

# ***Химическая технология: что нового?***

Лекция 5.  
Фильтрация.

Вадим К. Хлесткин, к.х.н.

Новосибирский государственный  
университет

# Разделение под действием сил разности давления

Уравнение процесса фильтрования 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

(сгущение, осветление, добавки)

# 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).

- а) нутч-фильтры;
- б) друк-фильтры;
- в) рамные фильтр прессы;
- г) камерные фильтр-прессы;
- д) листовые фильтры.

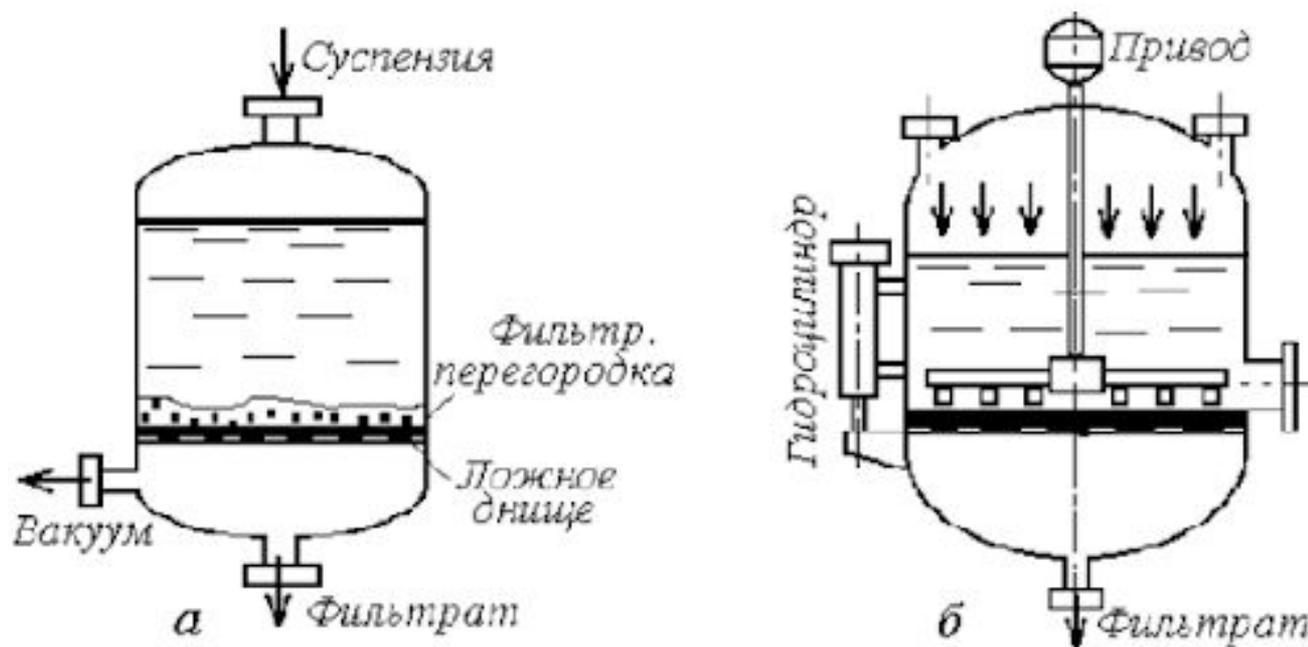
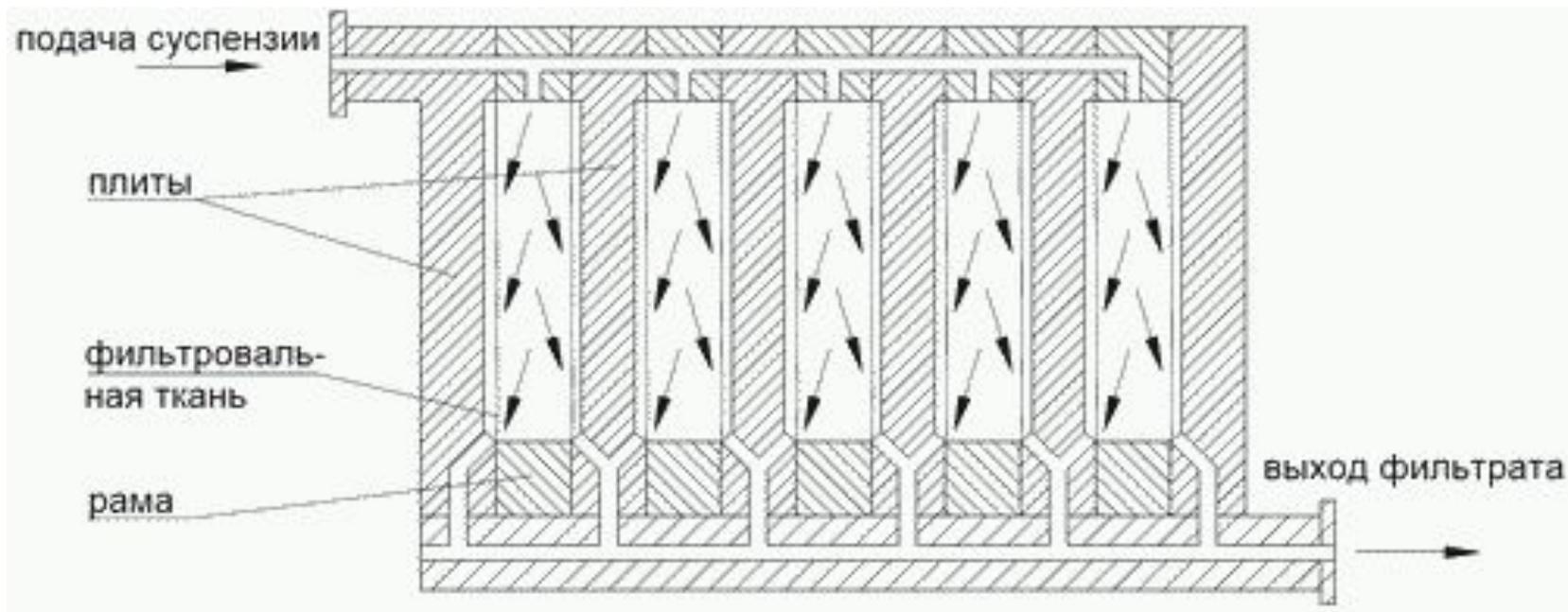


