# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

доцент, к.т.н. Пирогова Ольга Владимировна

## Выпаривание

- процесс концентрирования растворов твердых нелетучих веществ путем удаления части жидкого летучего растворителя при кипении в виде пара.
- Сущность выпаривания заключается в переводе растворителя в парообразное состояние и отводе полученного пара от оставшегося сконцентрированного раствора.
- Выпаривание обычно проводят при кипении, когда давление пара над раствором равно давлению в рабочем объёме аппарата.

#### Способы выпаривания:

- простое (однократное) выпаривание;
- многократное выпаривание;
- выпаривание с применением теплового насоса.

Выпаривание можно проводить при атмосферном, избыточном давлении или вакууме.

# <u>Аппараты для проведения процессов</u> выпаривания:

- с естественной циркуляцией раствора;
- с принудительной циркуляцией раствора;
- пленочные аппараты.

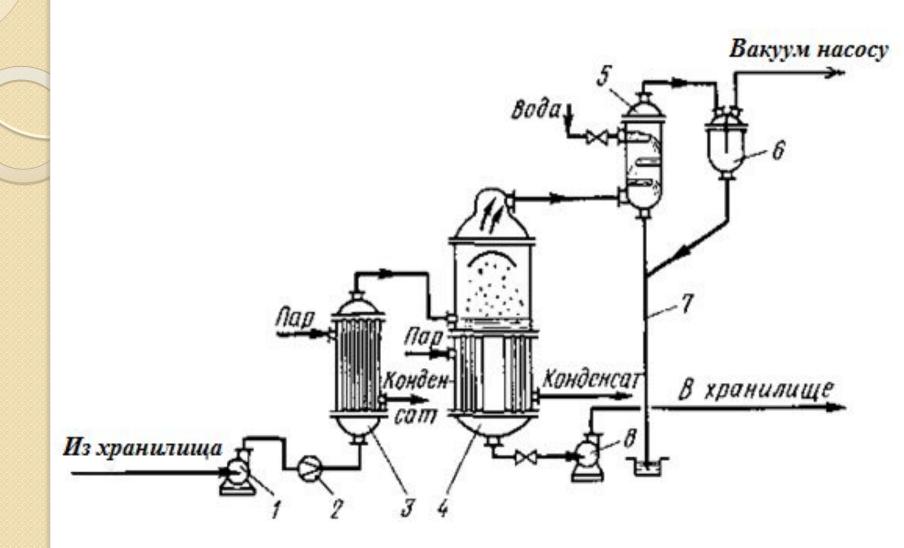
### Простое выпаривание

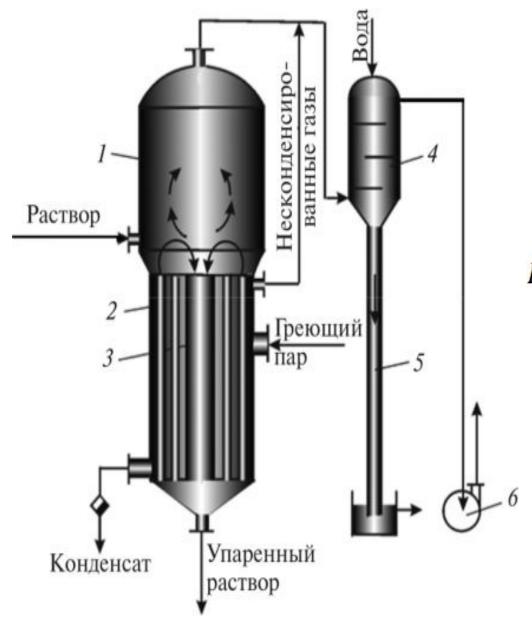
Осуществляется на установках небольшой производительности, когда экономия тепла не имеет большого значения.

Проводится **непрерывно** или **периодически**.

