

Гидромашины и компрессоры

Лекция 5,6 Теория подобия центробежных машин

Теория подобия центробежных насосов

- Позволяет выполнить пересчет:
 - - размеров насоса с модельного на натурный;
 - - пересчитать характеристики с модельного насоса на натурный;
 - - пересчитать характеристику насоса с воды на более вязкую жидкость;
 - - пересчитать характеристику насоса с одного числа оборотов на другое;
 - - пересчитать характеристику насоса с одного диаметра на другой.

Теория подобия центробежных насосов

- Чтобы два насоса были подобны необходимо выполнить три условия подобия:
 - геометрическое подобие;
 - кинематическое;
 - динамическое.

Теория подобия центробежных насосов

1. Геометрическое подобие - сходственные размеры пропорциональны, а углы равны

$$\frac{D_{2H}}{D_{2M}} = \frac{D_{1H}}{D_{1M}} = \frac{b_{2H}}{b_{2M}} = \frac{\delta_{2H}}{\delta_{2M}} = \dots = \kappa_l \text{ - линейный масштаб моделирования}$$

$$\angle\beta_{1H} = \angle\beta_{1M} \quad \angle\beta_{2H} = \angle\beta_{2M}$$

2. Кинематическое подобие – подобие полей скоростей

$$\frac{c_{2H}}{c_{2M}} = \frac{c_{r2H}}{c_{r2M}} = \frac{w_{2H}}{w_{2M}} = \frac{u_{2H}}{u_{2M}} = \kappa_v \quad \frac{u_{2H}}{u_{2M}} = \frac{\omega_H \cdot R_{2H}}{\omega_M \cdot R_{2M}} = \frac{\omega_H \cdot D_{2H}}{\omega_M \cdot D_{2M}} = \frac{n_H \cdot D_{2H}}{n_M \cdot D_{2M}}$$

3. Динамическое подобие – подобие полей сил

$$Re = \frac{\text{инерция}}{\text{трение}}$$

$$E_u = \frac{\text{инерция}}{\text{давление}}$$

Теория подобия центробежных насосов

- Частные формулы подобия

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{\eta_{оН} \cdot C_{r2H} \cdot \pi \cdot D_{2H} \cdot b_{2H} \cdot \kappa_H}{\eta_{оМ} \cdot C_{r2M} \cdot \pi \cdot D_{2M} \cdot b_{2M} \cdot \kappa_M} \quad \frac{Q_H}{Q_M} = \frac{C_{r2H}}{C_{r2M}} \cdot \frac{D_{2H}}{D_{2M}} \cdot \frac{b_{2H}}{b_{2M}} = \kappa_v \cdot \kappa_{\varnothing}^2 \quad \frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M} \cdot \kappa_{\ell}^3 = \frac{n_H}{n_M} \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}}\right)^3 \quad \eta_{оН} = \eta_{оМ}$$

$$\kappa_H = \kappa_M$$

$$\frac{H_H}{H_M} = \frac{(\eta_z \cdot \kappa' \cdot H_{T\infty})_H}{(\eta_z \cdot \kappa' \cdot H_{T\infty})_M} \quad \frac{H_H}{H_M} = \frac{H_{T\infty H}}{H_{T\infty M}} = \frac{(C_2 U_2 \cos \alpha_2)_H}{(C_2 U_2 \cos \alpha_2)_M} = \kappa_v^2 = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}}\right)^2 \quad \frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}}\right)^2$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \frac{N_{нН} \cdot \eta_M}{\eta_H \cdot N_{нМ}} \quad \frac{N_H}{N_M} = \frac{N_{ПН}}{N_{ПМ}} = \frac{\rho_H \cdot g_H \cdot Q_H \cdot H_H}{\rho_M \cdot g_M \cdot Q_M \cdot H_M} \quad \eta_H = \eta_M$$

$$\rho_H = \rho_M$$

$$\frac{N_H}{N_M} = \frac{Q_H \cdot H_H}{Q_M \cdot H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}}\right)^5$$

Теория подобия центробежных насосов

Коэффициент быстроходности

$$\left[\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M} \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}} \right)^3 \right]^2$$

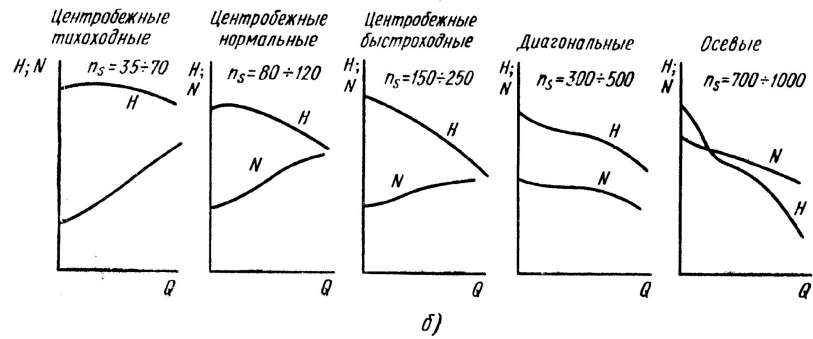
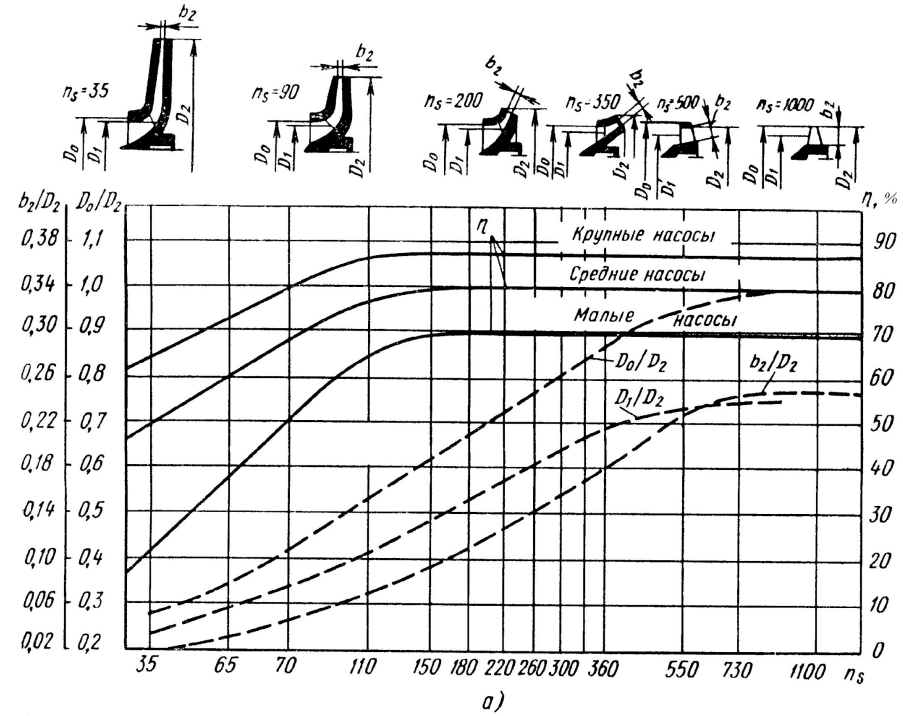
$$\left[\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_{2H}}{D_{2M}} \right)^2 \right]^3$$

$$\left(\frac{Q_H}{Q_M} \right)^2 \cdot \left(\frac{n_M}{n_H} \right)^2 = \left(\frac{H_H}{H_M} \right)^3 \cdot \left(\frac{n_M}{n_H} \right)^6$$

$$\left(\frac{n_M}{n_H} \right)^4 = \left(\frac{Q_H}{Q_M} \right)^2 \cdot \left(\frac{H_M}{H_H} \right)^3$$

$$n_M = n_H \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{Q_M}} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{H_M}{H_H} \right)^3} = n_H \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_H}{Q_M}}}{\left(\frac{H_H}{H_M} \right)^{3/4}} \quad n_M = n_S = 3,65n \cdot \frac{\sqrt{Q_0}}{H_0^{3/4}}$$

Коэффициент быстроходности ЦБН



Пересчет характеристики насосов с одного числа оборотов на другое

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 = \frac{n_1}{n_2} ; \text{ т.к. колесо одно и то же, то } D_2 = D_1$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

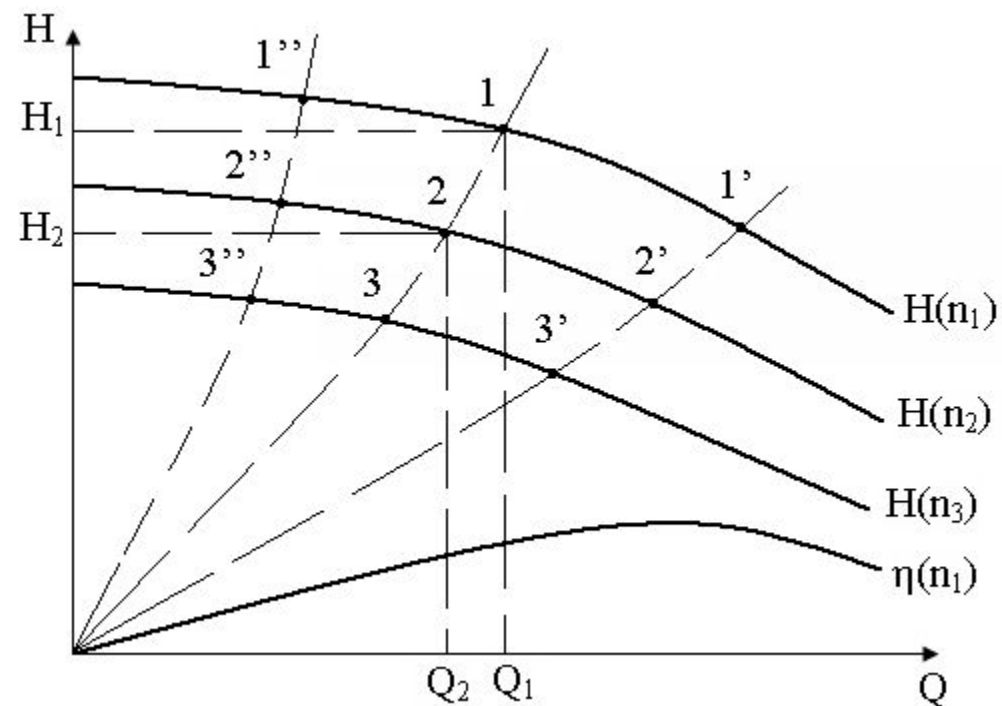
$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 = \frac{H_2}{H_1}$$

