

## Задача 9.3 Большая теплая задача про тепловые большие механизмы.

### Часть 1. Что мы имеем?

1.1 Расчет массы  $m_1$  нагреваемой воды производим по известной формуле для теплообмена

$$Q_0 = cm_1(t_1 - t_0) \Rightarrow m_1 = \frac{Q_0}{c(t_1 - t_0)} = \frac{3,6 \cdot 10^{16} \cdot 4,21}{4,21 \cdot 10^3 \cdot (90 - 20)} \text{ кг} = 5,1 \cdot 10^{11} \text{ кг} = 5,1 \cdot 10^8 \text{ т},$$

где  $Q_0 = 3,6 \cdot 10^{16} \text{ кал} = 1,5 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$  – количество теплоты (энергии), произведенное в нашей стране за год.

1.2 Для производства этого же количества энергии  $Q_0$  необходимо сжечь массу нефти  $m_2$ . С учетом КПД нагревательной установки имеем

$$Q_0 = qm_2\eta \Rightarrow m_2 = \frac{Q_0}{q\eta} = \frac{3,6 \cdot 10^{16} \cdot 4,21}{4,0 \cdot 10^7 \cdot 0,80} \text{ кг} = 4,7 \cdot 10^9 \text{ кг} = 4,7 \cdot 10^6 \text{ т}.$$

1.3 При разгоне нагретой воды насосы совершают работу  $A$  по увеличению кинетической энергии воды, следовательно (работой сил вязкого трения воды в трубах пренебрегаем)

$$A = \frac{m_1 v^2}{2} = \frac{5,1 \cdot 10^{11} \cdot (10)^2}{2} \text{ Дж} = 2,6 \cdot 10^{13} \text{ Дж}.$$

1.4 С учетом результата, полученного в пункте 1.3, найдем массу нефти, которую (с учетом коэффициента полезного действия) необходимо дополнительно сжечь для обеспечения работы насосных станций

$$qm_3\eta = A \Rightarrow m_3 = \frac{A}{q\eta} = \frac{2,6 \cdot 10^{13}}{4,0 \cdot 10^7 \cdot 0,40} \text{ кг} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ кг} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ т}.$$

1.5 Суммарная стоимость всей нефти (и на нагрев воды, и на работу насосных станций), если ее объем выразить в баррелях ( $b$ ) будет равна

$$C = c_0 \cdot b = 150 \cdot \frac{m_2 + m_3}{\rho} \cdot \frac{1}{V_0} = 150 \frac{(4,7 \cdot 10^9 + 1,6 \cdot 10^6)}{0,864 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{159 \cdot 10^{-3}} \text{ долларов} = \\ = 5,1 \cdot 10^9 \text{ долларов} = 5,1 \text{ млрд. долл.}$$

где  $c_0 = 150 \text{ USD/баррель}$ .

1.6 Пусть горячая вода массой  $m_1$  проходит к потребителю по трубам (за год  $t = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$ ) со скоростью  $v$ , тогда

$$m_1 = \rho v S t \Rightarrow S = \frac{m_1}{\rho v t} = \frac{5,1 \cdot 10^{11}}{1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \text{ м}^2 = 1,6 \text{ м}^2.$$

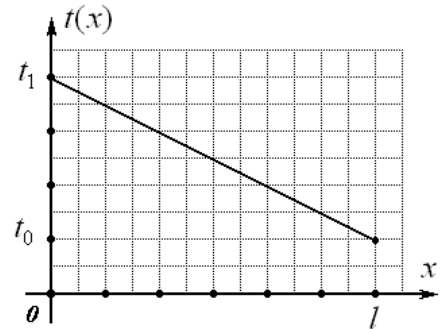
## Часть 2. Можно ли сэкономить?

2.1 Поток теплоты при перекачке воды «традиционным» способом по трубам считаем по определению

$$q = \frac{cm\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{c\rho v S \Delta t \Delta \tau}{\Delta \tau} = c\rho v S \Delta t = 4,2 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 70 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 5,8 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

2.2.1 Согласно формуле (1), приведенной в справочных материалах, для обеспечения постоянного потока теплоты вдоль стержня температура стержня должна уменьшаться на постоянную величину  $\Delta t$  при смещении на фиксированное расстояние  $l$  по стержню. Это соответствует линейной зависимости  $t(x)$ , следовательно

$$t(x) = t_1 - \frac{(t_1 - t_0)}{l} x.$$



2.2.2 Для расчета количества теплоты, необходимой для нагрева стержня необходимо учесть, что температуры различных участков стержня различны. В данном случае (при линейном распределении температур) можно использовать среднюю температуру

$$Q_1 = cm \frac{t_1 - t_0}{2} = 0,39 \cdot 10^3 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10 \cdot \frac{90 - 20}{2} \text{ Дж} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

2.2.3 В установившемся режиме поток теплоты по стержню найдем, используя формулу (1) из справочных материалов

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_0}{l} = 390 \cdot \frac{90 - 20}{10} \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

2.3 При теплопереносе посредством испарения и конденсации воды следует учесть теплоту конденсации пара и остывания получившейся затем воды от температуры  $t_1 = 90^\circ\text{C}$  до температуры  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . При этом количество выделившейся теплоты

$$Q = m(L + c\Delta t) = \rho S v \Delta \tau (L + c\Delta t).$$

Соответственно, поток теплоты, переносимый паром в такой установке (кинетической энергией пара пренебрежем в силу ее малости по сравнению с энергией  $Q$ )

$$q = \frac{Q}{\Delta \tau} = \rho S v (L + c\Delta t) = 0,70 \cdot 3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 50 \cdot (2,25 \cdot 10^6 + 4,2 \cdot 10^3 \cdot 70) \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$