Применение вакуума при выпаривании позволяет снизить температуру кипения раствора, благодаря чему можно:

- использовать пар низкого давления, являющегося отходом других производств;
- выпаривать растворы веществ, склонных к разложению при повышенных температурах;
- увеличение разности температур греющего пара и кипящего раствора позволяет уменьшить площадь поверхности теплообмена.





$$F = \frac{D \cdot r}{K_T \cdot \Delta t_{\text{полезная}}}$$

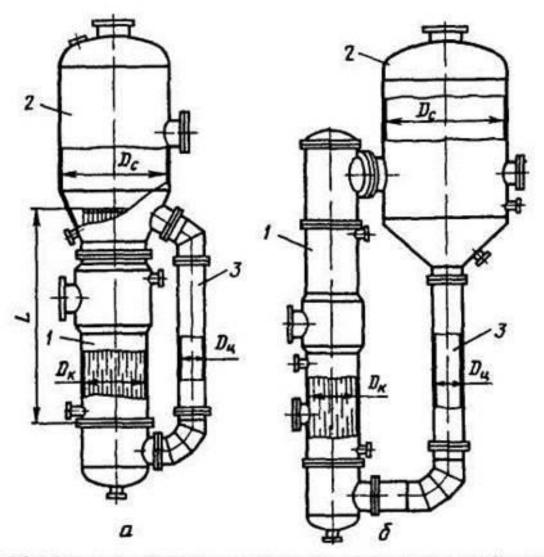
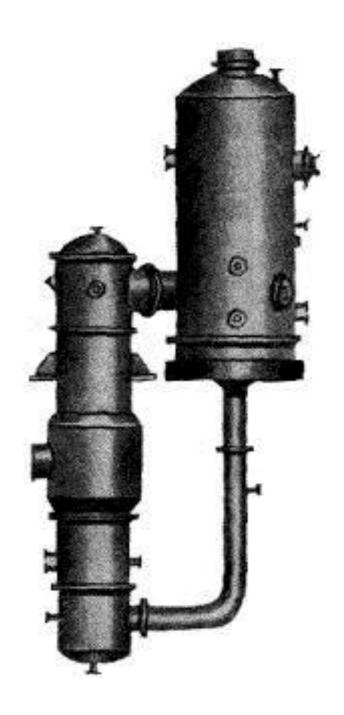
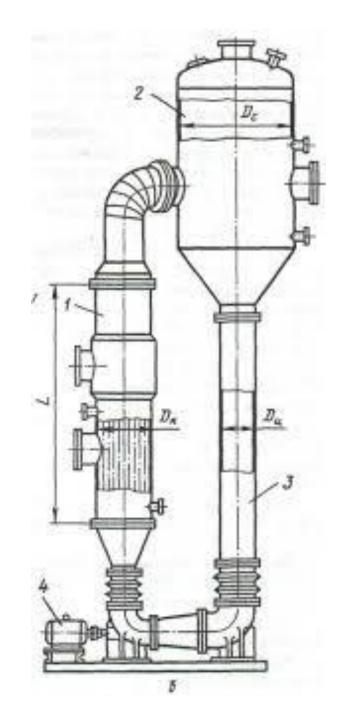
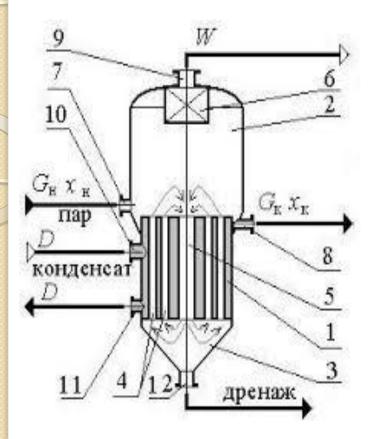


Рис 15 8 Выпарные аппараты с естественной циркуляцией раствора a — с соосной греющей камерой,  $\delta$  — с вынесенной греющей камерой, l — греющая камера, 2 — сепаратор, 3 — циркуляционная труба,  $D_{\rm c}$ ,  $D_{\rm k}$ ,  $D_{\rm u}$  — диаметры соответственно сепаратора, камеры и циркуляционной трубы, L — длина камеры







