

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики
КАФЕДРА КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
И ЭКОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИКИ

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ №4

по курсу

«Воднохимические режимы энергоблоков»

«Расчёт продолжительности межпромывочного периода работы котла с двухступенчатой схемой испарения и заданным количеством соединений кальция, железа и меди в питательной воде»

Котлоагрегат: Е – 420 – 13,8 – 545 КТ

Студент:

Группа:

Преподаватель: к.т.н., доц. Самойлов Ю.Ф.

Исходные данные:

Давление насыщения в барабане: $P_6 := 15.9 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Температура насыщения при давлении в барабане: $t_s := 346.9 \text{ }^\circ\text{C}$

Наружный диаметр трубы: $d_H := 0.060 \text{ м}$

Внутренний диаметр трубы: $d_{BH} := 0.050 \text{ м}$

Коэффициент растечки теплоты: $\mu := 0.92$

Воспринятый тепловой поток: $q := 250 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

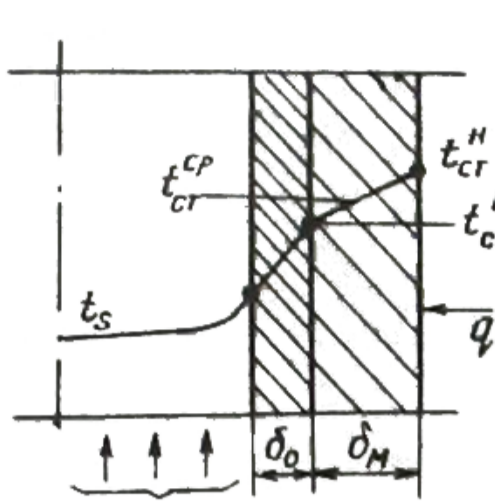
Предельнодопустимое значение температуры на наружной поверхности стенки трубы: $t_{CT_доп} := 450 \text{ }^\circ\text{C}$

Толщина стенки трубы: $\delta_M := 0.005 \text{ м}$

1. Расчёт средней температуры стенки

Температура наружной поверхности стенки трубы:

$$t_{CT_H} = t_s + \beta \cdot \mu \cdot q \left(\frac{\delta_M}{\lambda_M} \cdot \frac{2}{1 + \beta} + \frac{\delta_0}{\lambda_0} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$



Температурный график

Отношение наружного диаметра к внутреннему: $\beta := \frac{d_H}{d_{BH}} = \frac{0.06}{0.05} = 1.2$

Первое приближение средней температуры стенки для расчёта теплопроводности: $t_{CT_CP} := 430 \text{ }^\circ\text{C}$

Коэффициент теплопроводности для стали 20:

$$\lambda_M := 50.6 - 0.0263 \cdot (t_{CT_CP} - 100) = 41.921 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Так как расчёт ведётся для предельной температуры наружной стенки трубы, то принимаю, что температура наружной стенки трубы равна предельно допустимой:

$$t_{CT_H} := t_{CT_доп} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура стенки в среднем сечении: $t_{CT_CP} := t_{CT_H} - \beta \cdot \mu \cdot q \cdot \frac{\delta_M}{\lambda_M} \cdot \frac{1}{1 + \beta} = 435 \text{ }^\circ\text{C}$

Коэффициент теплоотдачи принимаю по номограмме (рис. 4.2): $\alpha_2 := 21600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

2. Определение допустимой толщины слоя отложений

Солевой баланс для заданной концентрации примесей (по условиям ТРЗ):

$$C_{к.в2_Fe} := 498.7 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}} \quad C_{к.в2_Cu} := 174.5 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}} \quad C_{к.в2_жестк} := 24.9 \frac{\text{мкг} - \text{экв}}{\text{кг}}$$

Теплопроводность отложений:

$$\lambda_{0_Fe} := 4.6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \quad \lambda_{0_Cu} := 4.6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \quad \lambda_{0_жестк} := 0.86 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

$$\lambda_0 := \frac{C_{к.в2_Fe} \cdot \lambda_{0_Fe} + C_{к.в2_Cu} \cdot \lambda_{0_Cu} + C_{к.в2_жестк} \cdot \lambda_{0_жестк}}{C_{к.в2_Fe} + C_{к.в2_Cu} + C_{к.в2_жестк}} = 4.467 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Допустимая толщина слоя отложений:

$$\delta_0 := \lambda_0 \left(\frac{t_{CT_H} - t_s}{\beta \cdot \mu \cdot q} - \frac{1}{\alpha_2} - \frac{\delta_M}{\lambda_M} \cdot \frac{2}{1 + \beta} \right)$$

$$\delta_0 = 4.467 \cdot \left(\frac{450 - 346.9}{1.2 \cdot 0.92 \cdot 2.5 \times 10^5} - \frac{1}{21600} - \frac{0.005}{41.921} \cdot \frac{2}{1 + 1.2} \right) = 0.0009774 \text{ м}$$

