

### Исходные данные

Система: Сбор нефти

Жидкость: нефть:

$$Q_p := 120 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$\rho := 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\nu := 25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$p_{\text{НП}} := 14 \text{ кПа}$$

$$p_{\text{к}} := 0.25 \text{ МПа}$$

$$H_{\text{ГВ}} := 3 \text{ м}$$

$$L_{\text{Н}} := 7960 \text{ м}$$

$$L_{\text{Вс}} := 26 \text{ м}$$

$$H_{\text{ГН}} := 3 \text{ м}$$

$$p_0 := 101325 \text{ Па}$$

### Расчет:

Задаемся средними значениями скоростей:

$$V_{\text{Н}} := 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{\text{В}} := 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Расчитываем внутренние диаметры нагнетательного и всасывающего трубопроводов:

$$d'_{\text{Н}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot V_{\text{Н}} \cdot 3600}} = 0.145 \text{ м}$$

$$d'_{\text{В}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot V_{\text{В}} \cdot 3600}} = 0.206 \text{ м}$$

Примем стандартные диаметры трубопроводов (табл.2.1):

$$d_H := 159 \text{ мм} \quad \delta_H := 4 \text{ мм}$$

$$d_B := 219 \text{ мм} \quad \delta_B := 4 \text{ мм}$$

Расчитываем внутренние диаметры нагнетательного и всасывающего трубопроводов:

$$d'_H := d_H - 2 \cdot \delta_H = 151 \text{ мм}$$

$$d'_B := d_B - 2 \cdot \delta_B = 211 \text{ мм}$$

Требуемый статический напор:

$$Z := H_{ГВ} + H_{ГН} + \frac{p_K \cdot 10^6 - p_0}{\rho \cdot 9.81} = 23.83 \text{ м}$$

Строим характеристику трубопровода:

$$Q_c := \begin{pmatrix} 0.05 \cdot Q_p \\ 0.2 \cdot Q_p \\ 0.4 \cdot Q_p \\ 0.6 \cdot Q_p \\ 0.8 \cdot Q_p \\ 1 \cdot Q_p \\ 1.2 \cdot Q_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ 24 \\ 48 \\ 72 \\ 96 \\ 120 \\ 144 \end{pmatrix}$$

Определяем скорость движения жидкости для 7 режимов расхода жидкости:

$$V_{1H} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot (d'_H \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3600} = \begin{pmatrix} 0.093 \\ 0.372 \\ 0.745 \\ 1.117 \\ 1.489 \\ 1.861 \\ 2.234 \end{pmatrix} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{1B} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot (d'_B \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3600} = \begin{pmatrix} 0.048 \\ 0.191 \\ 0.381 \\ 0.572 \\ 0.763 \\ 0.953 \\ 1.144 \end{pmatrix} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определяем числа Рейнольдса:

$$Re_H := \frac{V_{1H} \cdot d'_B \cdot 10^{-3}}{\nu} = \begin{pmatrix} 786 \\ 3142 \\ 6284 \\ 9426 \\ 12568 \\ 15710 \\ 18852 \end{pmatrix}$$

$$Re_B := \frac{V_{1B} \cdot d'_B \cdot 10^{-3}}{\nu} = \begin{pmatrix} 402 \\ 1609 \\ 3218 \\ 4827 \\ 6437 \\ 8046 \\ 9655 \end{pmatrix}$$

Принимаем величину эквивалентной шероховатости (стальные трубы с незначительной коррозией):

$$\Delta_{\text{э}} := 0.15 \text{ мм}$$

Относительная эквивалентная шероховатость труб:

$$K_{\text{эН}} := \frac{\Delta_{\text{э}}}{d_H} = 0.0009$$

$$K_{\text{эВ}} := \frac{\Delta_{\text{э}}}{d_B} = 0.0007$$

Находим отношения

$$\frac{15}{K_{\text{эН}}} = 1.59 \times 10^4$$

$$\frac{580}{K_{\text{ЭВ}}} = 8.468 \times 10^5$$

Имеем зону гладкого трения

Определяем коэффициенты Дарси:

$$\lambda_{\text{H}} := \frac{0.3164}{\text{Re}_{\text{H}}^{0.25}} = \begin{pmatrix} 0.06 \\ 0.042 \\ 0.036 \\ 0.032 \\ 0.03 \\ 0.028 \\ 0.027 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\text{В}} := \frac{0.3164}{\text{Re}_{\text{В}}^{0.25}} = \begin{pmatrix} 0.071 \\ 0.05 \\ 0.042 \\ 0.038 \\ 0.035 \\ 0.033 \\ 0.032 \end{pmatrix}$$