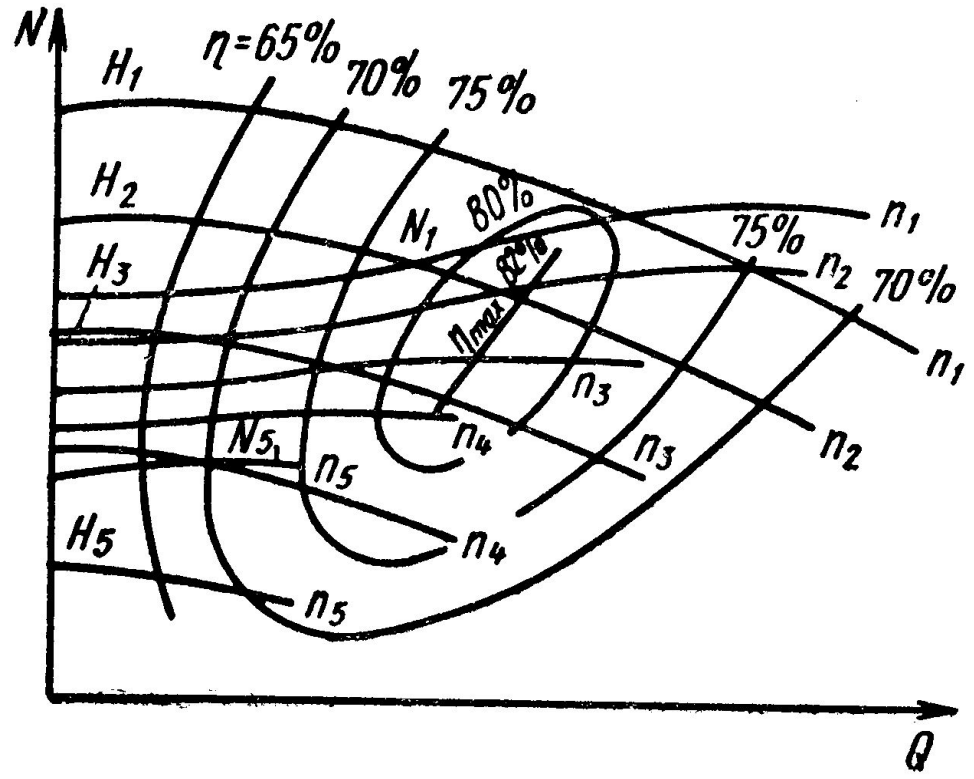
$$\frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{H_3}{Q_3^2} = \text{const}$$

