



# **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.

## Аппараты для проведения процессов выпаривания:

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

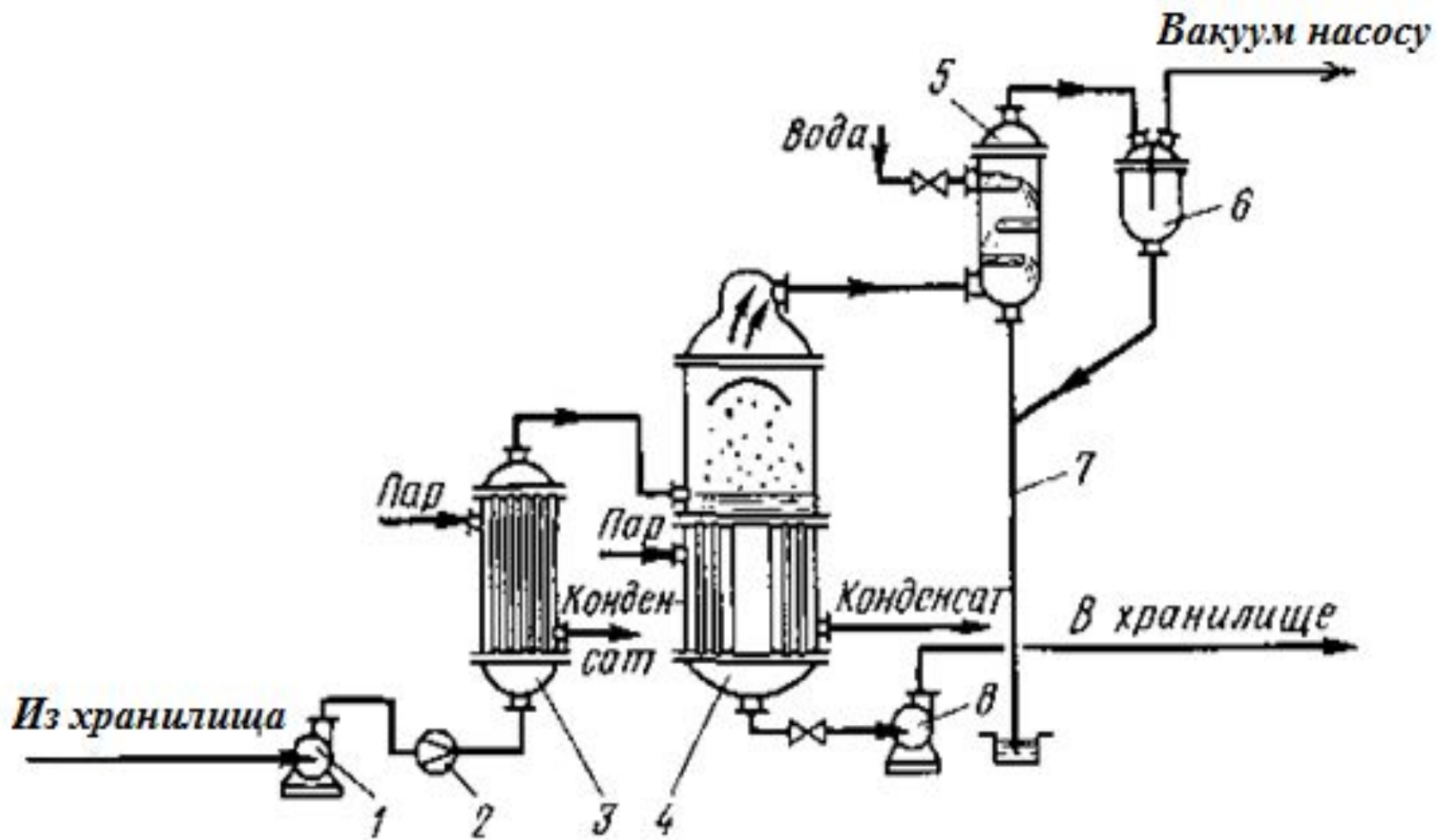
