



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.

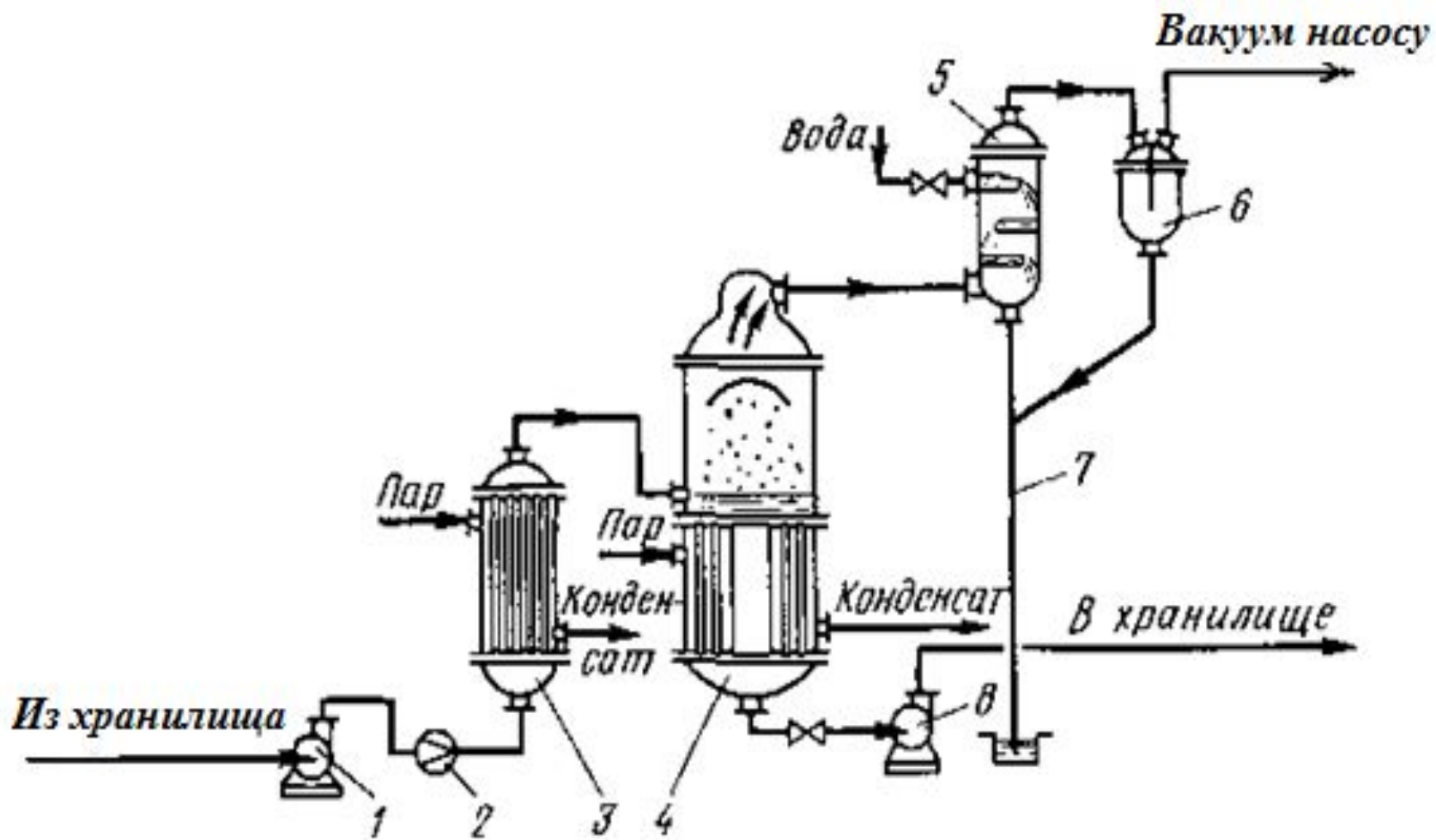
Простое выпаривание

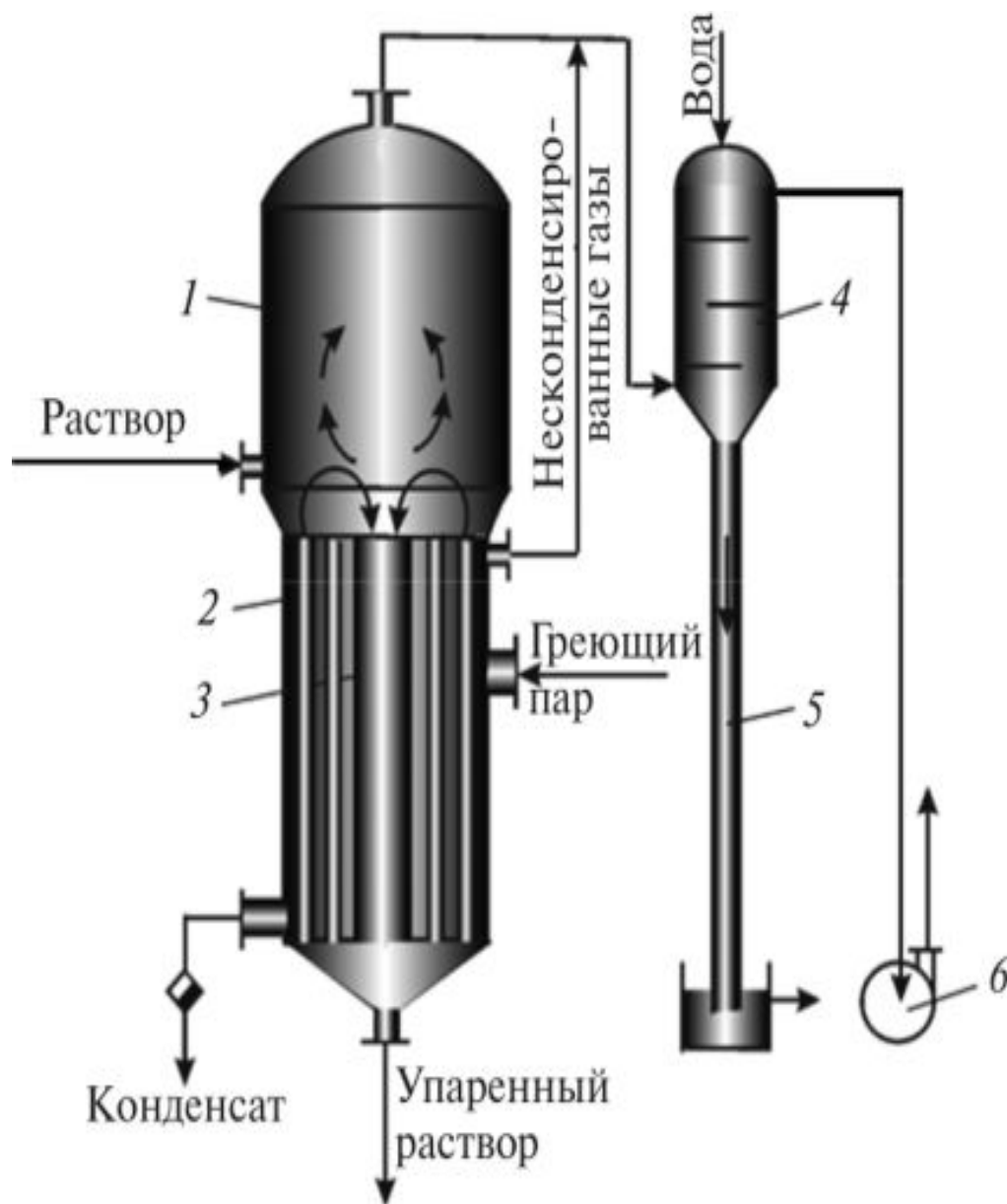
Осуществляется на установках небольшой производительности, когда экономия тепла не имеет большого значения.

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.