#### **М**атериальный

# $\begin{cases} G_{\rm H} = G_{\rm K} + W \\ G_{\rm H} x_{\rm H} = G_{\rm K} x_{\rm K} \end{cases}$

$$G_{K} = G_{H} \frac{x_{H}}{x_{K}}$$

$$W = G_{H} \left( 1 - \frac{x_{H}}{x_{K}} \right)$$

#### Тепловой баланс

$$G_{\mathrm{H}}c_{\mathrm{H}}t_{\mathrm{H}} + DH = G_{\mathrm{K}}c_{\mathrm{K}}t_{\mathrm{K}} + WH_{\mathrm{B}\Pi} + DH_{\mathrm{K}} + Q_{\mathrm{K}} + Q_{\mathrm{\Pi}}$$

$$Q_{\mathrm{K}} = \pm 0.01G_{\mathrm{K}}x_{\mathrm{K}}\Delta q$$

$$D = \frac{G_{K}(c_{K}t_{K} - c_{H}t_{H} \pm 0.01x_{K}\Delta q)}{H - H_{K}} + \frac{W(H_{B\Pi} - c_{H}t_{H})}{H - H_{K}} + \frac{Q_{\Pi}}{H - H_{K}}$$

- Температурная депрессия (Дд) разность между температурами кипения раствора и растворителя [°С].
- Зависит от природы растворителя и растворенного вещества, концентрации раствора и давления в системе.
- Теплоёмкость раствора (с) это отношение количества теплоты, сообщенной системе к соответственному изменению температуры [кДж/кг·град].
- Зависит от природы растворителя и растворенного вещества, температуры и концентрации.

- Теплота растворения это алгебраическая сумма теплоты, необходимой на разрушение кристаллической решетки и теплоты химического взаимодействия.
- Зависит от природы растворителя и растворенного вещества и концентрации раствора.
- Интегральная теплота растворения это количество тепла, поглощающегося или выделяющегося при растворении I кг твердого вещества в таком количестве растворителя, что дальнейшее его прибавление практически не сопровождается тепловым эффектом.
- Теплота изменения концентрации раствора:

$$\Delta q_{x_1 - x_2} = q_{x_2} - q_{x_1}$$

#### Полезная разность температур

 это разность между температурой греющего пара и температурой кипения раствора у середины греющих труб выпарной установки.

$$\Delta t_{\text{пол}} = T - t_{\text{cp}}$$

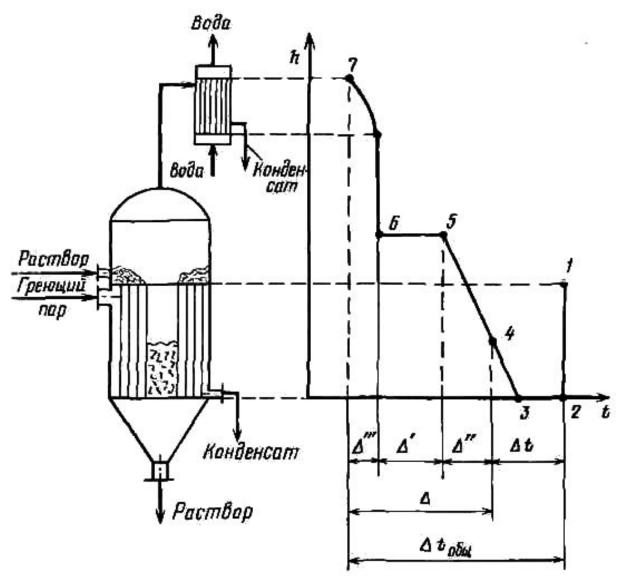
• Определяется как общая разность температур за вычетом температурных потерь.

$$\Delta t_{\text{пол}} = \Delta T_{\text{общ}} - \Sigma \Delta$$

• Общая разность температур в выпарной установке - это разность между большей и меньшей температурой паров, то есть между температурой греющего пара и температурой вторичного пара на входе в конденсатор.