# Простое выпаривание

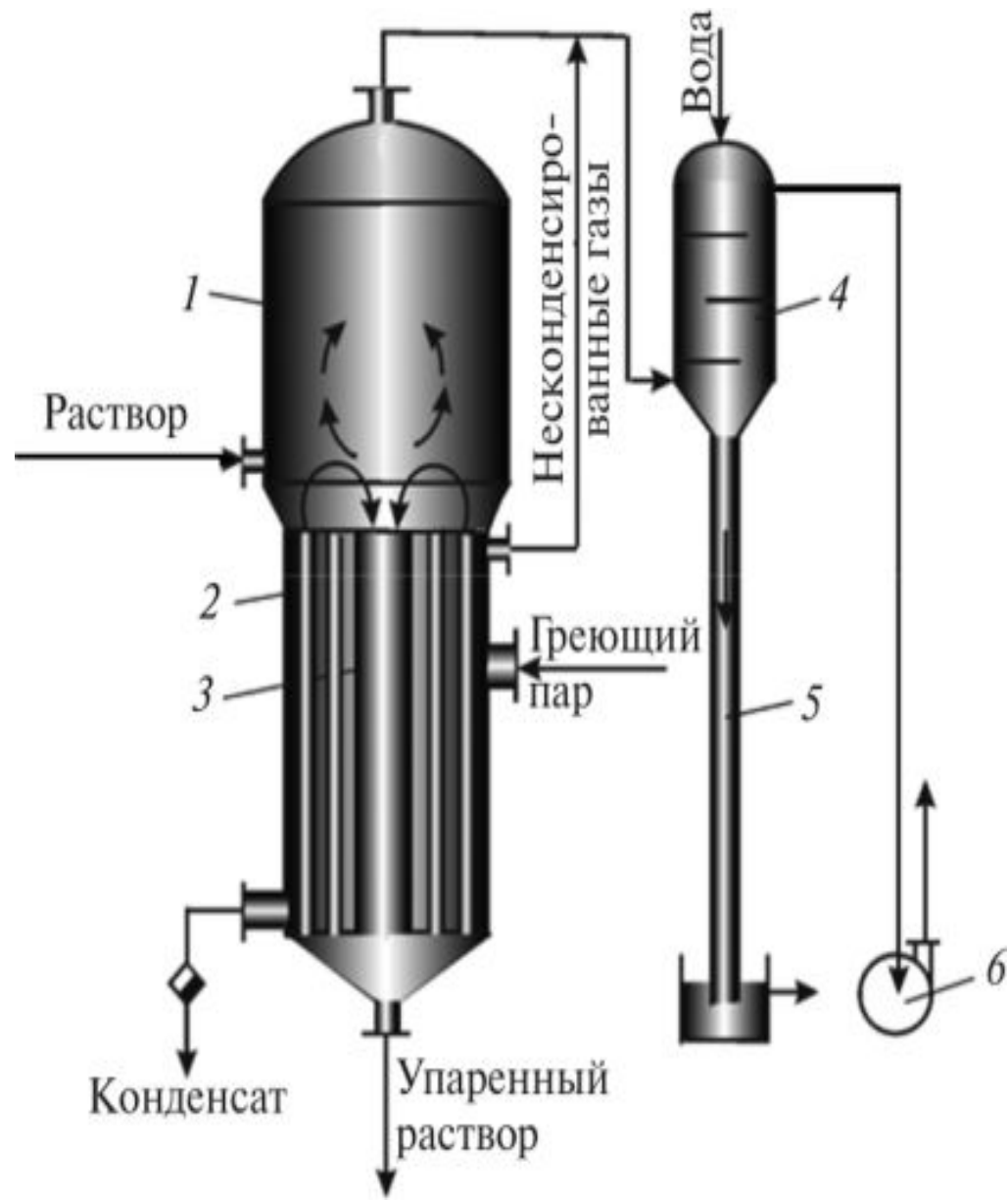
Осуществляется на установках небольшой производительности, когда экономия тепла не имеет большого значения.

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.