$$H = c \cdot Q^2 \quad \eta_1 = \eta_2 = \eta_3$$

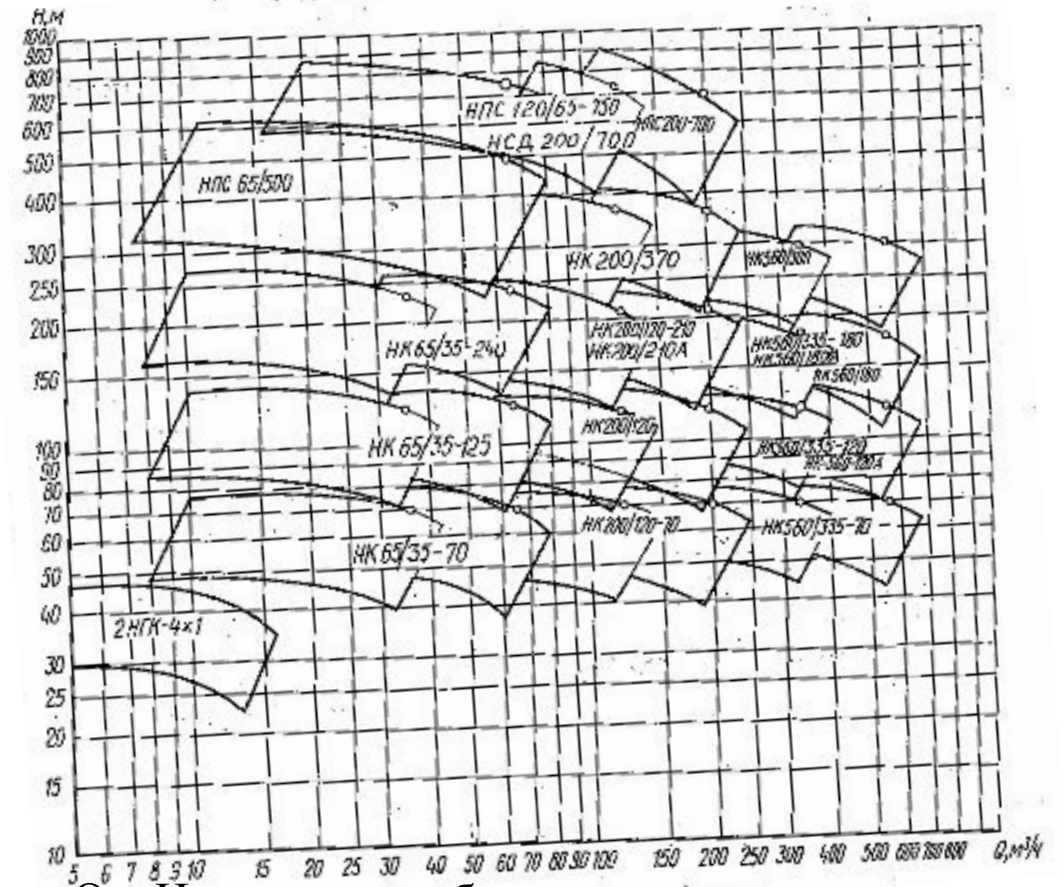


Изменение характеристики при пересчете с одного числа оборотов на другое

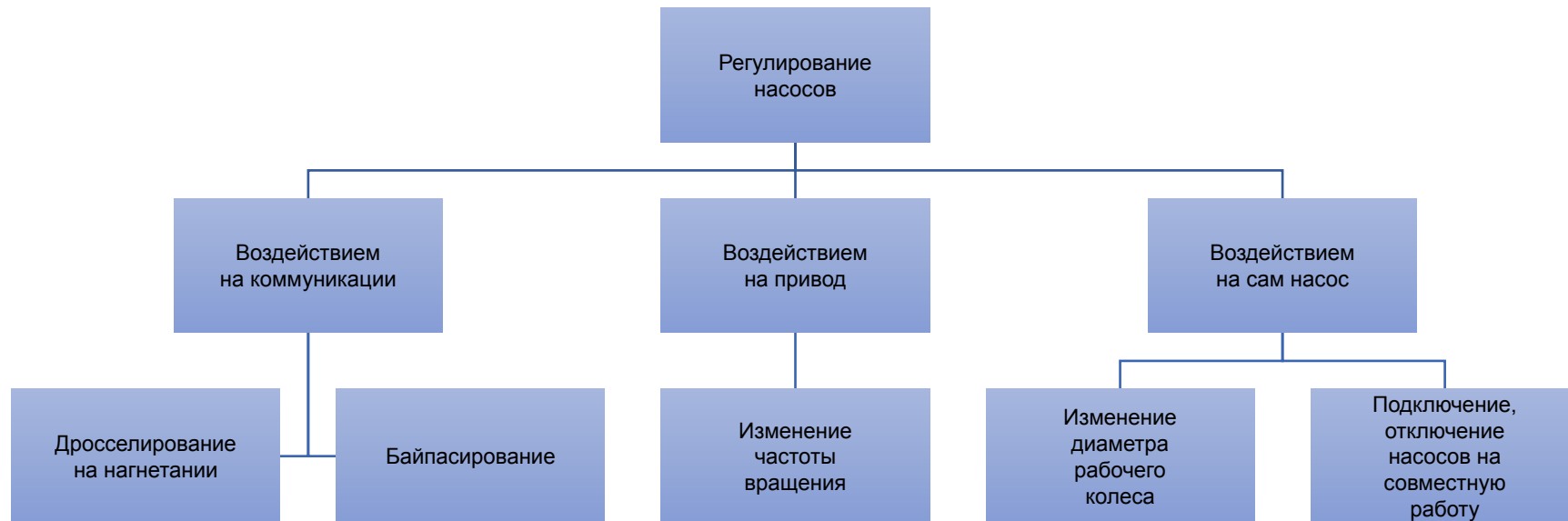
Характеристики насосов



Универсальная характеристика центробежных насосов

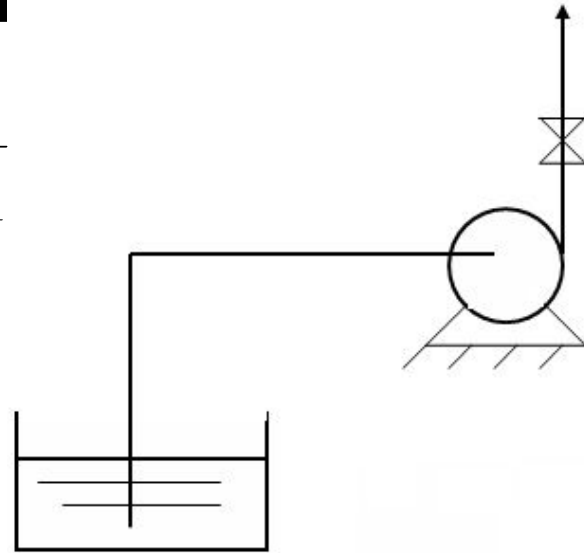


Q – H поля центробежных насосов



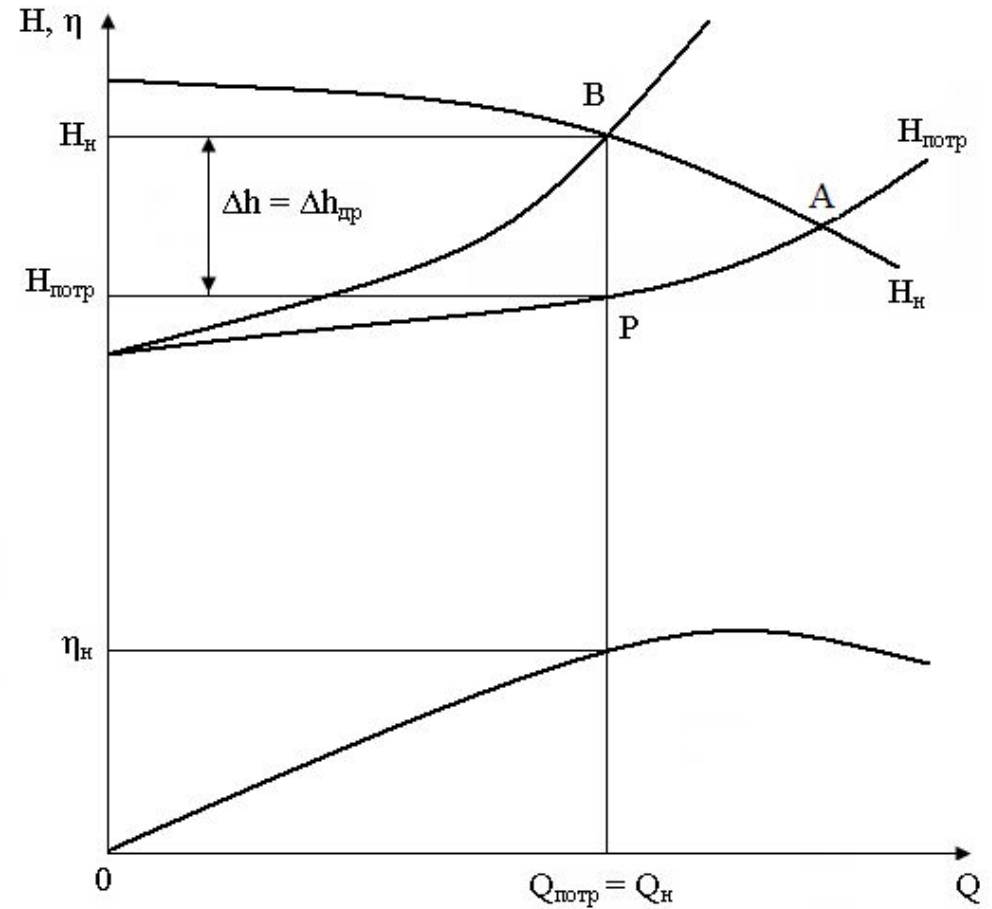
Регулирование дросселированием на нагнетании

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{\text{потр}} \cdot H_{\text{потр}}}{\rho \cdot g \cdot Q_H \cdot H_H \cdot \frac{1}{\eta_H}}$$



$$\eta = \frac{H_{\text{потр}}}{H_H} \cdot \eta_H = \frac{H_H - \Delta h_{\text{др}}}{H_H} \cdot \eta_H$$

$$\eta = \left(1 - \frac{\Delta h_{\text{др}}}{H_H} \right) \cdot \eta_H$$



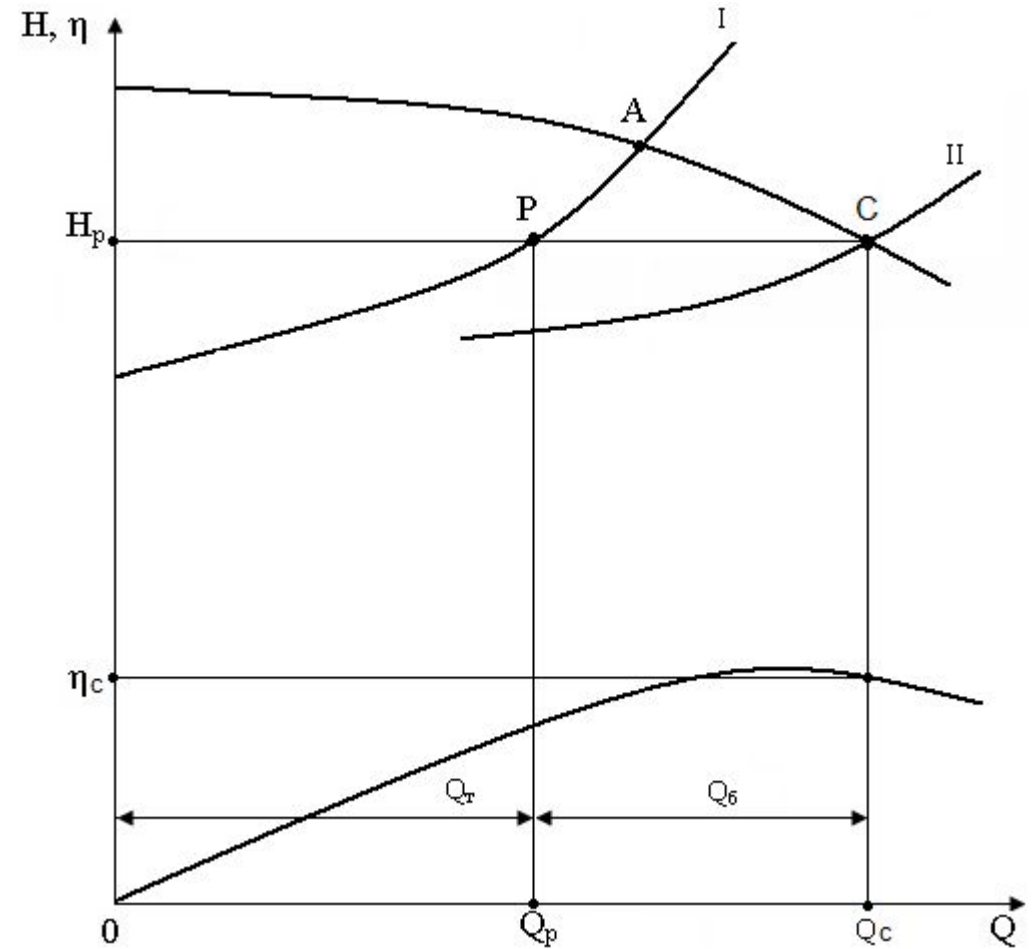
Применение байпаса

$$\eta_{\text{рег}} = \frac{Q_P}{Q_c} \cdot \eta_c = \left(1 - \frac{Q_B}{Q_c}\right) \eta_c$$

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{\text{потр}} \cdot H_{\text{потр}}}{\rho \cdot g \cdot Q_H \cdot H_H \cdot \frac{1}{\eta_H}}$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{потр}}}{Q_H} \eta_H$$

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_b}{Q_H}\right) \cdot \eta_H$$



Изменение числа оборотов

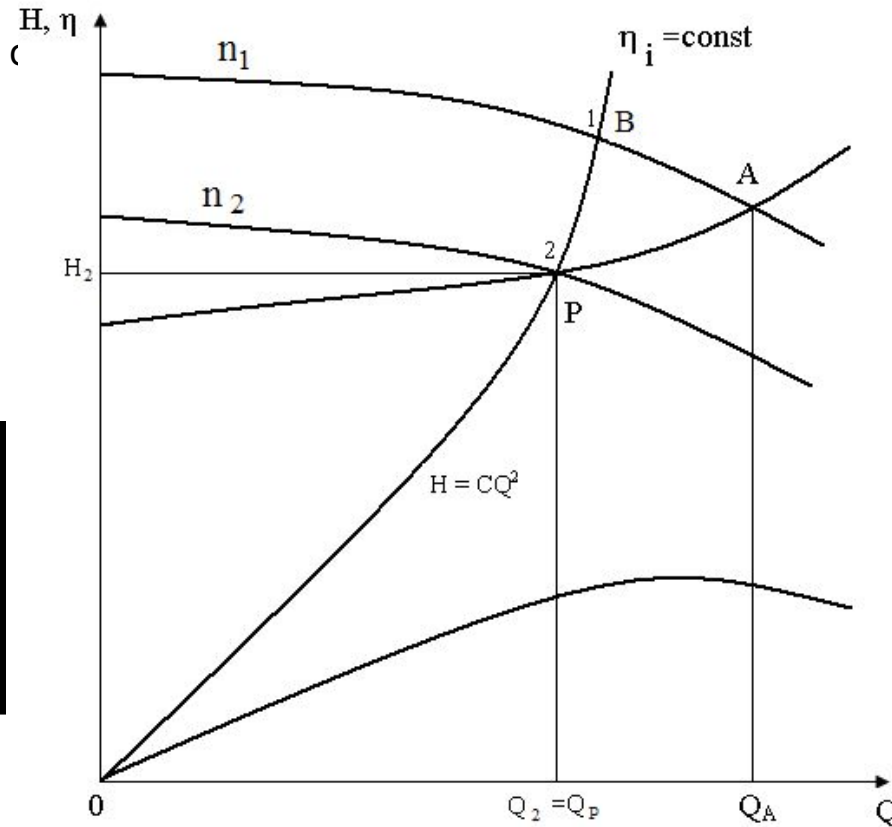
- Для определения числа оборотов вала насоса, с формулы подобия

