

ПЕРЕКАЧКА ВЯЗКИХ И ЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕЙ

Краткие сведения о реологических свойствах вязких
и застывающих нефтей.

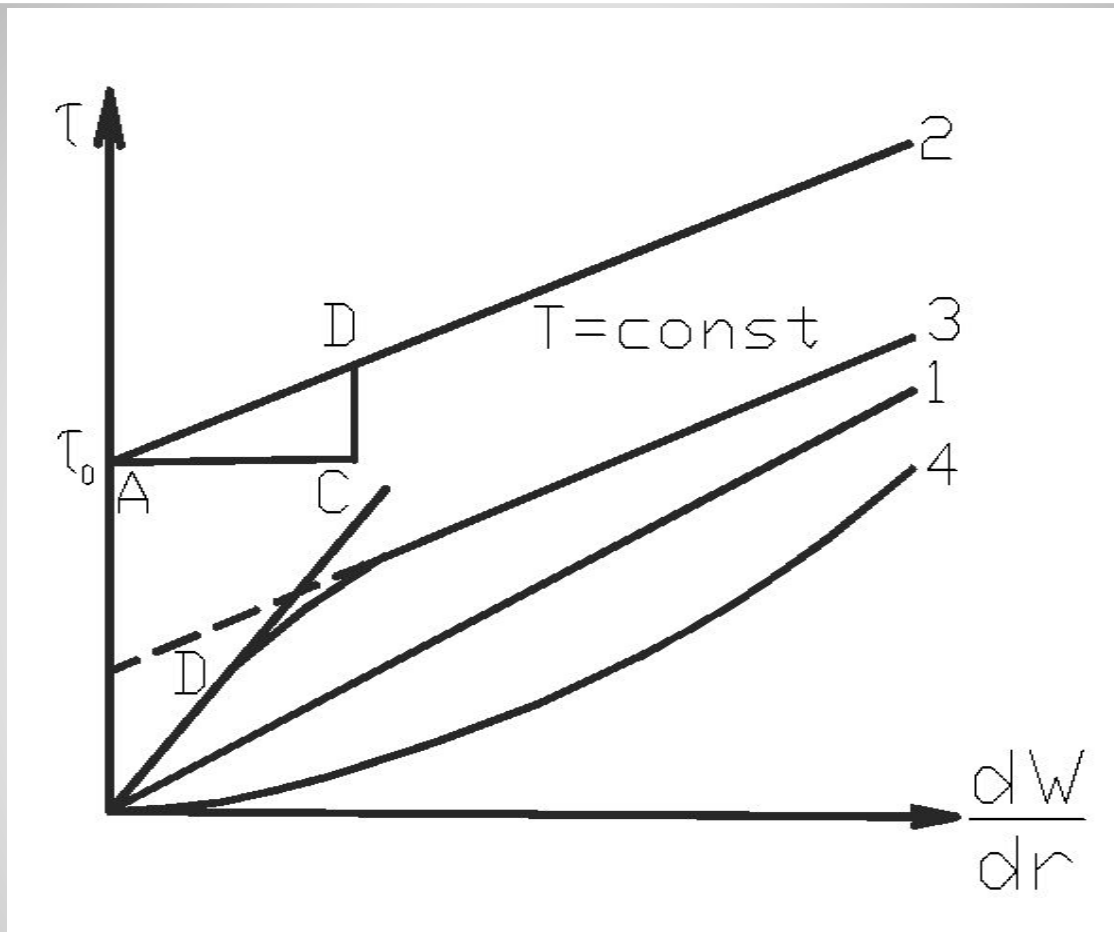


Рис.1. Зависимость напряжения сдвига τ от скорости сдвига $\frac{dw}{dr}$ для различных жидкостей (температура постоянная)

Напряжение сдвига:

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dr}$$

Вязкость пластических жидкостей:

$$\tau = \tau_0 - \eta_{nl} \frac{dw}{dr}$$

Предельное напряжение сдвига:

$$\tau_0 = \frac{\Delta PD}{4L}$$

Предельное напряжение сдвига для псевдопластичных и дилатантных жидкостей:

$$\tau = -k \left| \frac{dw}{dr} \right|^{n-1} \frac{dw}{dr}$$

Коэффициент динамической вязкости по кривой течения:

$$\mu = \frac{\tau}{\left| \frac{dw}{dr} \right|}$$

- Коэффициенты кинематической и динамической вязкости, связаны между собой плотностью:

$$\mu = \nu \times \rho$$

- Плотность нефти при температуре T может быть определена по формуле

$$\rho = \rho_{293} - (1,825 - 0,001315 \rho_{293})(T - 293)$$

- Расчетная плотность n нефтей с достаточной для практики точностью может быть определена

$$\rho_{см} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n V_i \rho_i$$

- Расчетную плотность нефти для трубопровода большой протяженности, проложенного в n климатических зонах, усредняют с учетом климатических поясов:

$$\rho_{ср} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_i \rho_i$$

Удельная теплоемкость C_p :

- формула Крeго:

$$C_p = \frac{31,56}{\sqrt{\rho_{293}}} (762 + 3,39T)$$

- формулу Крeго-Смита

$$\lambda_H = \frac{156,6}{\rho_{293}} (1 - 0,00047T)$$

- уравнение теплового баланса:

$$k\pi D(T - T_0)dx - Q\rho g i dx + \frac{Q\rho\varepsilon\chi dT}{T_{нн} - T_{кн}} = -Q\rho C_p dT$$

- температура по длине трубопровода выражается формулой Шухова:

$$T = T_0 + (T_n - T_0) \exp\left(-\frac{k\pi Dx}{Q\rho C_p}\right)$$

Тепловой режим системы труба-грунт при перекачке подогретой нефти

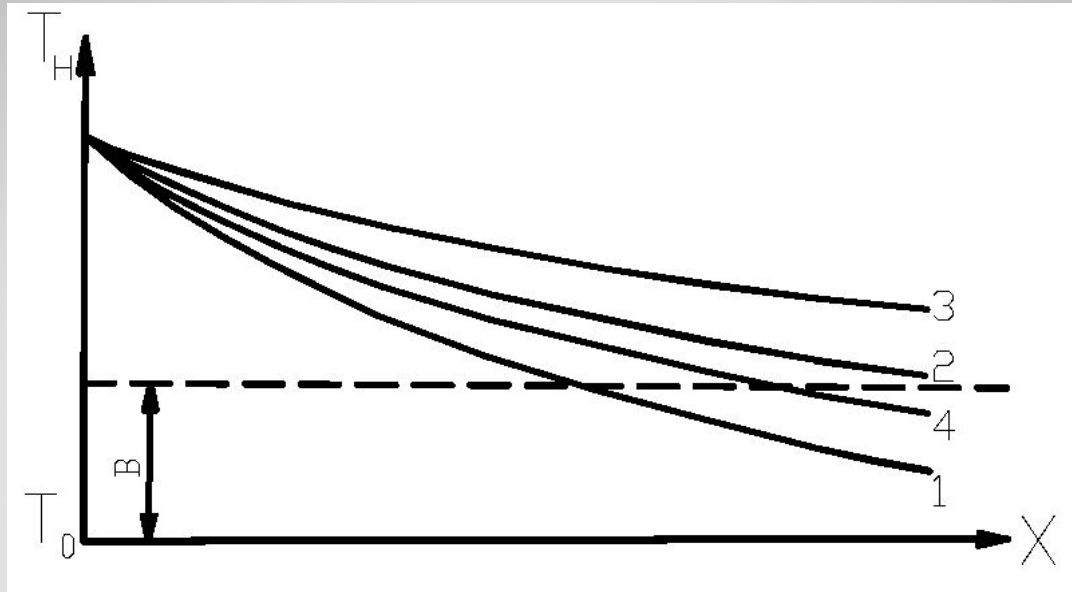


Рис. 2. Изменение температуры нефти по длине трубопровода:

1 – по формуле Шухова , $C_p^* = C_p$, $B = 0$

2 – по формуле Лейбензона , $\varepsilon = 0$

3 – $C_p^* > C_p$, $\varepsilon \neq 0$, $B \neq 0$

4 – $C_p^* > C_p$, $\varepsilon \neq 0$, $B = 0$

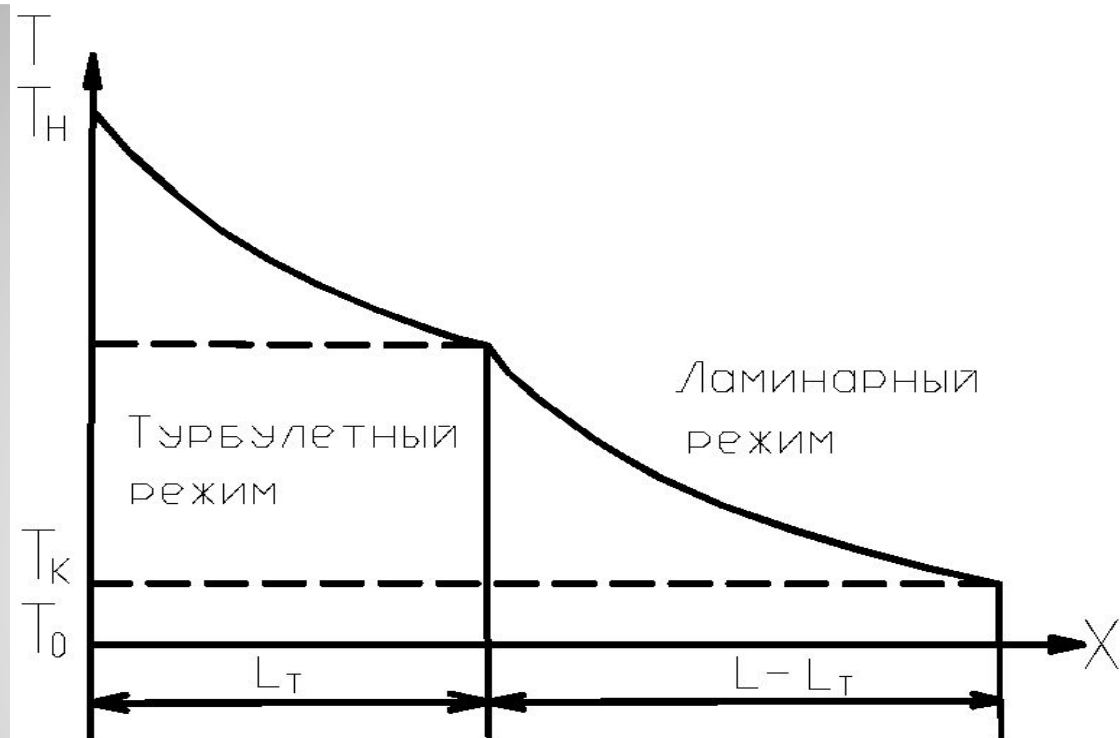


Рис. 3. Течение нефти в трубопроводе при двух режимах

В конце турбулентного участка температура:

$$T = T_0 + (T_H - T_0) \exp(-a_T x)$$

$$a_T = \frac{\kappa_T \pi D}{Q \rho C_p^*}$$

В конце трубопроводного участка температура

$$T_{кр} = T_0 + (T_n - T_0) \exp(-a_T L_T)$$

$$a_T L_T = \ln \frac{T_n - T_0}{T_{кр} - T_0}$$

По аналогии для ламинарного участка

$$T = T_0 + (T_{кр} - T_0) \exp[-a_l (x - L_T)]$$

$$a_l = \frac{\kappa_l \pi D}{Q \rho C_p^*}$$

В конце ламинарного участка температура

$$T_k = T_0 + (T_{кр} - T_0) \exp[-a_l (L - L_T)]$$

$$a_l (L - L_T) = \ln \frac{T_{кр} - T_0}{T_k - T_0}$$

- Коэффициент кинематической вязкости:

$$\nu_{кр} = \frac{4Q}{\pi D Re_{кр}}$$

- Критическая температура $T_{кр}$:

$$T_{кр} = T_{эс} + \frac{1}{U} \ln \frac{\nu_* \pi D Re_{кр}}{4Q}$$

- Коэффициент теплопередачи для трубопроводов α_1 α_2 зависит от внутреннего и внешнего коэффициентов теплоотдачи:

- при ламинарном режиме (при $Re \leq 2 \cdot 10^3$):

$$\alpha_1 = 0,17 \frac{\lambda_H}{D} Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25}$$

- при турбулентном режиме (при $Re \geq 10^4$):

$$\alpha_1 = 0,021 \frac{\lambda_H}{D} Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{CT}} \right)^{0,25}$$

- Потери напора на трение при переменном гидравлическом уклоне:

$$h = \int_0^x i dx$$

- Гидравлический уклон i по Лейбензону:

$$i = \beta \frac{Q^{2-m} v^m}{D^{5-m}}$$

- Влияние радиального градиента температур:

$$\Delta_r = \varepsilon_p \left(\frac{v_{CT}}{v} \right)^{\delta_P}$$

- Тогда h :

$$h = \int_0^x \beta \frac{Q^{2-m} v^m}{D^{5-m}} \left(\frac{v_{CT}}{v} \right)^{\delta_P} dx$$

Потери напора на трение при перекачке подогретой нефти

Потери напора на трение в трубопроводе между тепловыми станциями при наличии двух режимов определяются как сумма:

$$h = h_{ИТ} \Delta_T + h_{ИЛ} \Delta_L$$

Для высокопарафинистых нефтей и нефтепродуктов, обладающих неньютоновскими свойствами, потери на трение приближенно можно определить по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h = \lambda \frac{LW^2}{D2g} = \frac{8\lambda Q^2 L}{\pi^2 gD^5}$$

Расстановка насосных и тепловых станций по трассе. Применение тепловой изоляции.

Для горизонтального (равнинного) трубопровода с совмещенными насосно-тепловыми станциями