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

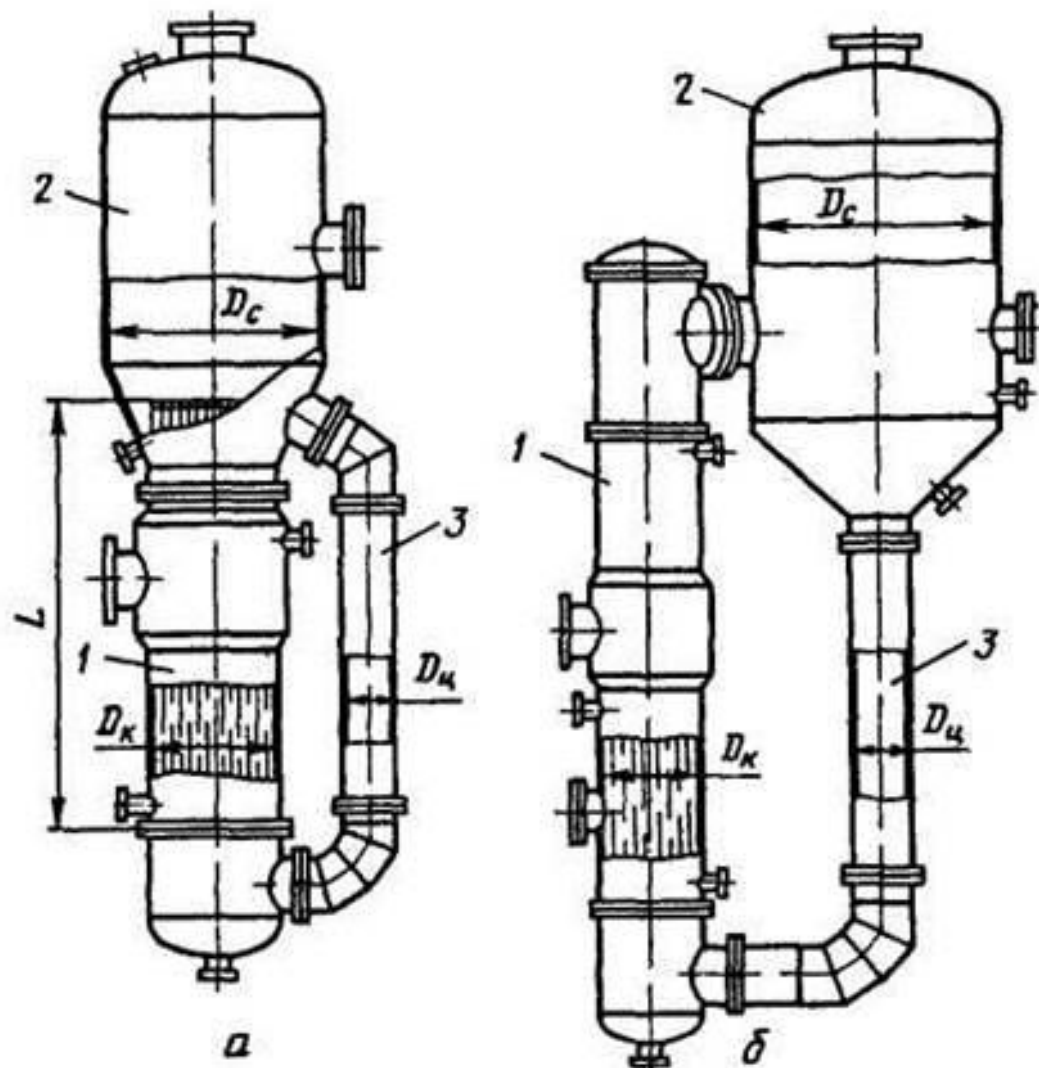
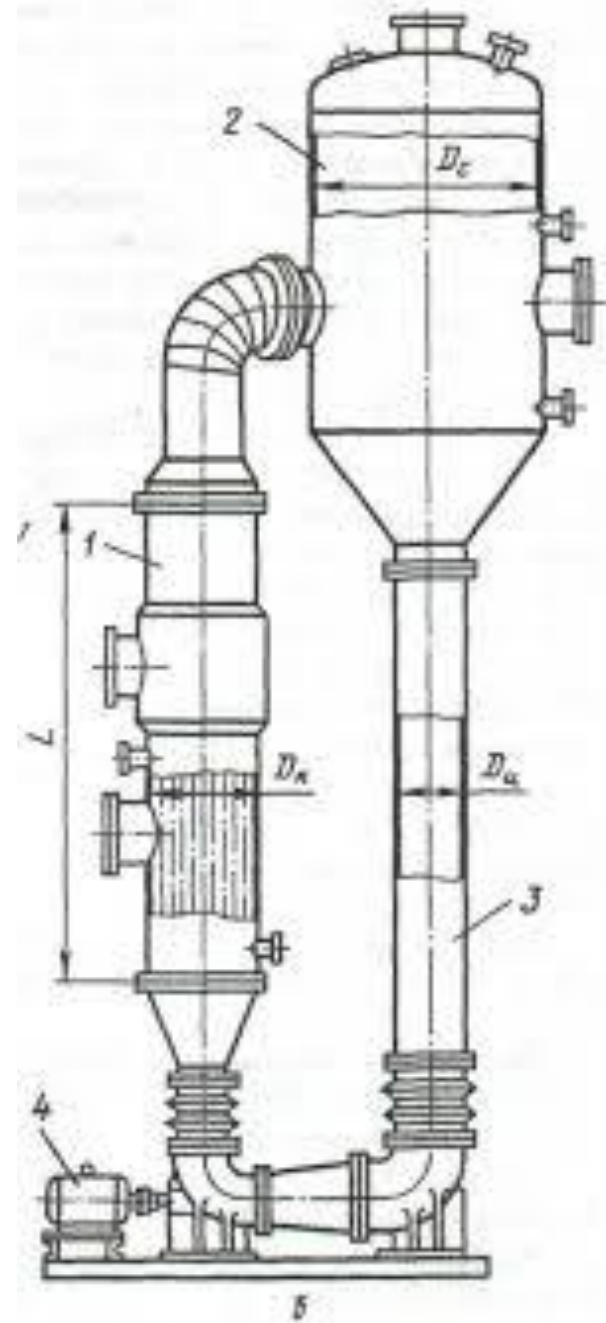