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad H = C \cdot Q^2 \quad C = \frac{H_2}{Q_2^2}$$

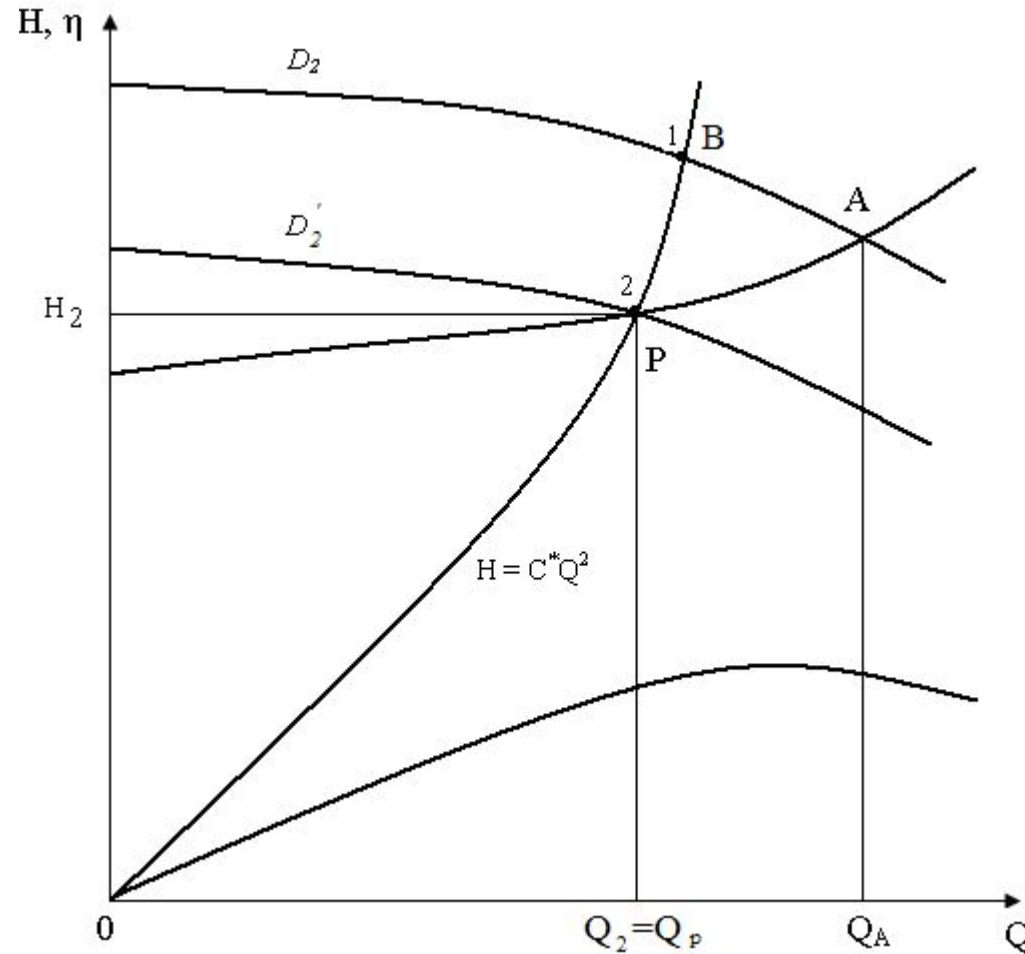
- Значения для построения параболы подобия

Q, м ³ /ч	0	Q _{потр}	
H, м	0	H _{потр}	

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{Q_2}{Q_1} = n_1 \frac{Q_P}{Q_B}$$



Обточка рабочих колес



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2'}{D_2}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2'}{D_2} \right)^2$$

$$H = C^* \cdot Q^2$$

$$C^* = \frac{H_2}{Q_2^2}$$

$$D_2' = D_2 \cdot \frac{Q_2}{Q_1} = D_2 \frac{Q_P}{Q_B}$$

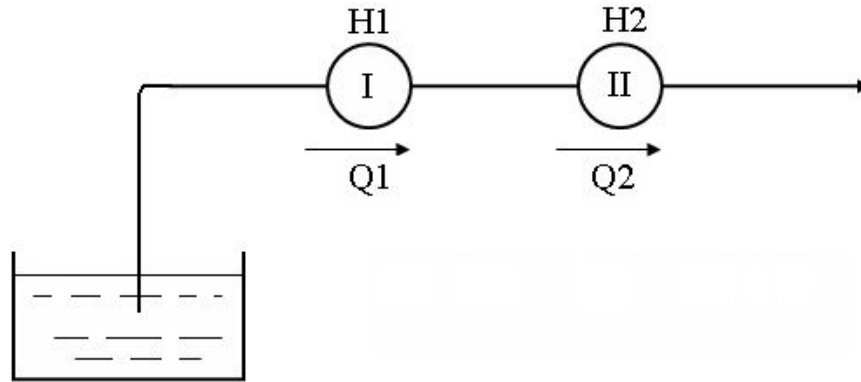
$$\delta = \frac{D_2 - D_2'}{D_2} \cdot 100\%$$

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{\frac{Q_0}{i}}}{\left(\frac{H_0}{j} \right)^{\frac{3}{4}}}$$

Допустимый процент обточки

n_s	15-120	120-200	200-300
$\delta_{\text{дон}}, \%$	20	15	10

Последовательное соединение насосов



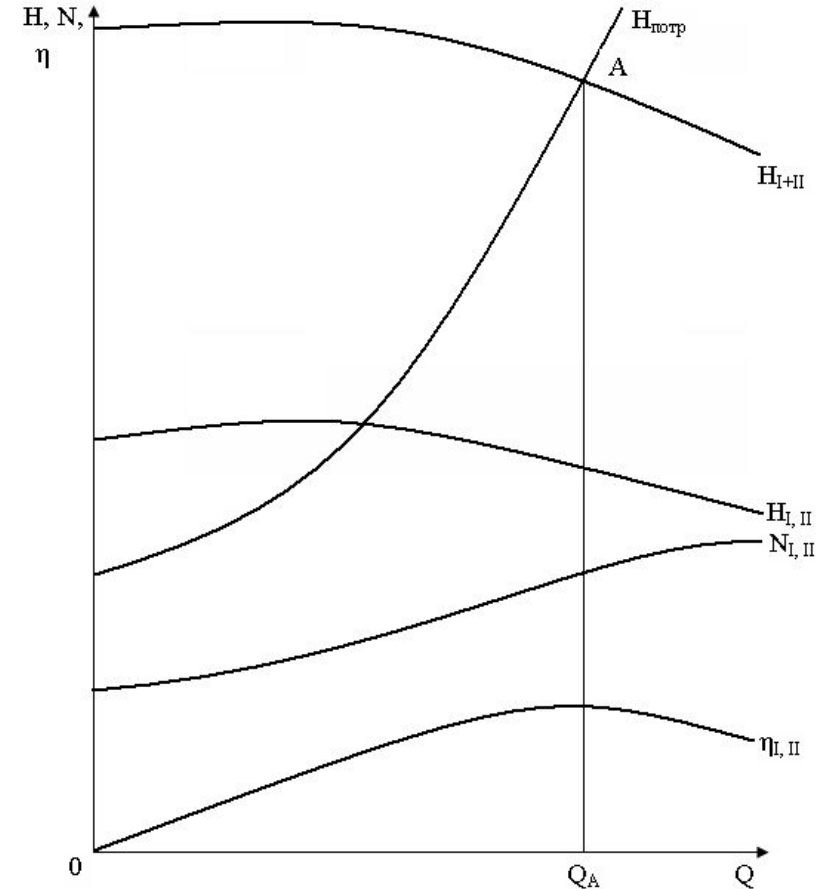
$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$H = H_1 + H_2$$

$$H_1 = a_1 - b_1 Q^2$$

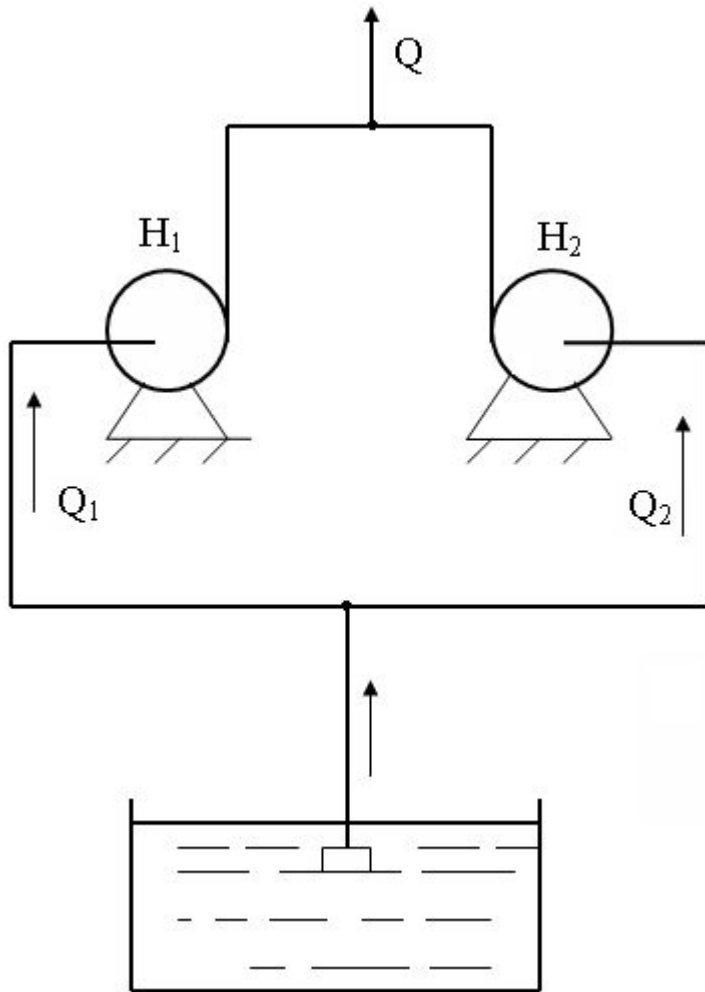
$$H_2 = a_2 - b_2 Q^2$$

$$H = (a_1 + a_2) - (b_1 + b_2) Q^2$$



$$\eta_{\text{уст}} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot \sum H_i}{\sum N_i}$$