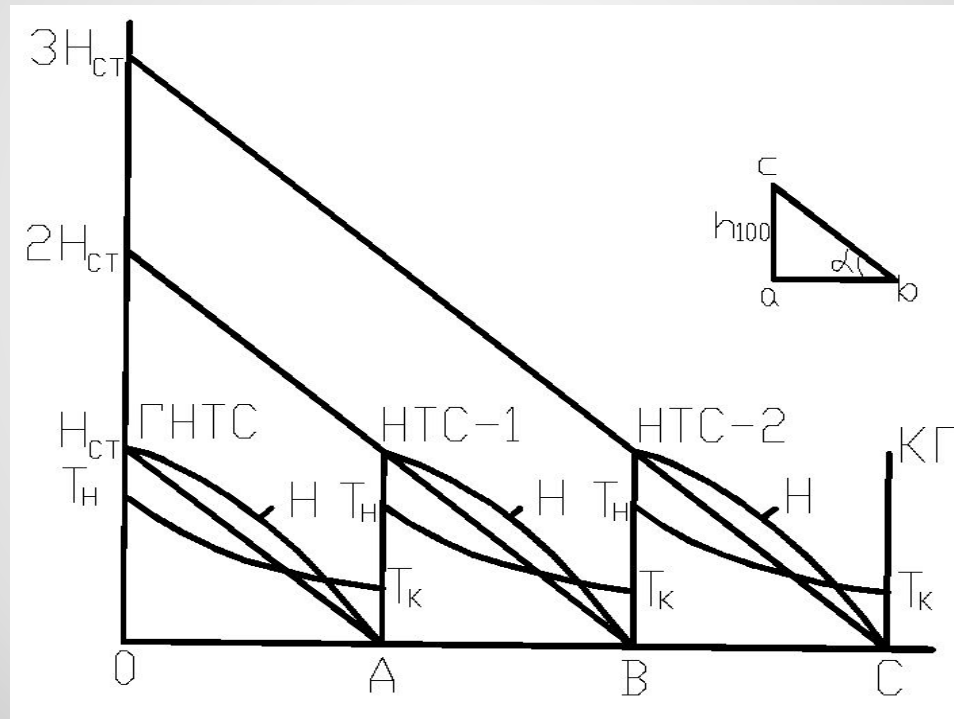


Рис.4. Расстановка насосно-тепловых станций по трассе "горячего" горизонтального трубопровода (подпоры не показаны)

● **Для рельефного трубопровода.**

1. Ориентировочные значения T_n и T_k ;

2. Определяется температура $T_{кр}$:

● Если $T_n > T_{кр} > T_k$

● Если $T_{кр} > T_n$

● Если $T_{кр} < T_k$

3. Определяем длину перегона L между тепловыми станциями;

4. Находим необходимое число пунктов подогрева:

$$n_T = \frac{L_{mp}}{L}$$

5. определяем потери напора на трение h ;

6. Определяем полные потери напора для всего трубопровода:

$$H \approx n_T h + \Delta Z$$

7. подбираем тип насоса, расчетный напор станции:

Отсюда, исходя из рабочего давления станций: $H_{ст} = n_H h_{MH}$

$$P = \rho g (H_{ст} + h_{IH})$$

8. необходимое число насосных станций:

$$n = \frac{H}{H_{ст}}$$

9. усредненное значение гидравлического уклона:

$$i_{CP} = \frac{nH_{CT} - \Delta Z}{L_{TP}}$$

- Расход, соответствующий появлению турбулентного режима в начальном сечении трубопровода:

$$Q_{кр}^1 = \frac{\pi D v_n Re_{кр}}{4}$$

- Для нахождения $Q_{кр}^2$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{k_T \pi DL}{Q_{кр}^2 \rho C_p} = \ln \frac{T_n - T_0}{T_k - T_0} \\ T_k = T_* + \frac{1}{U} \ln \frac{v_* \pi D Re_{кр}}{4 Q_{кр}^2} \end{array} \right.$$