Рис. 2.2. Периодически действующие фильтры:  
 а – нутч-фильтр; б – друк-фильтр

В производстве фильтрование обычно проводят при следующих разностях давлений:

- Под вакуумом  
 $5 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4$  н/м<sup>2</sup>
- Под давлением сжатого воздуха  
Не более  $30 \cdot 10^4$  н/м<sup>2</sup>
- При подаче поршневым или центробежным насосом  
До  $50 \cdot 10^4$  н/м<sup>2</sup> и более
- Под гидростатическим давлением слоя суспензии  
До  $5 \cdot 10^4$  н/м<sup>2</sup>

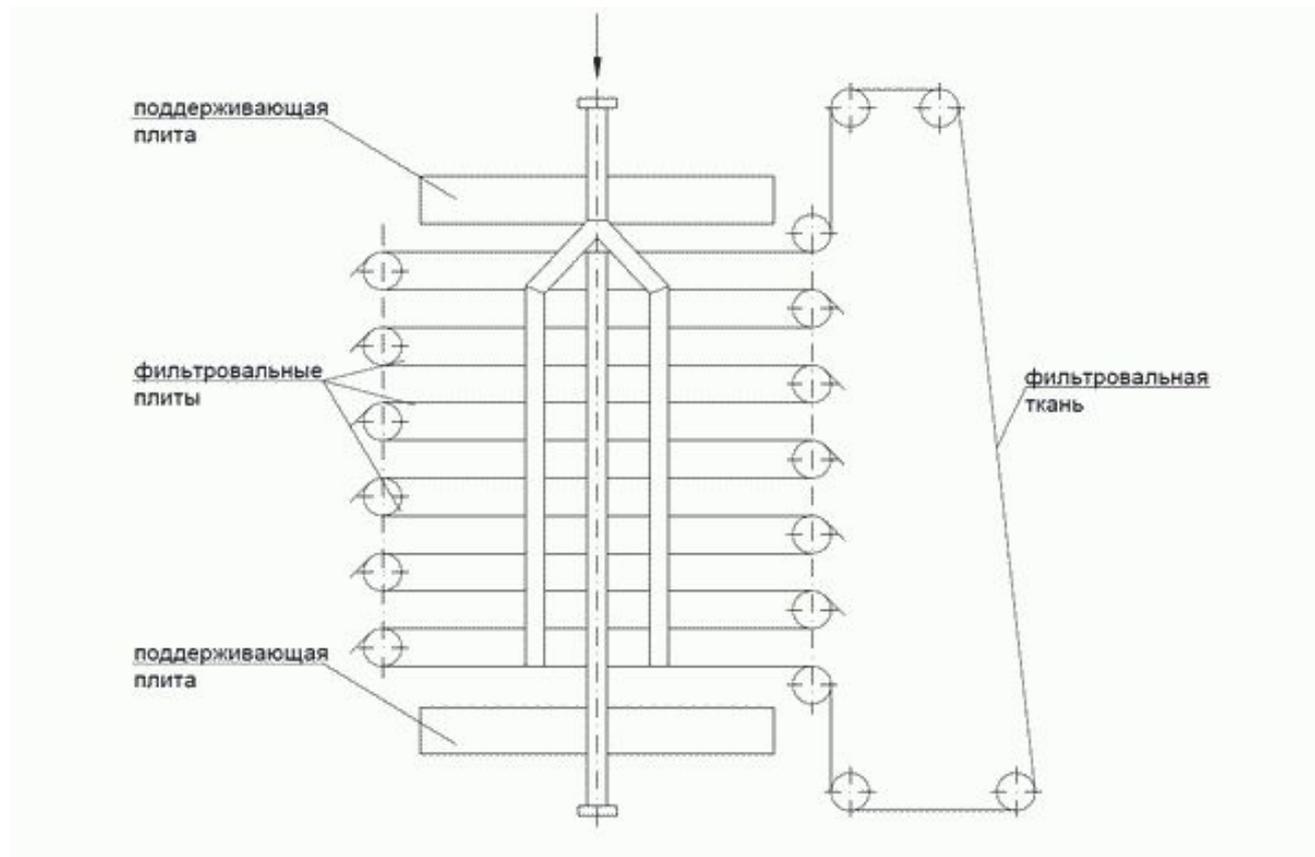


## Рамный фильтр-пресс



20.03.2013

11. 3. 2013



Автоматический фильтр-пресс

# 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 фильтрации

- Интенсивность фильтрации и производительность фильтров характеризуются скоростью фильтрации – количество 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 ( $\Delta P$ ) и обратно пропорциональна сопротивлению процесса фильтрования:

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

# Основное уравнение процесса фильтрации

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

где:  $V$  – объем фильтрата (осветленной жидкости), м<sup>3</sup>;

$F$  - площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

$\mu$  - динамический коэффициент вязкости фильтрата, Па·с;

$R_{\phi}$ - сопротивление процесса фильтрации, м<sup>-1</sup>.

# Сопротивление процесса фильтрации

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

$$R_{\phi} = R_{\phi\pi} + R_{oc}, \quad \text{м}^{-1}$$

где:  $R_{\phi\pi}$  - сопротивление фильтрующей перегородки,  $\text{м}^{-1}$ ;  
 $R_{oc} = r_{oc} \cdot h_{oc}$

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

$r_{oc}$  - удельное объемное сопротивление осадка, ;

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

Вязкость жидкостей при 25 °С

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

# Влияние $\Delta P$ на характер процесса

- если  $\Delta P = \text{const}$ , то накопление осадка на фильтре уменьшает скорость фильтрования (процесс нестационарный);
- если с увеличением толщины слоя осадка  $h_{\text{ос}}$  увеличивается  $\Delta P$ , 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 м<sup>3</sup> 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 $\tau/q=f(q)$

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

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