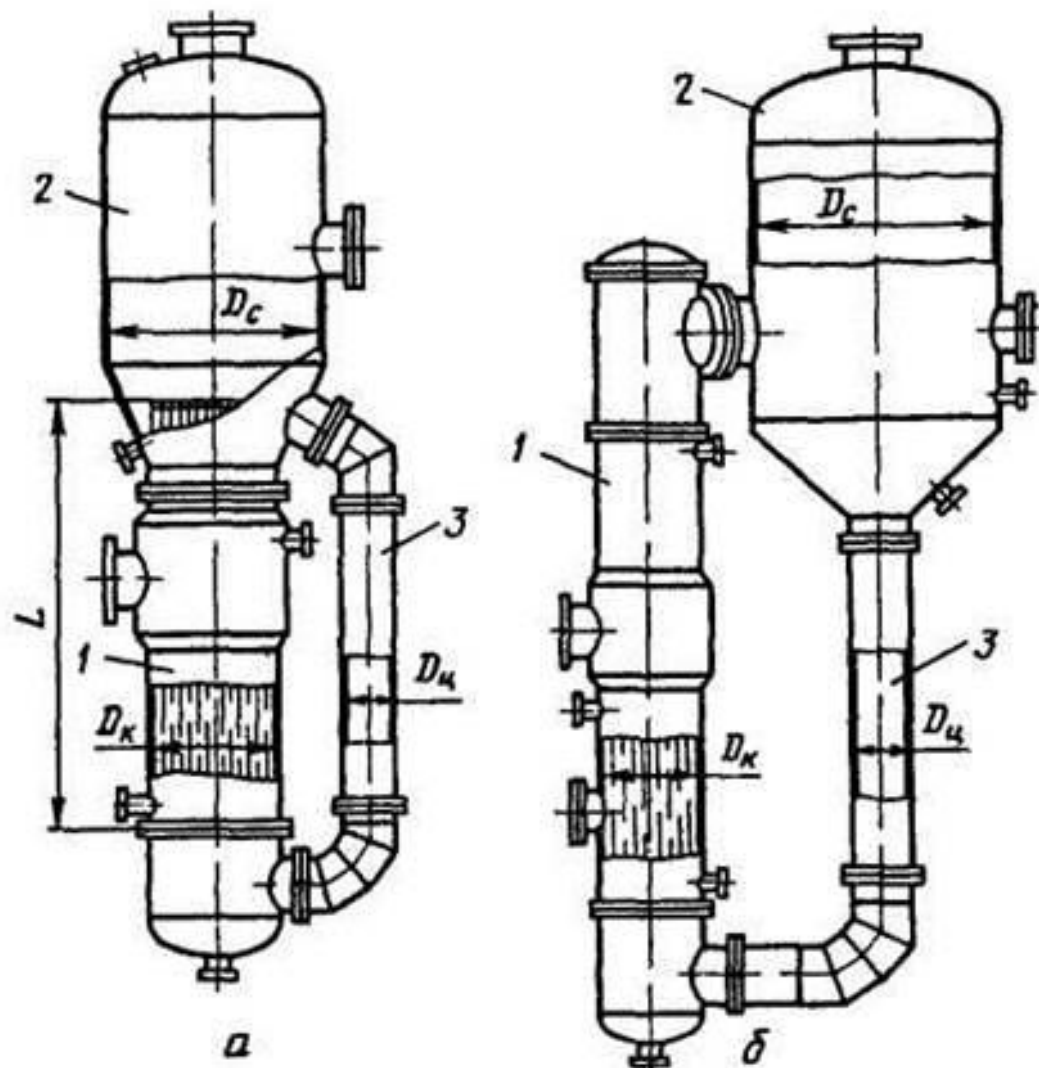
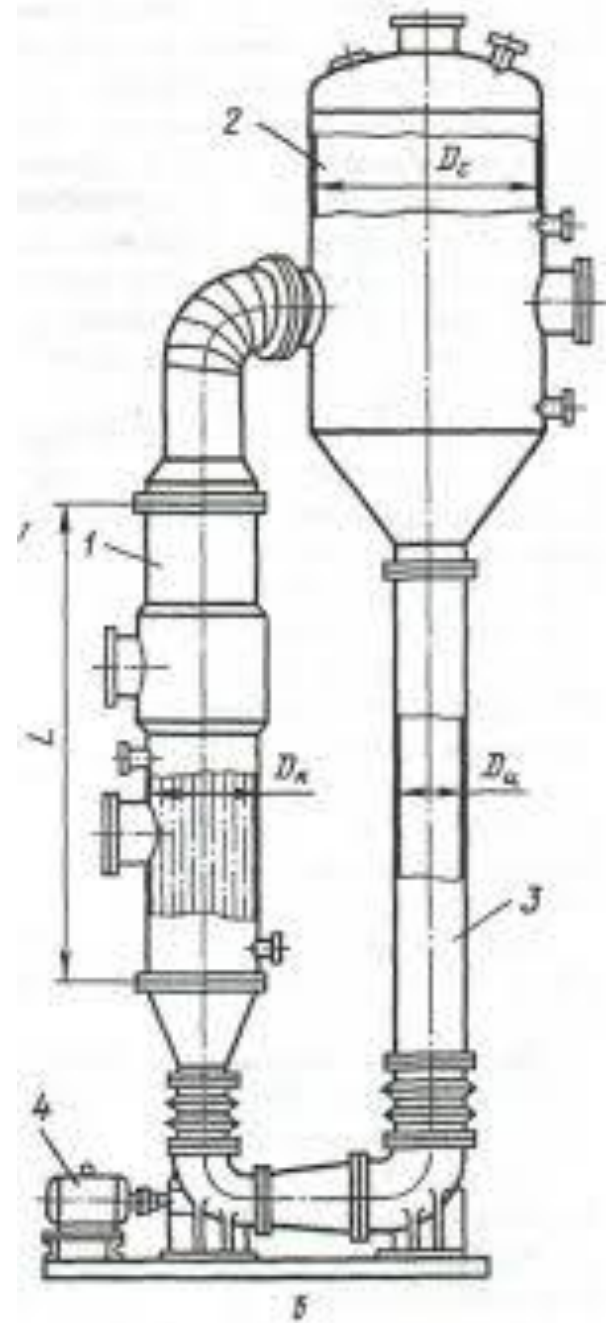