Потери на трение и местные сопротивления напорного трубопровода:

$$h_{\text{тр.н}} := \left( \frac{1.02 \cdot L_{\text{H}}}{d'_{\text{H}} \cdot 10^{-3}} \right) \frac{V_{1\text{H}}^2}{2 \cdot 9.81 \cdot \lambda_{\text{H}}^{-1}} = \begin{pmatrix} 1.42 \\ 16.05 \\ 53.99 \\ 109.77 \\ 181.6 \\ 268.35 \\ 369.2 \end{pmatrix} \text{ м}$$

Коэффициент местного сопротивления поворота на 90 градусов:

$$\xi_{\text{пов}} := 0.5$$

Коэффициент местного сопротивления задвижки:

$$\xi_3 := 0.15$$

Коэффициент местного сопротивления выхода из резервуара:

$$\xi_{\text{ВЫХ}} := 0.5$$

Суммарные местные сопротивления всасывающего трубопровода:

$$\Sigma \xi_B := \xi_{\text{ВЫХ}} + 2 \cdot \xi_{\text{ПОВ}} + 2 \cdot \xi_3 = 1.8$$

Потери на трение и местные сопротивления всасывающего трубопровода:

$$h_{\text{Тр.В}} := \Sigma \xi_B \cdot \frac{V_{1B}^2}{2 \cdot 9.81} + \left( \frac{L_{\text{ВС}}}{d'_B \cdot 10^{-3}} \right) \frac{V_{1B}^2}{\lambda_B^{-1} \cdot 2 \cdot 9.81} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.01 \\ 0.05 \\ 0.11 \\ 0.18 \\ 0.27 \\ 0.38 \end{pmatrix}$$

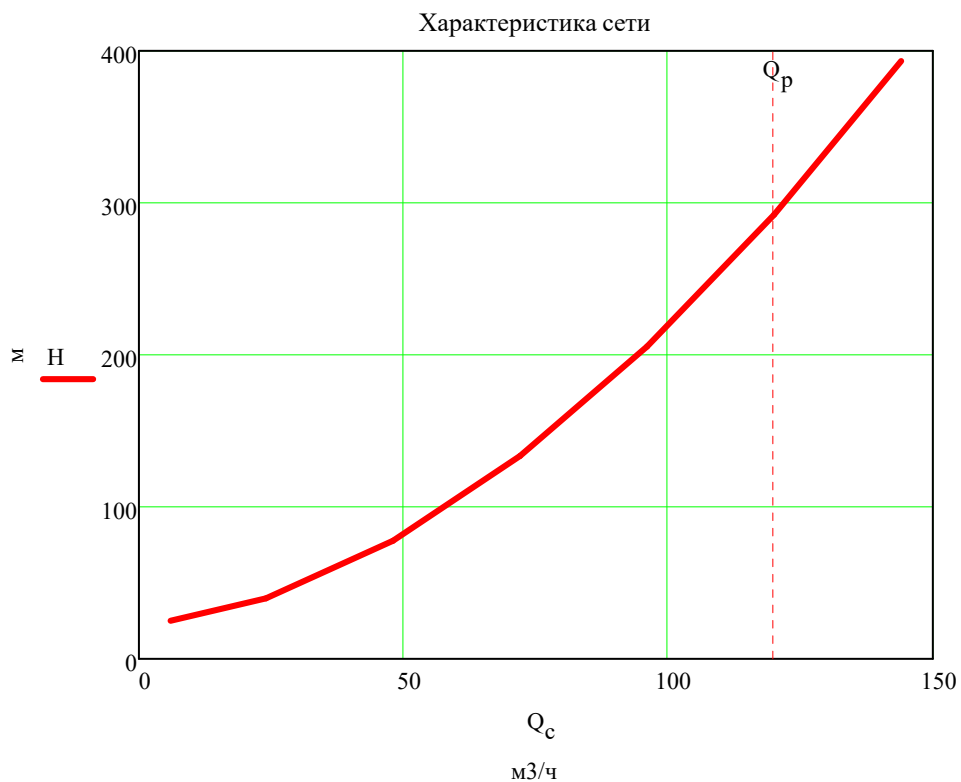
Суммарные потери напора:

$$h := h_{\text{Тр.Н}} + h_{\text{Тр.В}} = \begin{pmatrix} 1.42 \\ 16.066 \\ 54.041 \\ 109.873 \\ 181.779 \\ 268.623 \\ 369.587 \end{pmatrix}$$