Средняя плотность отложений:

$$\gamma_{0_Fe} := 2.5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad \gamma_{0_Cu} := 2.5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad \gamma_{0_жестк} := 1.5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\gamma_0 := \frac{C_{к.в2_Fe} \cdot \gamma_{0_Fe} + C_{к.в2_Cu} \cdot \gamma_{0_Cu} + C_{к.в2_жестк} \cdot \gamma_{0_жестк}}{C_{к.в2_Fe} + C_{к.в2_Cu} + C_{к.в2_жестк}} = 2.464 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Масса отложений:

$$M_0 := \delta_0 \cdot \gamma_0 \cdot 10^6 = 0.0009774 \cdot 2.464 \cdot 10^6 = 2.409 \times 10^3 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$$

Скорость образования щелочноземельных отложений:

$$A_1 := 1.3 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{C_{к.в2_жестк}}{1000} \cdot q^2 = 1.3 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{24.9}{1000} \cdot (2.5 \times 10^5)^2 = 2.023 \times 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ч}}$$

Скорость образования медистых отложений:

$$A_2 := 0.23 \cdot 10^{-13} \cdot \left(\frac{C_{к.в2_Cu}}{1000} \right)^{5.4} \cdot q \cdot (q - 200000) = 2.081 \times 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ч}}$$

Скорость образования железокислых отложений:

$$A_3 := 5.7 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{C_{к.в2_Fe}}{1000} \cdot q^2 = 5.7 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{498.7}{1000} \cdot (2.5 \times 10^5)^2 = 1.777 \times 10^{-3} \frac{\text{мг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ч}}$$

Средняя скорость отложений:

$$A_{CP} := \frac{C_{к.в2_Fe} \cdot A_3 + C_{к.в2_Cu} \cdot A_2 + C_{к.в2_жестк} \cdot A_1}{C_{к.в2_Fe} + C_{к.в2_Cu} + C_{к.в2_жестк}} = 1.328 \times 10^{-3} \frac{\text{мг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ч}}$$

Пересчёт:

$$A := A_{CP} \cdot \frac{10^4 \cdot 10^3}{10^3} = 13.28 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot 1000 \text{ч}}$$

Межпромывочный период:

$$\tau_{пром} := \frac{M_0 \cdot 10^3}{A} = \frac{2.409 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{13.28} = 181321 \text{ ч}$$

3. Расчёт экранных труб на прочность

Номинальное допустимое напряжение: $[\sigma] := 84 + \frac{72 - 84}{440 - 420} \cdot (t_{CT_CP} - 420) = 74.98 \text{ МПа}$

Минимальная толщина стенки:

$$s_0 := \frac{P_6 \cdot d_H}{2 \cdot [\sigma] \cdot 10^6 + P_6} = \frac{1.59 \times 10^7 \cdot 0.06}{2 \cdot 74.98 \cdot 10^6 + 1.59 \times 10^7} = 5.75 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Минимальная толщина стенки меньше реальной толщины $\delta_M = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$. Отсюда делаю вывод,

что котёл не может работать при принятой средней температуре стенки. Следует произвести расчёт в обратной последовательности. Предел наступает по условиям прочности труб.

4. Определение средней температуры стенки

Принимаю $\Delta s_{зат} := 0$ - наступление предела по условиям прочности.

Тогда номинальная толщина стенки трубы: $s := \delta_M - \Delta s_{зат} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$

Прибавка, учитывающая минусовое отклонение по толщине стенки трубы и все виды утонения: $C_1 = 0.11 \cdot s_0$

Прибавка, учитывающая коррозию на внутренней и наружной стенке трубы: $C_2 := 0.0015 \text{ м}$

Нахожу минимальную толщину стенки трубы:

$$\text{Given } s = s_0 + 0.11 \cdot s_0 + C_2 \quad s_0 := \text{Find}(s_0) \quad s_0 = 3.153 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Нахожу номинальное допустимое напряжение для стали 20:

$$[\sigma] := \frac{P_6 \cdot d_H}{s_0} - P_6 = 143.3 \text{ МПа}$$

Полученное значение допускаемого напряжения соответствует температуре стенки ниже чем температура насыщения (рабочей среды).

Вывод: при заданных начальных условиях работа котла невозможна.