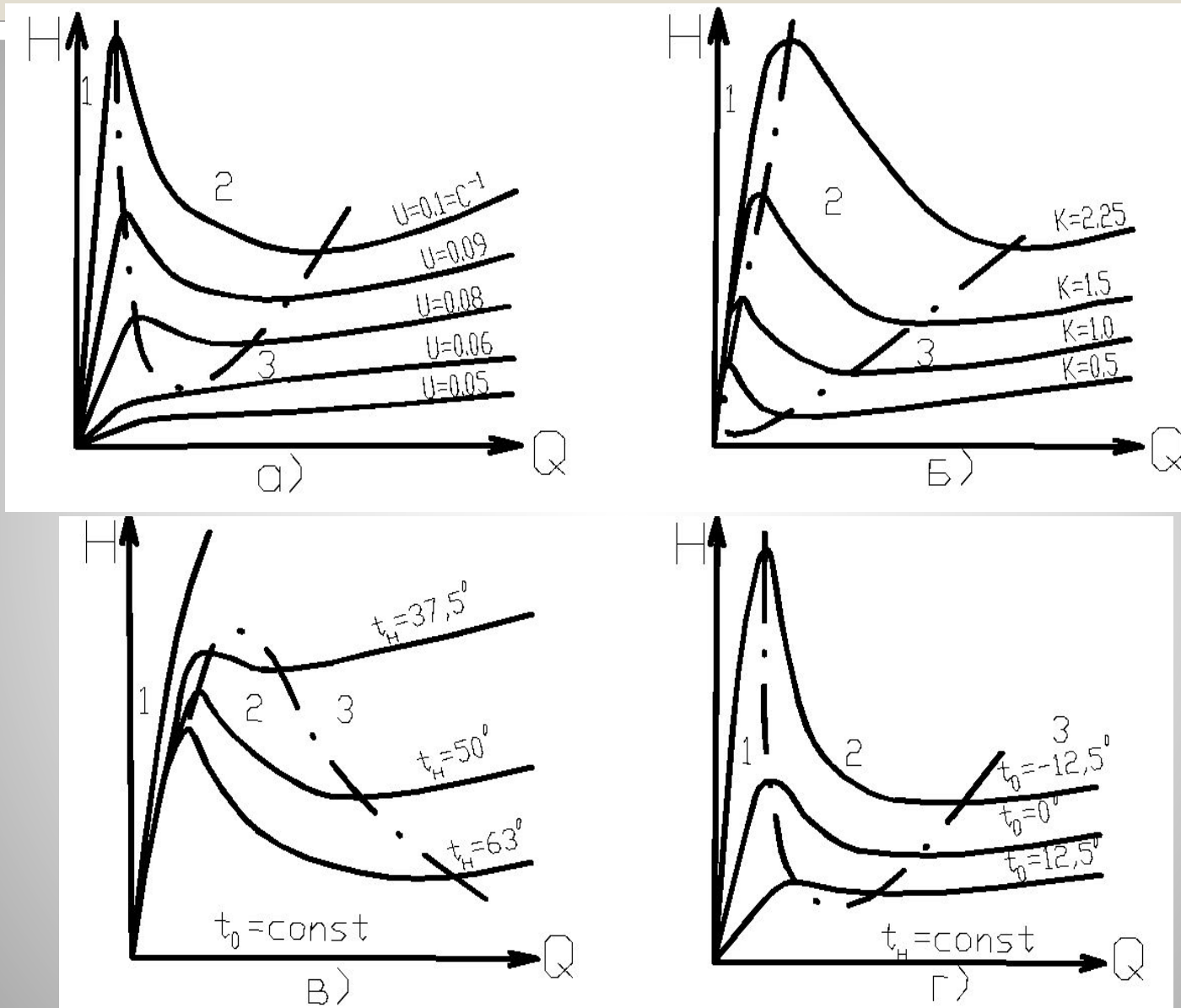


Рис.5. Влияние различных параметров на положение характеристики “горячего” трубопровода

Если по тем или иным причинам "горячий" нефтепровод перешел на работу во 2 зону, его можно перевести в 3 (рабочую) зону следующими способами:

- а) увеличить температуру подогрева нефти T_H , не снижая расхода;
- б) увеличить напор насосов;
- в) перейти на перекачку менее вязкой нефти без снижения Q и T_H .

- Суммарные затраты на перекачку и подогрев:

$$S = Q\rho gH \frac{\sigma_M}{\eta_M} + Q\rho C_p (T_H - T_K) \frac{\sigma_T}{\eta_T}$$

- Полная потеря напора на перегоне между тепловыми станциями

$$H = \int_0^{L_T} i_T dx + \int_{L_T}^L i_l dx + \Delta z$$

$$i_T = \frac{0,241 Q^{1,75} v^{0,25}}{g D^{4,75}}$$

$$i_l = \frac{128 Q v}{g D^4}$$

**Оптимальная температура
подогрева нефти**

- Суммарные затраты на перекачку и подогрев:

$$S = Q\rho gH \frac{\sigma_M}{\eta_M} + Q\rho C_p (T_H - T_K) \frac{\sigma_T}{\eta_T}$$

$$Q\rho g i_H \frac{\sigma_M}{\eta_M} + k_H \pi D (T_H - T_0) \frac{\sigma_T}{\eta_T} = Q\rho g i_K \frac{\sigma_M}{\eta_M} + k_K \pi D (T_K - T_0) \frac{\sigma_T}{\eta_T}$$