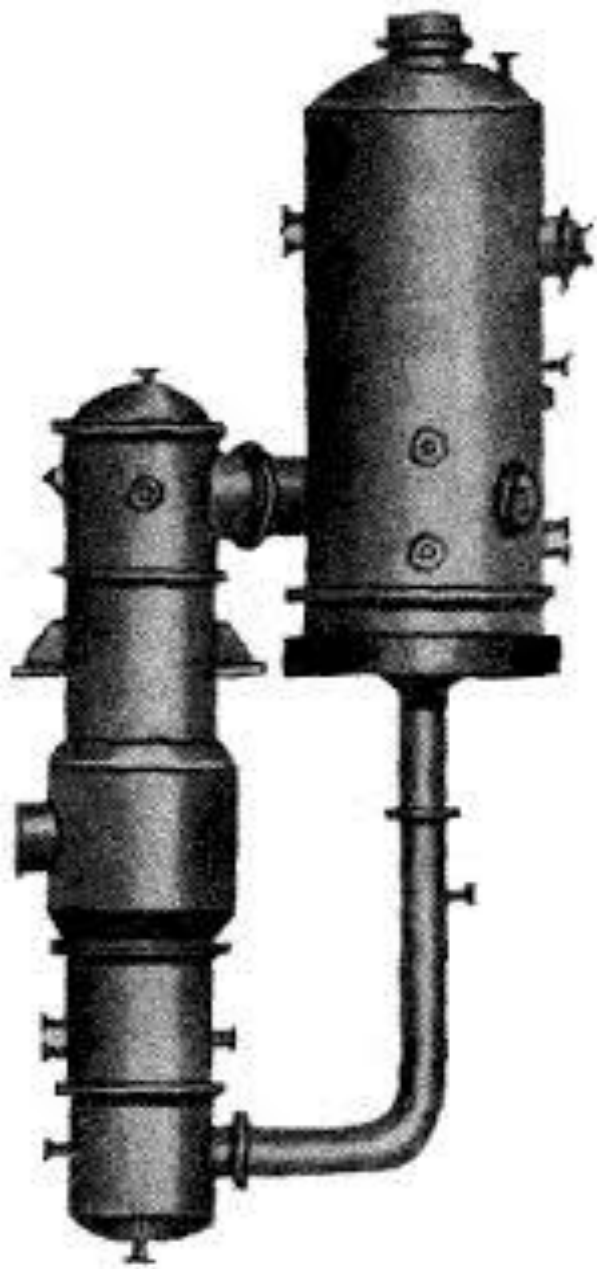
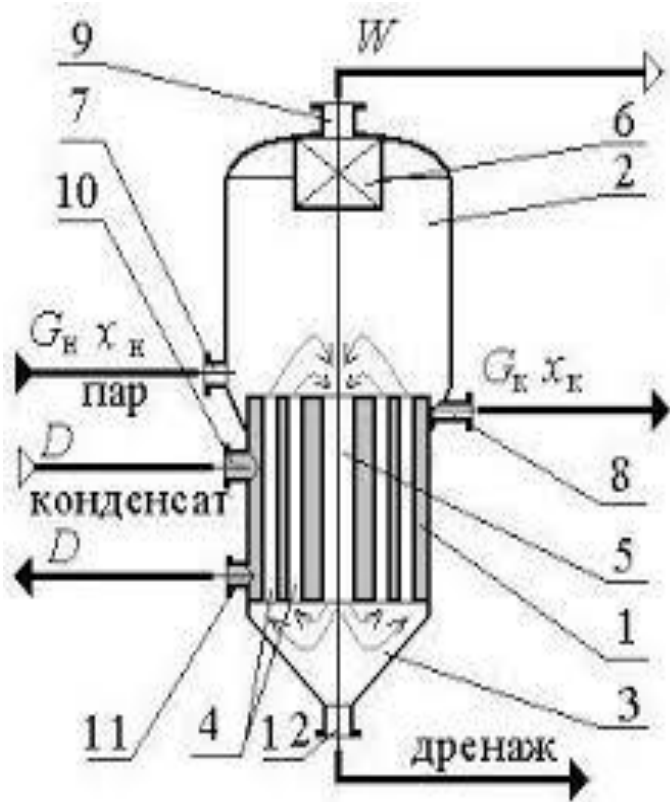