Параллельное соединение насосов



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$H = H_1 = H_2$$

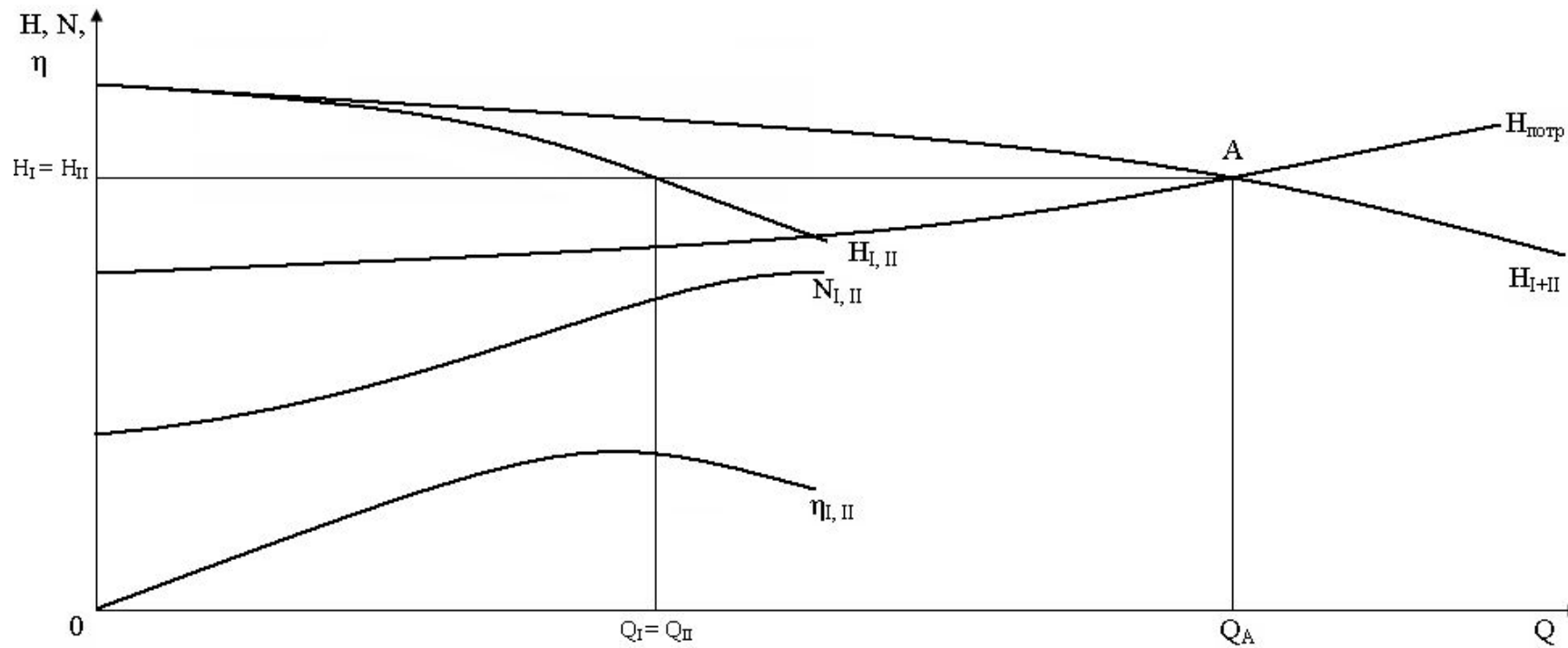
$$H_1 = a_1 - b_1 Q^2$$

$$H_2 = a_2 - b_2 Q^2$$

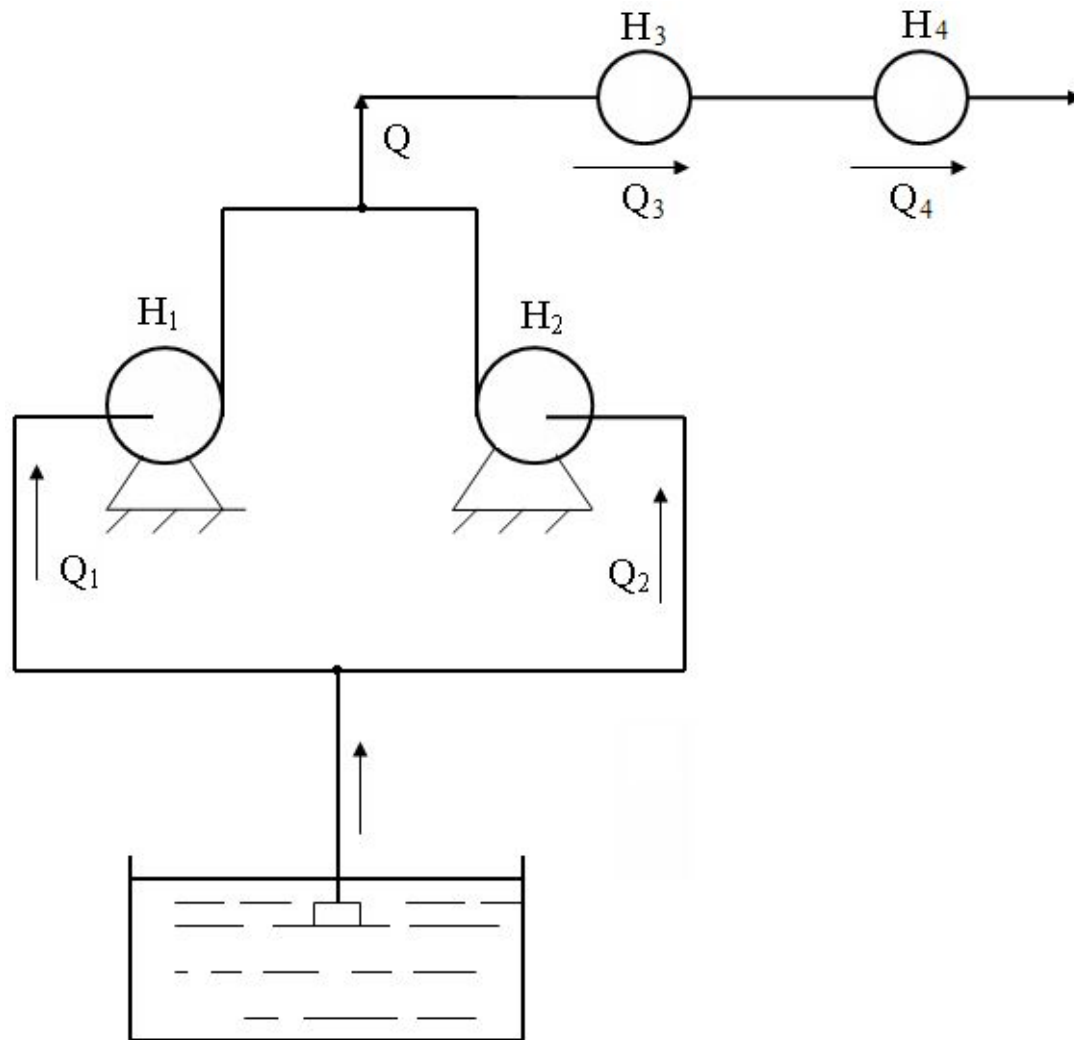
$$\sqrt{(a_1 - H)/b_1} + \sqrt{(a_2 - H)/b_2} = Q$$

$$\eta_{\text{уст}} = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot \sum Q_i}{\sum N_i}$$