Требуемый напор:

$$\underline{\underline{H}} := h + Z = \begin{pmatrix} 25.25 \\ 39.896 \\ 77.871 \\ 133.703 \\ 205.609 \\ 292.453 \\ 393.416 \end{pmatrix}$$

Строим характеристику сети:



### Выбор насоса

$$H_{\text{потр}} := 290 \text{ м}$$

Выбираем насос **ЦНС 105-343**

Находим эмпирические коэффициенты характеристики насоса

$$h_1 := 410 \quad Q_1 := 55 \quad H_1 := 400$$

$$Q_2 := 115 \quad H_2 := 320$$

$$b := \frac{\left( H_2 - h_1 - \frac{H_1 - h_1}{Q_1} \cdot Q_2 \right)}{Q_1 \cdot Q_2 - Q_2^2} = 0.01001$$

$$a := \frac{H_1 - h_1}{Q_1} + b \cdot Q_1 = 0.369$$

$$H_H(Q) := h_1 + a \cdot Q - b \cdot Q^2$$

$$c_1 := 0$$

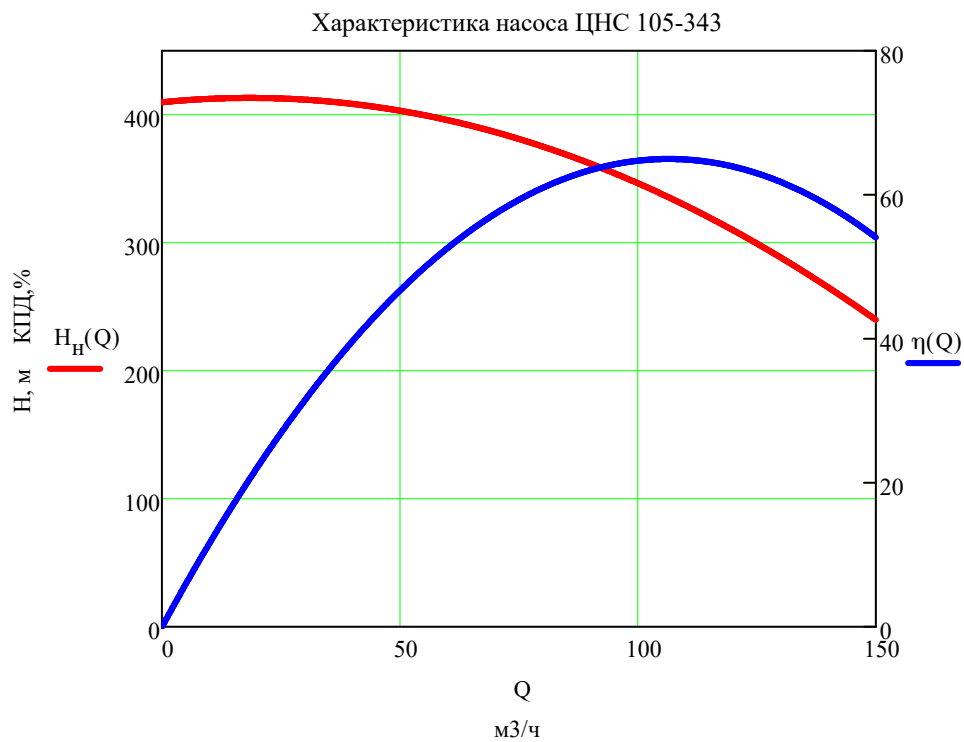
$$Q_{1w} := 80 \quad \eta_1 := 61$$

$$Q_{2w} := 105 \quad \eta_2 := 65$$

$$c_3 := \frac{\left( \eta_2 - c_1 - \frac{\eta_1 - c_1}{Q_1} \cdot Q_2 \right)}{-Q_1 \cdot Q_2 + Q_2^2} = -5.738 \times 10^{-3}$$

$$c_2 := \frac{\eta_1 - c_1}{Q_1} - c_3 \cdot Q_1 = 1.222$$

$$\eta(Q) := c_1 + c_2 \cdot Q + c_3 \cdot Q^2$$



Пересчет характеристики

$$n := 2950 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Диаметр колеса:

$$D_2 := 225 \text{ мм}$$

Количество ступеней:

$$j := 7$$

Коэффициент быстроходности насоса:

$$n_S := 3.65 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_p}{3600}}}{\left(\frac{H_{\text{потр}}}{j}\right)^{\frac{3}{4}}} = 120.4$$