Рис 15 8 Выпарные аппараты с естественной циркуляцией раствора
a — с соосной греющей камерой, *б* — с вынесенной греющей камерой, 1 — греющая камера, 2 — сепаратор, 3 — циркуляционная труба, D_c , D_k , D_u — диаметры соответственно сепаратора, камеры и циркуляционной трубы, L — длина камеры





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 (Δ_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.
- 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.

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

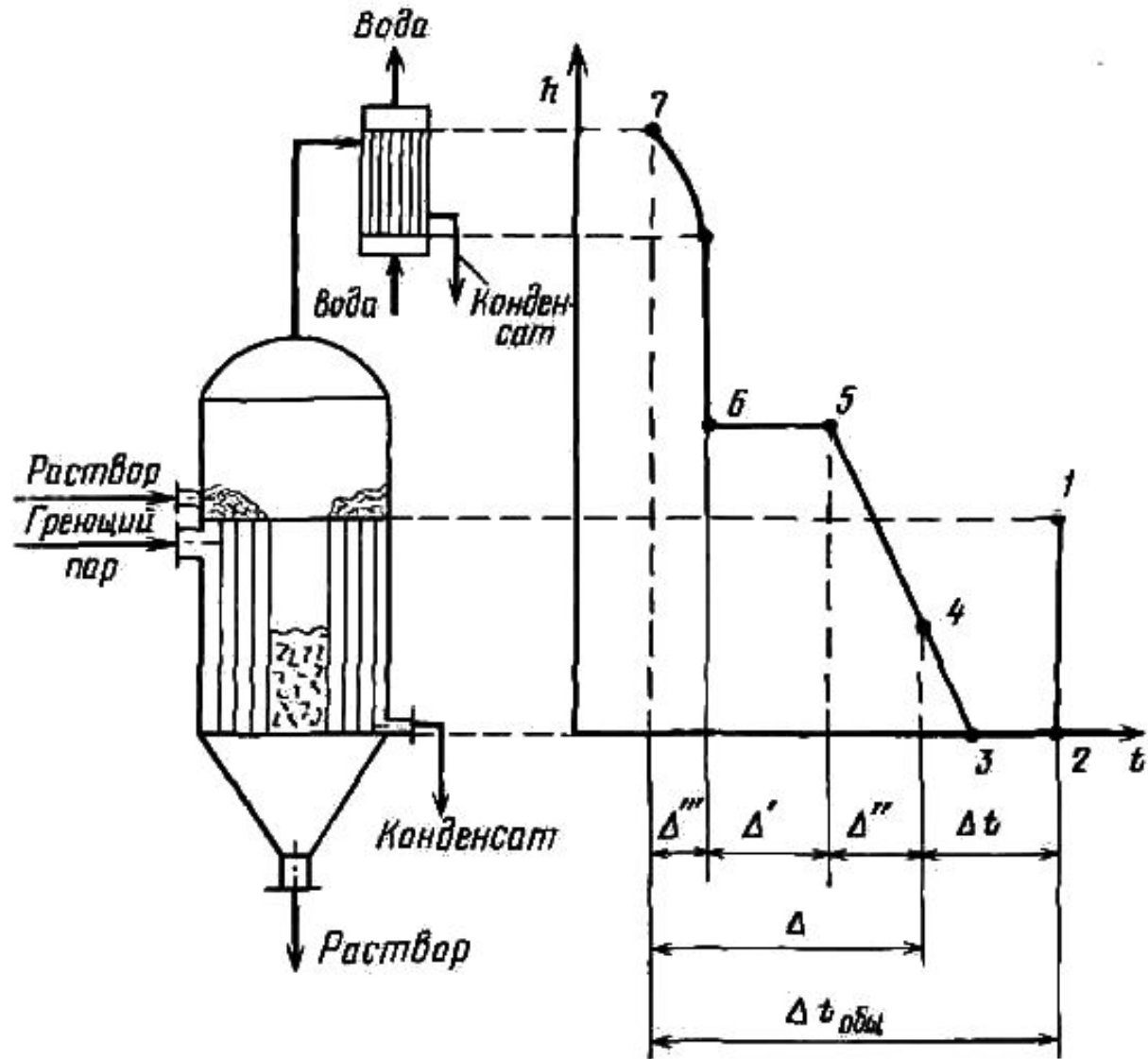
- Определяется как общая разность температур за вычетом температурных потерь.

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

- **Общая разность температур** в выпарной установке - это разность между 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