Параллельное соединение насосов



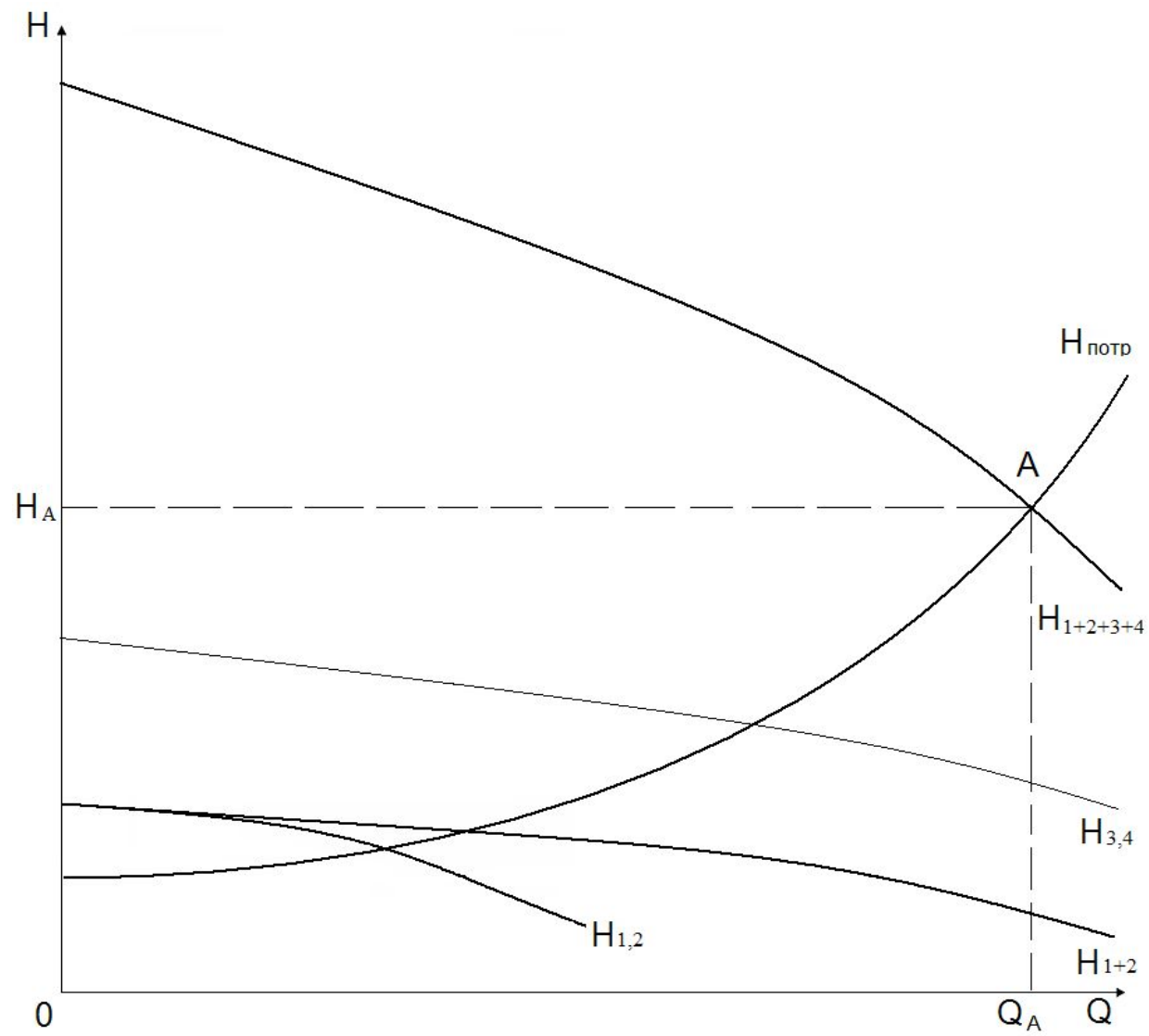
Параллельно-последовательное соединение



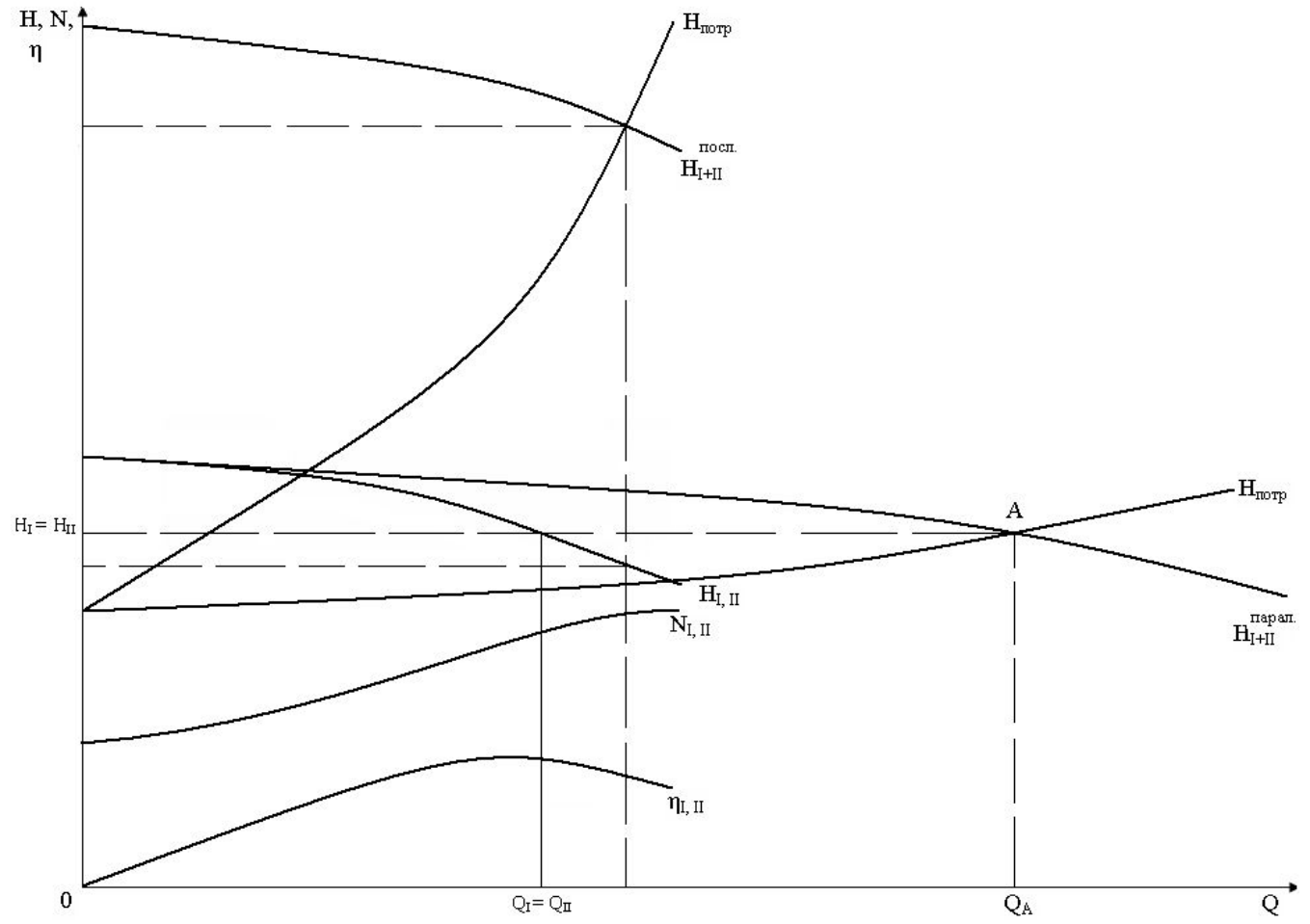
$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_3 = Q_4$$