$$\Delta t_{\text{общ}} = T - t_{\text{конд}}$$

#### • Температурные потери



## Температурные потери

$$\Sigma \Delta = \Delta_{\Gamma} + \Delta_{\Lambda} + \Delta_{\Pi}$$

Δг – потери общей разности температур за счет гидростатического эффекта

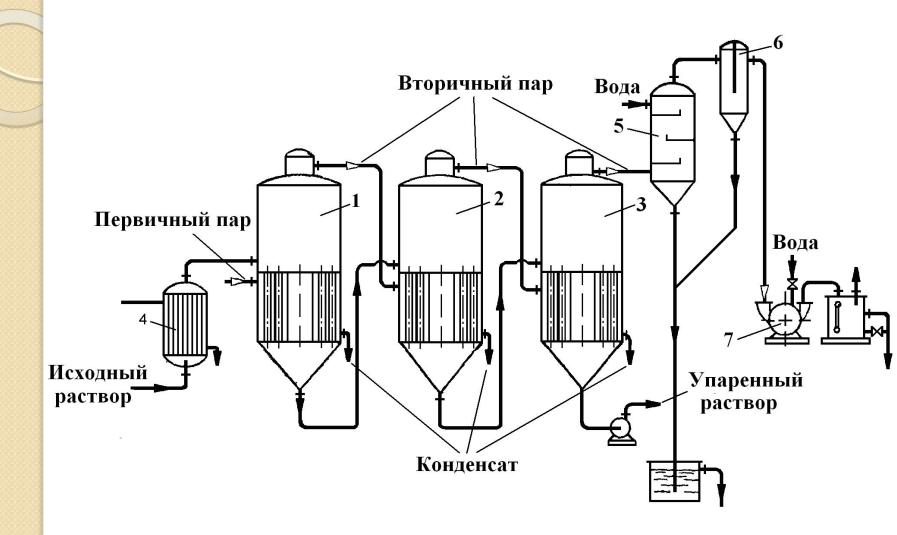
$$\Delta P_{\rm c} = \rho \cdot g \cdot (h_{\rm M36} + \frac{h_{\rm TP}}{2})$$

Δд – потери общей разности температур за счет температурной депрессии

$$\Delta_{\rm d} = t_{\rm p-pa} - t_{\rm p-ng}$$

∆п – потери общей разности температур за счет гидрав∧ических потерь

## Многократное выпаривание



#### Материальный баланс многократного выпаривания

$$\begin{cases} G_{\rm H} = G_{\rm K} + W \\ G_{\rm H} x_{\rm H} = G_{\rm K} x_{\rm K} \end{cases}$$

$$W = G_{\rm H} \left( 1 - \frac{x_{\rm H}}{x_{\rm K}} \right)$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$x_{\text{K1}} = \frac{G_{\text{H}} x_{\text{H}}}{G_{\text{H}} - W_{1}}$$
  $x_{\text{K2}} = \frac{G_{\text{H}} x_{\text{H}}}{G_{\text{H}} - W_{1} - W_{2}}$ 

$$x_{K3} = \frac{G_{H} x_{H}}{G_{H} - W_{1} - W_{2} - W_{3}}$$

#### Тепловой баланс многократного выпаривания

$$D_{m} = \frac{G_{\text{K}m}(c_{\text{K}m}t_{\text{K}m} - c_{\text{H}m}t_{\text{H}m} \pm 0.01x_{m\text{K}}\Delta q_{m})}{H_{m} - H_{\text{K}m}} + \frac{W_{m}(H_{\text{B}\Pi m} - c_{\text{H}m}t_{\text{H}m})}{H_{m} - H_{\text{K}m}} + \frac{Q_{\Pi m}}{H_{m} - H_{\text{K}m}}$$

• - Общая разность температур

$$\Delta t_{\text{общ}} = T - t_{\text{конд}}$$

Полезная разность температур

$$\Sigma \Delta t_{\text{полезная}} = \Delta t_{\text{общ}} - (\Sigma \Delta_{\Gamma} + \Sigma \Delta_{\Lambda} + \Sigma \Delta_{\Pi})$$

# Распределение суммарной полезной разности температур

I. способ, обеспечивающий равные поверхности нагрева по корпусам

$$F_1 = F_2 = F_3 = ... = Fm$$

$$\Delta t_{\text{полезная } i} = \Sigma \Delta t_{\text{полезная } i} \cdot \frac{Q_i/K_i}{\Sigma(Q_i/K_i)}$$

2. способ, обеспечивающий минимальную суммарную поверхность нагрева всех корпусов

$$\Delta t_{\text{полезная }i} = \Sigma \Delta t_{\text{полезная }i} \cdot \frac{\sqrt{Q_i/K_i}}{\sum \sqrt{Q_i/K_i}}$$

# Оптимальное число корпусов