**Оценим необходимость пересчета паспортных характеристик основных магистральных насосов с воды на нефть.**

Максимально-допустимая кинематическая вязкость

$$\nu_{\text{доп}} := 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Переходное число Рейнольдса

$$Re_{\Pi} := 3.16 \cdot 10^5 \cdot n_S^{-0.305} = 73301$$

Критическое значение вязкости перекачиваемой жидкости

$$\nu_{\Pi} := \frac{n \cdot (D_2 \cdot 10^{-3})^2}{60 \cdot Re_{\Pi}} = 3.396 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Проверяем условие

$$\nu = 2.5 \times 10^{-5} < \nu_{\Pi} = 3.396 \times 10^{-5} < \nu_{\text{доп}} = 3 \times 10^{-4}$$

При таком условии пересчет характеристик насоса с воды на нефть не требуется



## Регулирование подачи изменением частоты вращения

Регулировать подачу будем способом изменения частоты вращения электродвигателя с помощью преобразователя частоты, т.к. этот способ является самым экономически выгодным.

Параметр параболы:

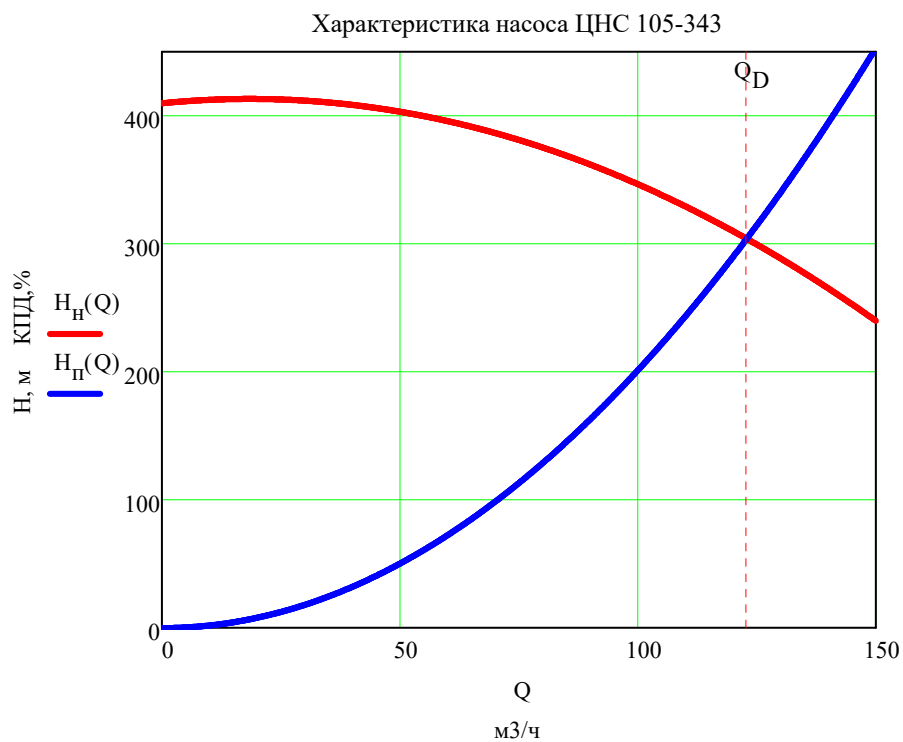
$$k_{\Pi} := \frac{H_{\text{потр}}}{Q_p^2} = 0.02$$

Парабола обточки:

$$H_{\Pi}(Q) := k_{\Pi} \cdot Q^2$$

Находим:

$$Q_D := 123 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$



Находим требуемую частоту вращения:

$$n' := \frac{Q_p}{Q_D} \cdot n = 2878 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Коэффициент пересчета рабочей характеристики насоса:

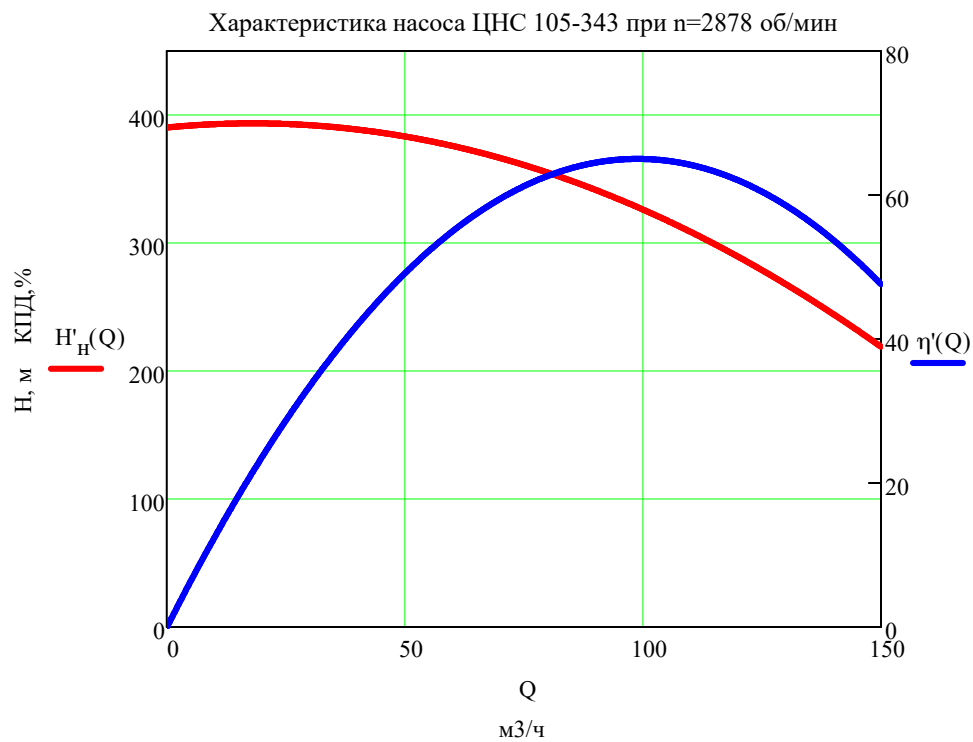
$$k_h := \left(\frac{n'}{n}\right)^2 = 0.952$$

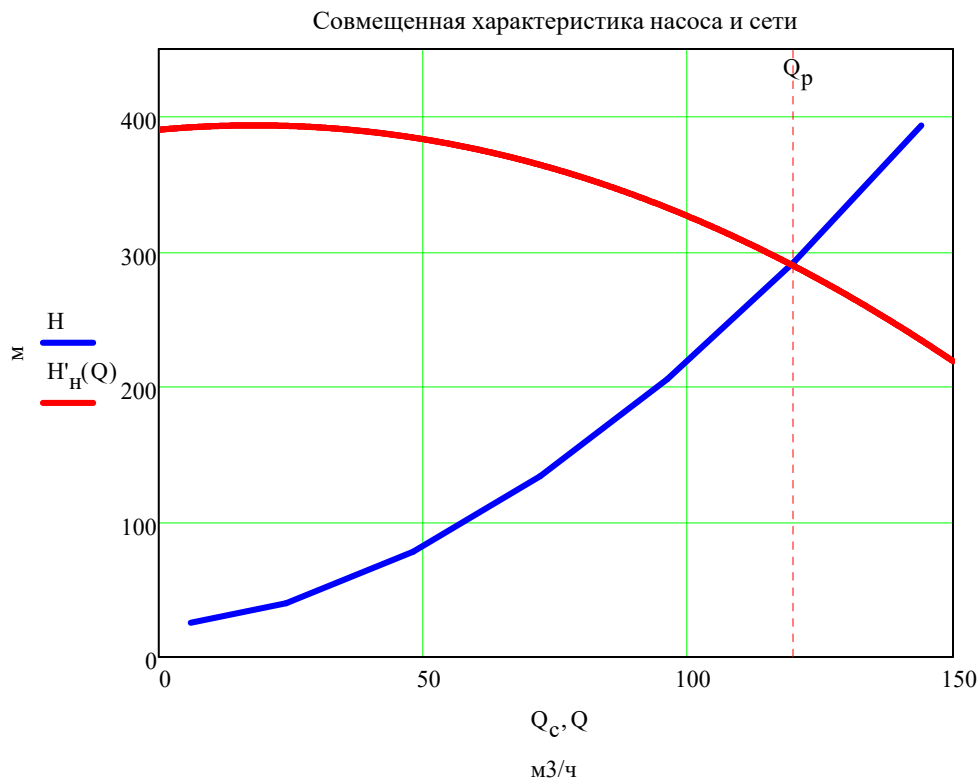
Характеристика насоса при другой частоте вращения:

$$H'_H(Q) := k_h \cdot h_1 + \sqrt{k_h} \cdot a \cdot Q - b \cdot Q^2$$

$$k_Q := k_h^{1.5} = 0.929$$

$$\eta'(Q) := c_1 + c_2 \cdot \frac{Q}{k_Q} + c_3 \cdot \left(\frac{Q}{k_Q}\right)^2$$





Строим характеристику сети и насоса на одном графике и находим рабочую точку:

$$H_p := 290 \text{ м} \quad Q_{pv} := 120 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

### Регулирование подачи обточкой рабочих колес

Находим диаметр рабочего колеса после обточки:

$$D'_2 := \frac{Q_p}{Q_D} \cdot D_2 = 220 \text{ мм}$$

Коэффициент пересчета:

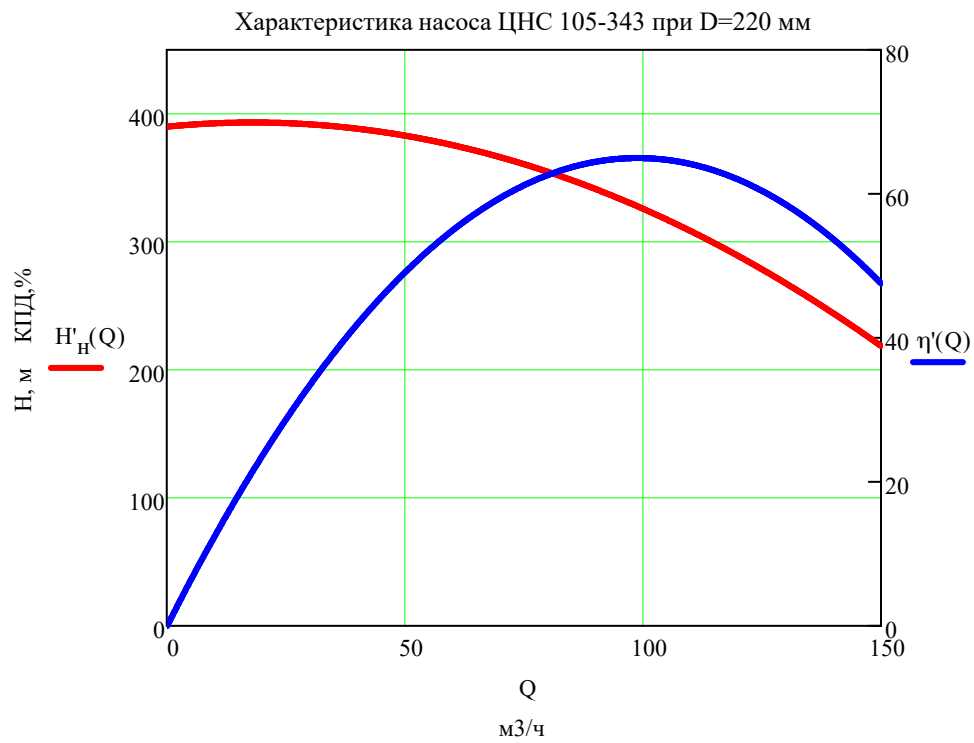
$$k_{pv} := \left( \frac{D'_2}{D_2} \right)^2 = 0.952$$

Характеристика насоса при другой частоте вращения:

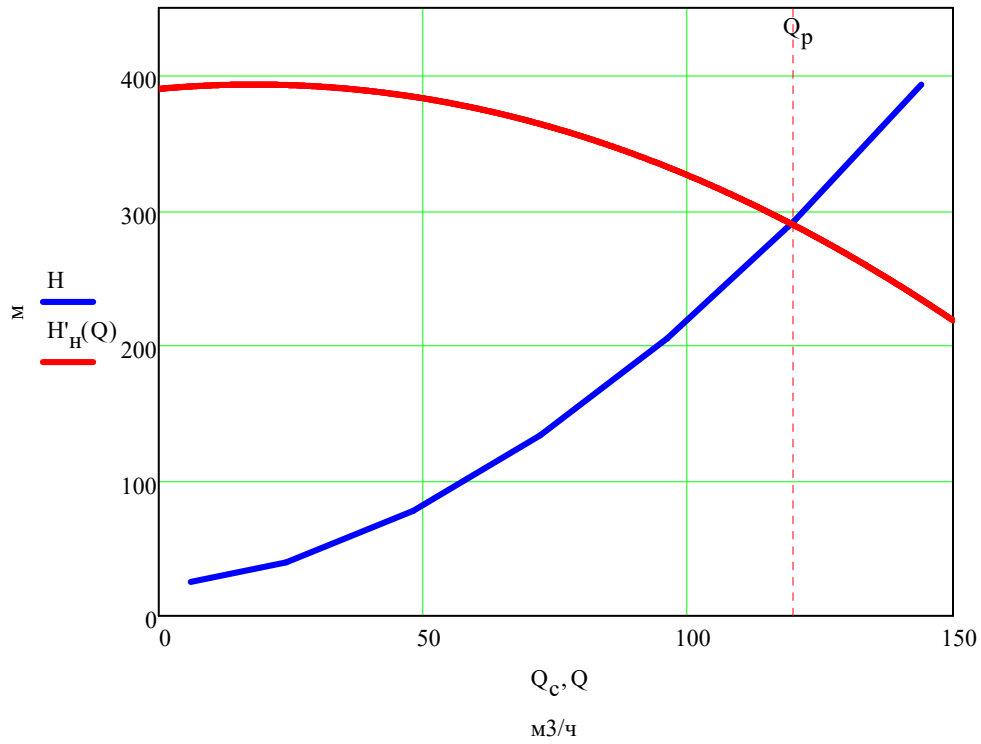
$$H'_H(Q) := k_h \cdot h_1 + \sqrt{k_h} \cdot a \cdot Q - b \cdot Q^2$$

$$k_Q := k_h^{1.5} = 0.929$$

$$\eta'(Q) := c_1 + c_2 \cdot \frac{Q}{k_Q} + c_3 \cdot \left(\frac{Q}{k_Q}\right)^2$$



Совмещенная характеристика насоса и сети



Строим характеристику сети и насоса на одном графике и находим рабочую точку:

$$H_{np} := 290 \text{ м} \quad Q_{np} := 120 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