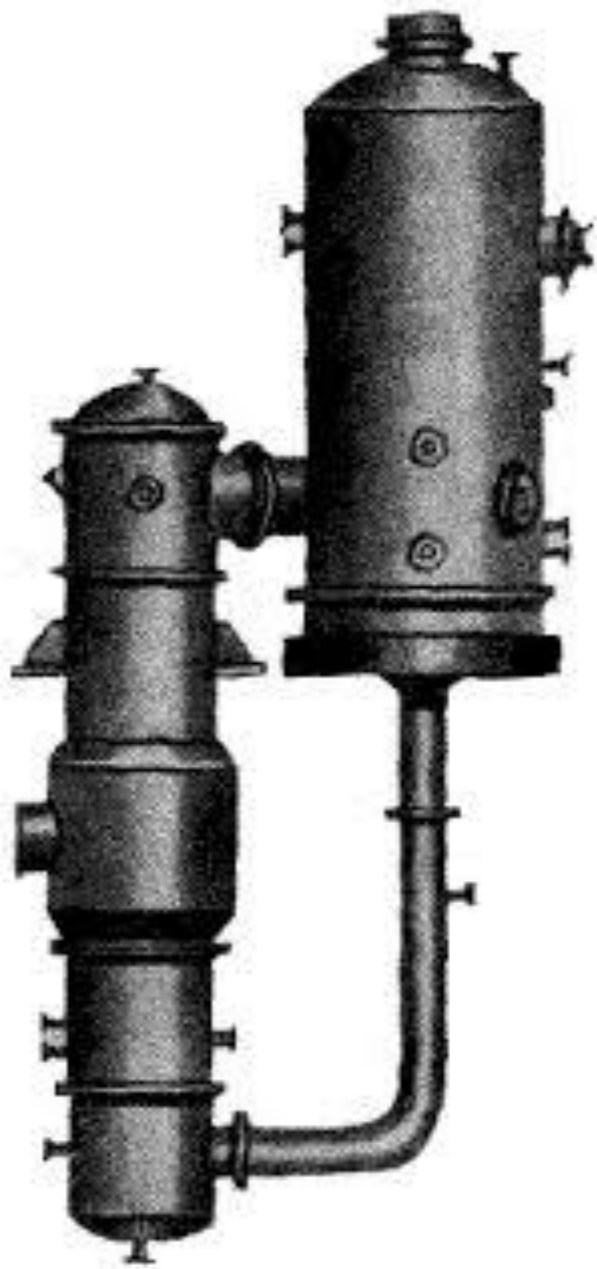
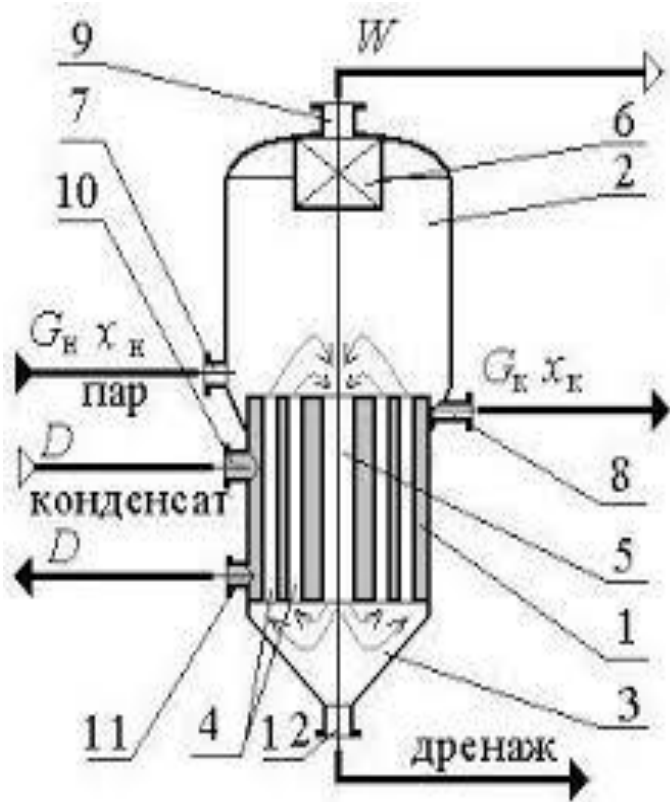