$$H = H_{1,2} + H_3 + H_4$$

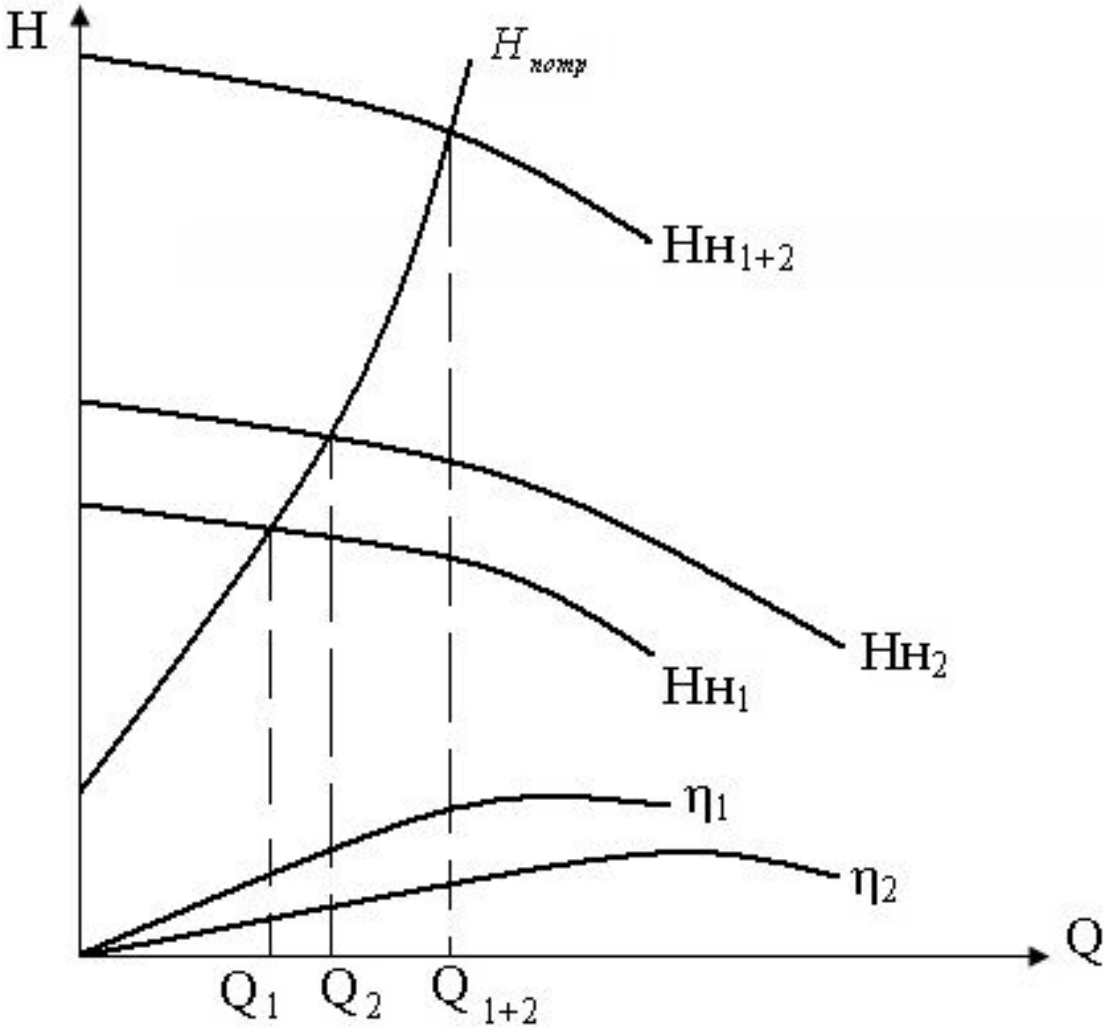
Параллельно-последовательное соединение



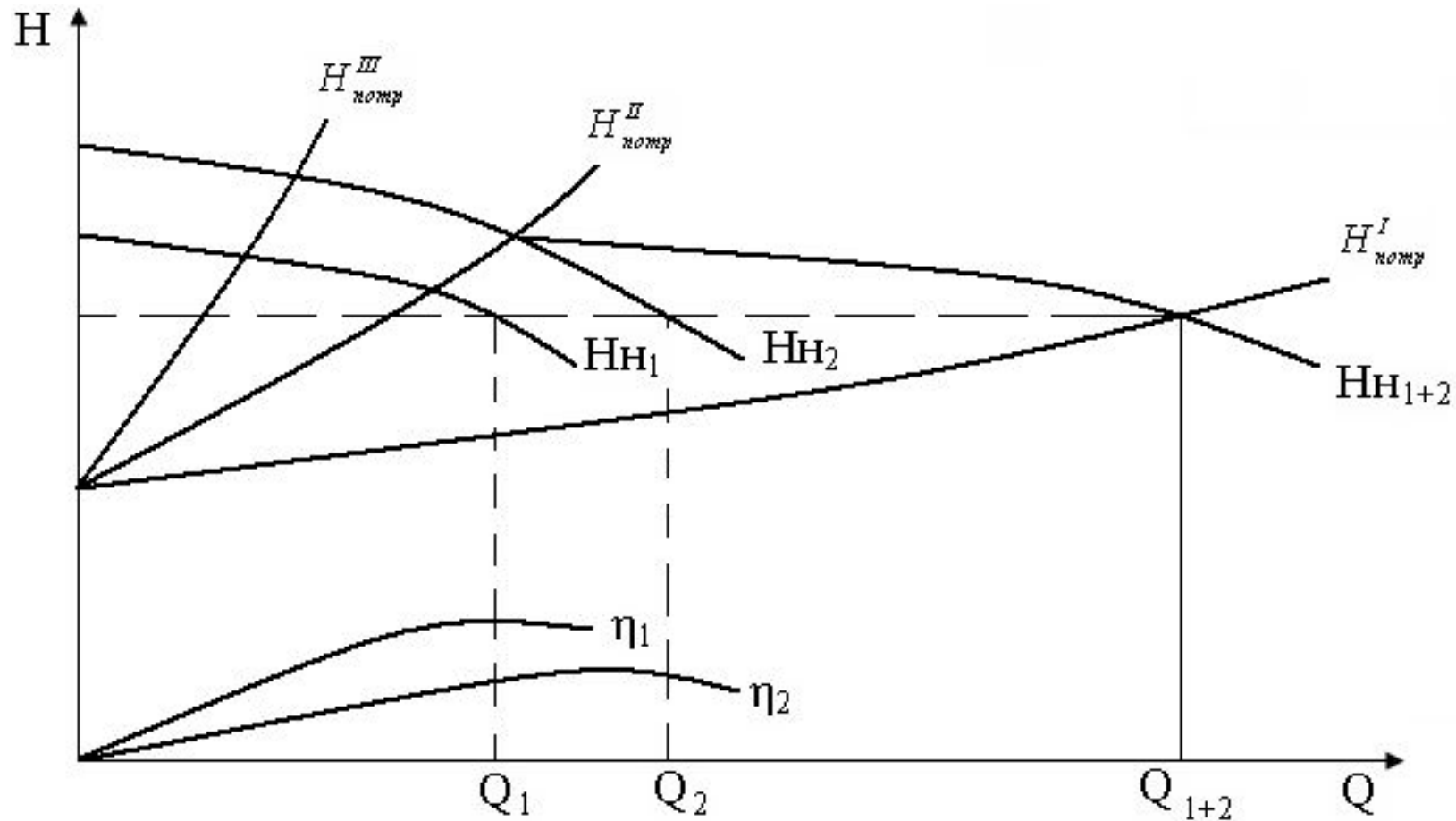
Сравнительная оценка совместной работы насосов



Последовательная работа разнотипных насосов

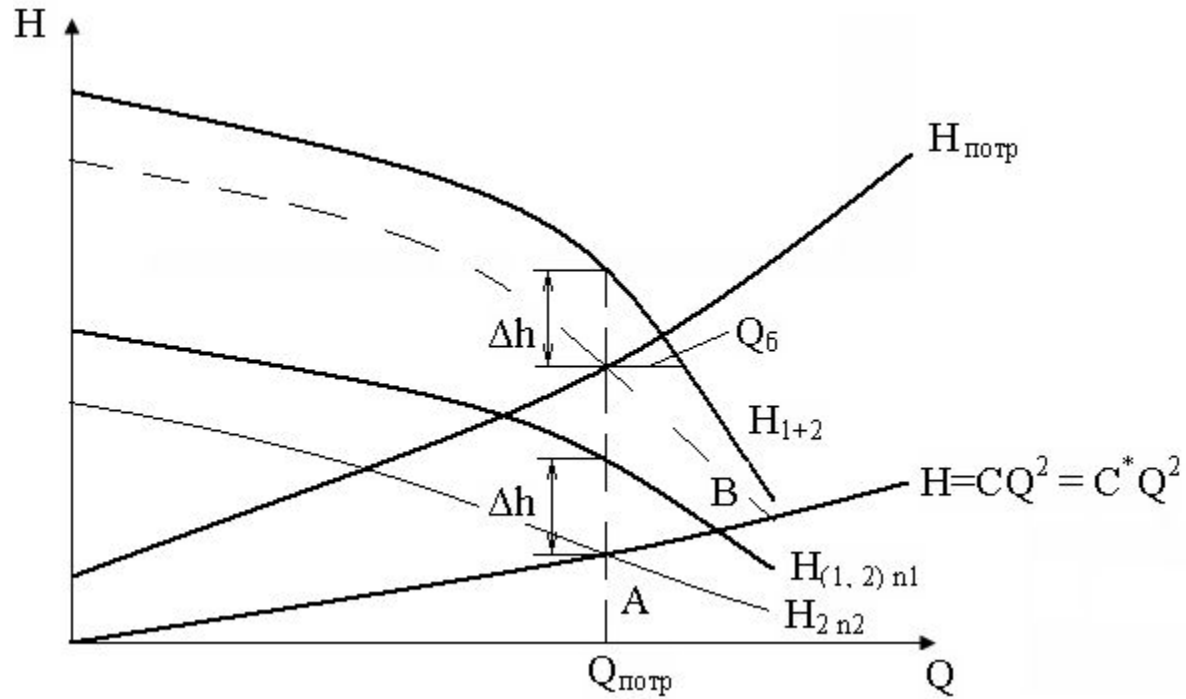


Параллельное соединение разнотипных насосов



Особенности регулирования при совместной работе насосов.