### Регулирование подачи методом дросселирования задвижкой на нагнетании

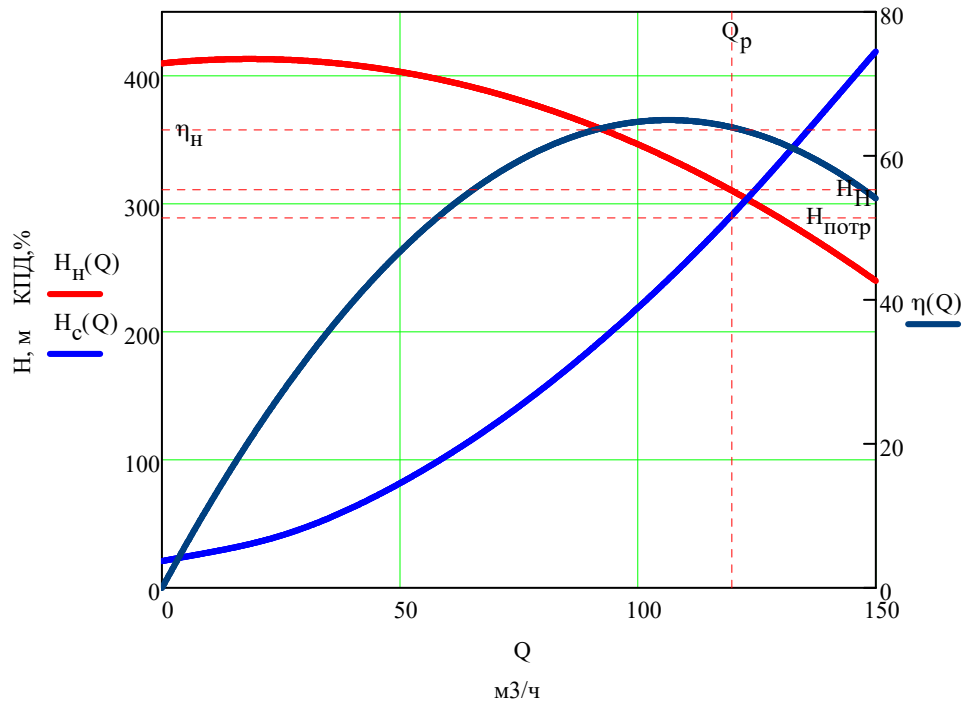


$$H_H := 311 \text{ м}$$

$$H_{np} := 290 \text{ м}$$

$$\eta_H := 63.7$$

Характеристика насоса ЦНС 105-343



Потери напора в движжке:

$$\Delta H := H_H - H_{\text{потр}} = 21 \text{ м}$$

КПД насоса будег:

$$\eta_3 := \left( 1 - \frac{\Delta H}{H_H} \right) \cdot \eta_H = 59.4 \text{ \%}$$

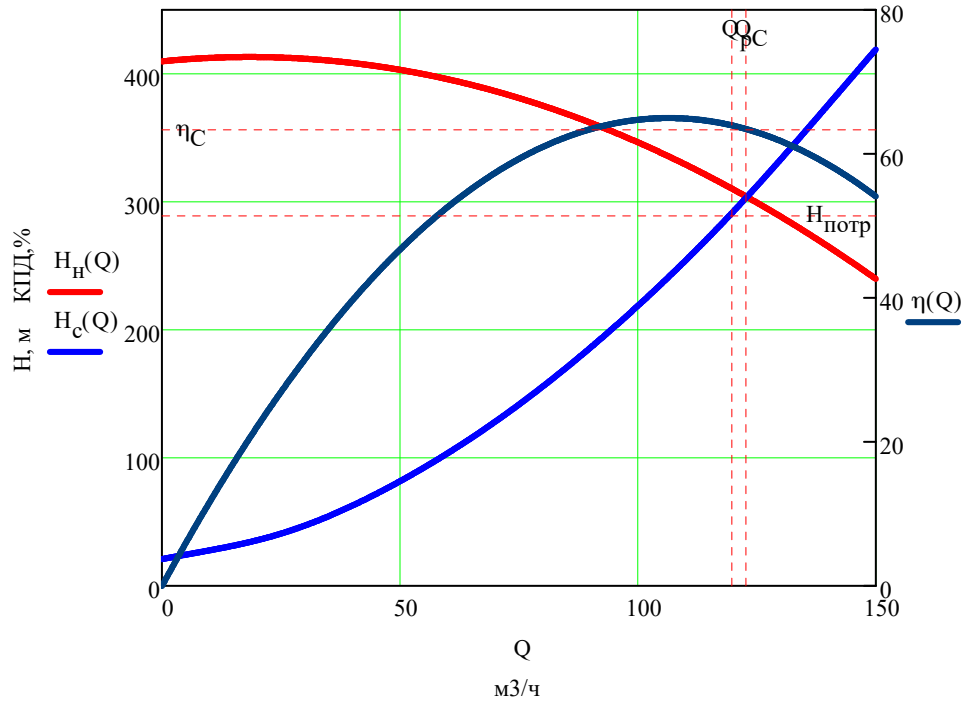
**Регулирование подачи методом бфипасирования**

$$Q_C := 123 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$H_{\text{потр}} := 290 \text{ м}$$

$$\eta_C := 63.5 \text{ \%}$$

Характеристика насоса ЦНС 105-343



$$Q_B := Q_C - Q_p = 3 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

КПД насоса будет:

$$\eta_w := \left(1 - \frac{Q_B}{Q_C}\right) \cdot \eta_C = 62 \quad \%$$

### Определение предельно допустимой высоты всасывания

Допускаемый кавитационный запас находим из технической характеристики:

$$\Delta h_{\text{доп}} := 5.5 \quad \text{м}$$

Потери напора на трение и местные сопротивления во всасывающем трубопроводе

$$h_B := 0.27$$

Располагаемый кавитационный запас

$$\Delta h_{\text{расп}} := \frac{p_0 - p_{\text{нп}} \cdot 10^3}{\rho \cdot 9.81} + H_{\text{ГВ}} - h_B = 13.203 \quad \text{м}$$

Условие бескавитационной работы насоса соблюдается

$$\Delta h_{\text{расп}} > \Delta h_{\text{доп}}$$