ,$$

тогда

$$h_{oc} = x_o \cdot V / F ,$$

$$\frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \left(R_{\phi n} + \frac{r_{oc} x_0 V}{F} \right)}$$

- В полученном уравнении введем понятие удельная производительность фильтра $q=V/F$

Уравнение для определения постоянных
процесса

$$\frac{\mu \cdot R_{\phi n}}{\Delta P} + \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x_o}{2\Delta P} q = \frac{\tau}{q}$$

$$N = \frac{\mu \cdot R_{\phi n}}{\Delta P}$$

$$M = \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x_o}{2\Delta P}$$

График зависимости $\tau/q=f(q)$

$$N + Mq = \frac{\tau}{q}$$

$\tau/q,$
 $c \cdot m^2/m^3$