Последовательное соединение двух одноступенчатых насосов



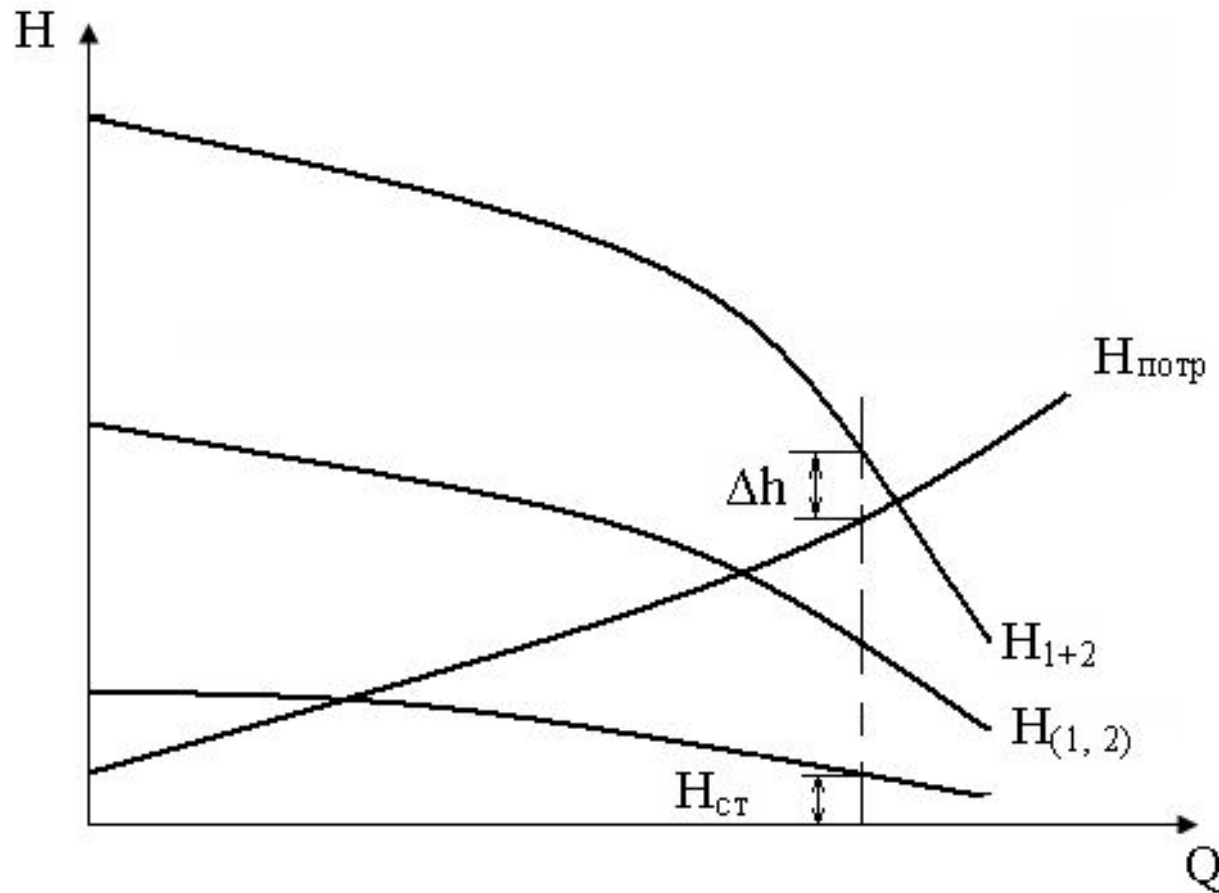
$$C = \frac{H_A}{Q_A^2}$$

$$n_2 = n_1 \frac{Q_A}{Q_B}$$

$$D_2' = D_2 \frac{Q_A}{Q_B}$$

Q			
H			

Особенности регулирования при совместной работе насосов. Последовательное соединение двух трехступенчатых насосов

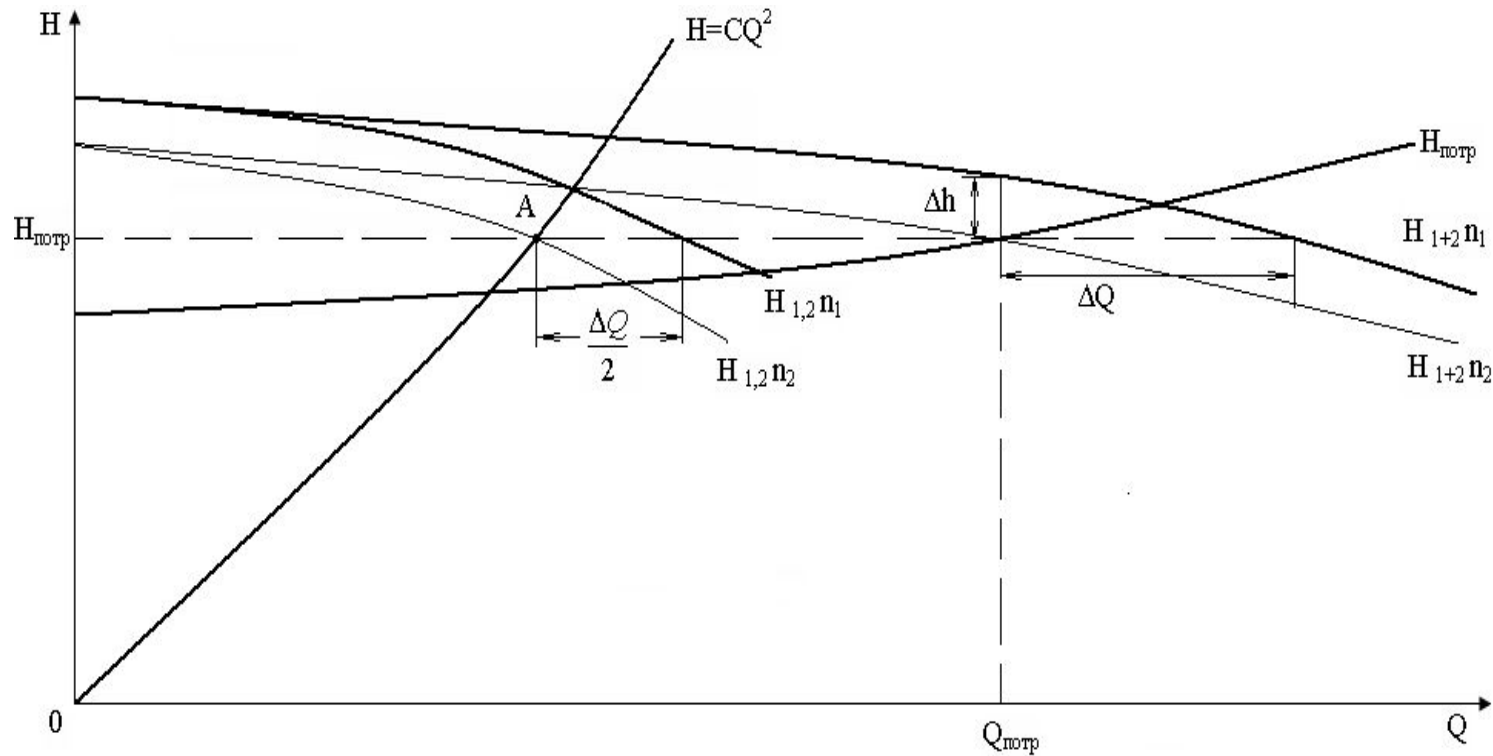


- 1) построить характеристику ступени
- 2) Если $\Delta h \geq H_{ст}$, то устраняем одну ступень

$$\Delta H = H_{ст} - \Delta h$$

Особенности регулирования при совместной работе насосов.

Параллельное соединение двух трехступенчатых насосов



1 регулируем обороты у каждого насоса одинаково.

2 откладываем $\frac{\Delta Q}{2}$, получаем точку А.

3 через точку А строим $CQ^2 = H$, находим т. В.

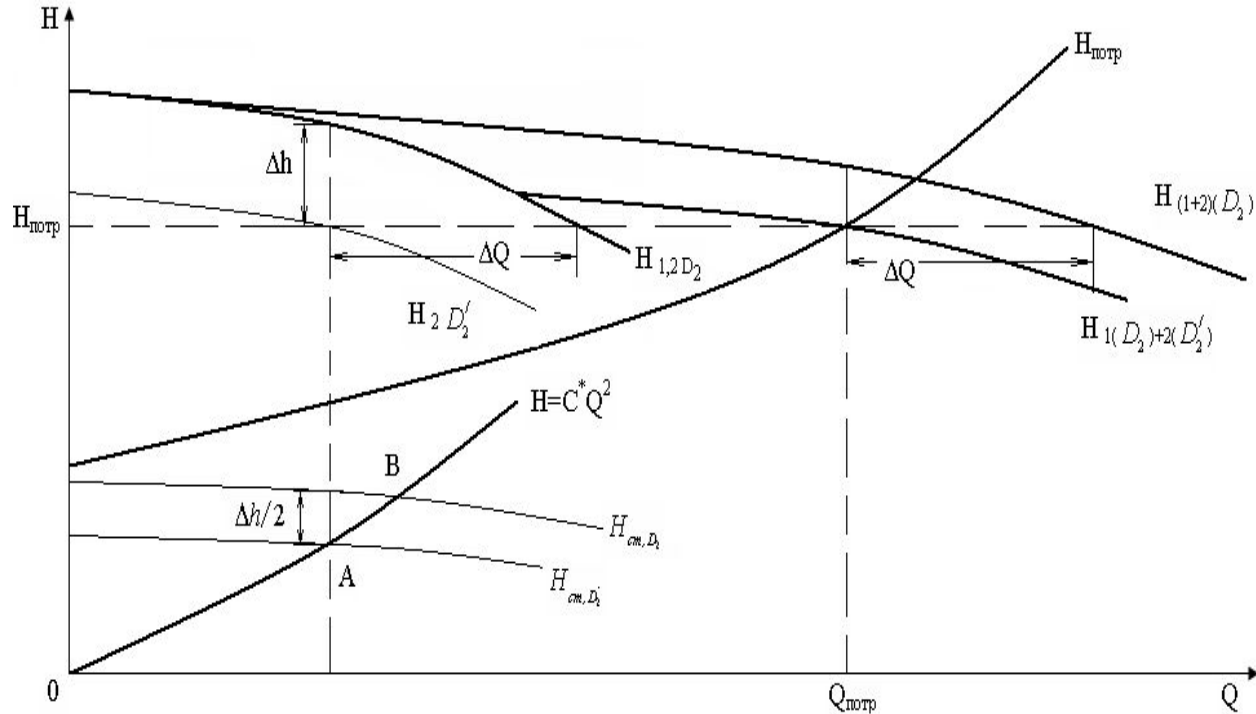
4 определяем $n_2 = n_1 \frac{Q_A}{Q_B}$

5 строим характеристику $H = f(Q)$ при n_2 .

Регулирование изменением числа оборотов двух параллельно работающих насосов

Особенности регулирования при совместной работе насосов.

Параллельное соединение двух трехступенчатых насосов



1 принимаем решение регулировать один насос; строим характеристику ступени

2 обтачиваем два колеса

3 от характеристики ступени откладываем $\frac{\Delta h}{2}$

4 через точку А строим параболу обточки $H = C \cdot Q^2$

$$D_2' = D_2 \frac{Q_A}{Q_B}$$

$$\delta = \frac{D_2 - D_2'}{D_2} \cdot 100\%$$

5 строим $H = f(Q)$ при D_2'

Регулирование изменением диаметра рабочего колеса двух параллельно работающих насосов