$$\Sigma\Delta = \Delta_{\Gamma} + \Delta_{\text{д}} + \Delta_{\text{п}}$$

Δ_{Γ} – потери общей разности температур за счет гидростатического эффекта

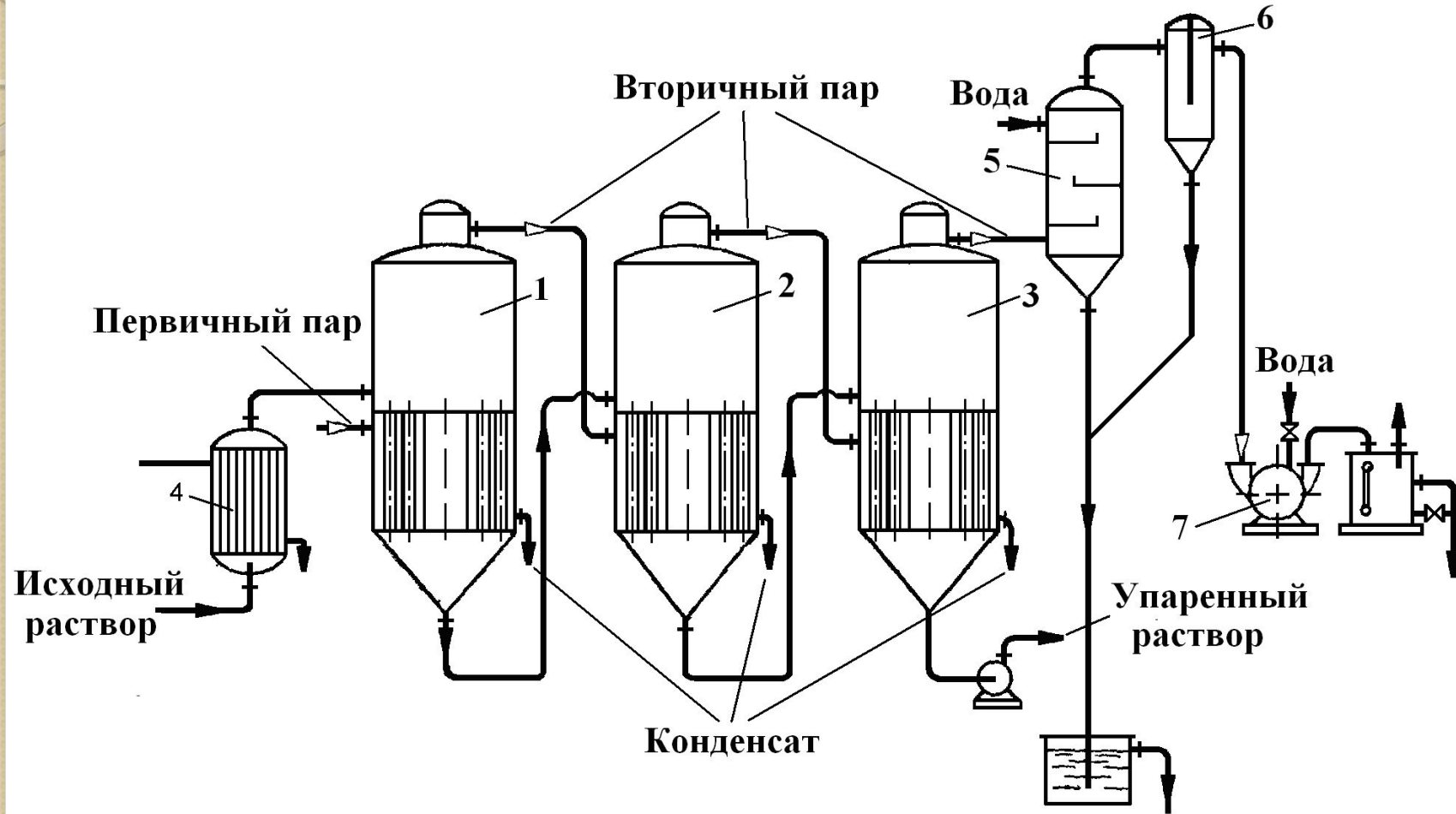
$$\Delta P_c = \rho \cdot g \cdot \left(h_{\text{изб}} + \frac{h_{\text{тр}}}{2} \right)$$

$\Delta_{\text{д}}$ – потери общей разности температур за счет температурной депрессии

$$\Delta_{\text{д}} = t_{\text{р-ра}} - t_{\text{р-ля}}$$

$\Delta_{\text{п}}$ – потери общей разности температур за счет гидравлических потерь

Многократное выпаривание



- Материальный баланс многократного выпаривания

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

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

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$x_{K1} = \frac{G_H x_H}{G_H - W_1} \quad x_{K2} = \frac{G_H x_H}{G_H - W_1 - W_2}$$

$$x_{K3} = \frac{G_H x_H}{G_H - W_1 - W_2 - W_3}$$

Тепловой баланс многократного выпаривания

$$D_m = \frac{G_{км} (c_{км} t_{км} - c_{нм} t_{нм} \pm 0,01 x_{тк} \Delta q_m)}{H_m - H_{км}} + \frac{W_m (H_{впм} - c_{нм} t_{нм})}{H_m - H_{км}} + \frac{Q_{пм}}{H_m - H_{км}}$$

- - Общая разность температур

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

- - Полезная разность температур

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

Распределение суммарной полезной разности температур

1. способ, обеспечивающий равные поверхности нагрева по корпусам

$$F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_m$$

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

2. способ, обеспечивающий минимальную суммарную поверхность нагрева всех корпусов

$$F_{\text{общ}} = F_1 + F_2 + \dots + F_m = \min$$

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

Оптимальное число корпусов