- Затраты механической энергии в целом сечении

$$S = Q\rho gH \frac{\sigma_M}{\eta_M} i(T)$$

- При этом если $T_{кр} \geq T \geq T_0$, то

$$i(T) = \frac{128}{g} \frac{Q}{D^4} v \quad (T)$$

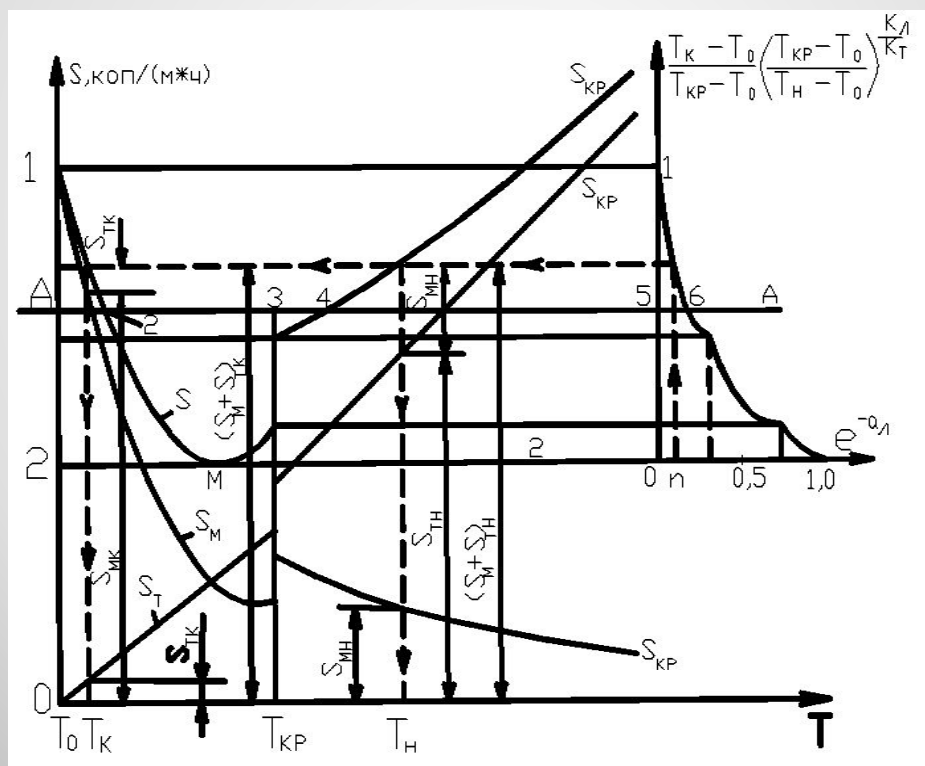
- если $T_{кр} \leq T$, то

$$i(T) = \frac{0,241}{g} \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} v^{0,25} \quad (T)$$

- Затраты тепловой энергии в любом сечении:

$$S = k \pi D \frac{\sigma T}{\eta_T} (T - T_0)$$

- При этом если $T_{кр} \geq T \geq T_0$, то $k = k_{л}$; если $T > T_{кр}$ то $k = k_T$



- Безопасное время остановки перекачки по подземному трубопроводу:

$$\tau = 0,1113 D_n^2 \left(\frac{C_p \rho}{\lambda} \right)_{gp} \left(\frac{4H}{D_n} \right)^{2(1-\beta_0)}$$

$$\beta_0 = \frac{T - T_0}{T_{жс} - T_0}$$