Рис 15 8 Выпарные аппараты с естественной циркуляцией раствора  
*a* — с соосной греющей камерой, *б* — с вынесенной греющей камерой, 1 — греющая камера, 2 — сепаратор, 3 — циркуляционная труба,  $D_c$ ,  $D_k$ ,  $D_u$  — диаметры соответственно сепаратора, камеры и циркуляционной трубы,  $L$  — длина камеры







## Материальный баланс

$$\begin{cases} G_H = G_K + W \\ G_H x_H = G_K x_K \end{cases}$$

$$G_K = G_H \frac{x_H}{x_K}$$

$$W = G_H \left( 1 - \frac{x_H}{x_K} \right)$$

## Тепловой баланс

$$G_H c_H t_H + DH = G_K c_K t_K + WH_{\text{вп}} + DH_K + Q_K + Q_{\text{п}}$$

$$Q_K = \pm 0,01 G_K x_K \Delta q$$

$$D = \frac{G_K (c_K t_K - c_H t_H \pm 0,01 x_K \Delta q)}{H - H_K} + \frac{W (H_{\text{вп}} - c_H t_H)}{H - H_K} + \frac{Q_{\text{п}}}{H - H_K}$$

- **Температурная депрессия ( $\Delta_d$ )** – разность между температурами кипения раствора и растворителя [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- Зависит от природы растворителя и растворенного вещества, концентрации раствора и давления в системе.
- **Теплоёмкость раствора ( $c_p$ )** – это отношение количества теплоты, сообщенной системе к соответственному изменению температуры [ $\text{кДж/кг}\cdot\text{град}$ ].
- 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 1 кг твердого вещества в таком количестве растворителя, что дальнейшее его прибавление практически не сопровождается тепловым эффектом.

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

# Полезная разность температур

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

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

- 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 высшей и низшей 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

