

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики
КАФЕДРА КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
И ЭКОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИКИ

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ №5

по курсу

«Воднохимические режимы энергоблоков»

«Определение недовыработки теплоты сетевым подогревателем при
образовании внутритрубных отложений»

Студент:

Группа:

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

Исходные данные:

- Концентрация оксидов железа в сетевой воде: $C_{Fe} = 2.8 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{м^3}$
- Концентрация солей жёсткости в сетевой воде: $C_{Ca} = 15 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{м^3}$
- Поверхность теплообмена сетевого подогревателя: $F = 2.1591 \quad F = 3.182 \times 10^3 \quad м^2$
- Расход сетевой воды: $G = 0.536 \frac{м^3}{с}$
- Температура сетевой воды на входе в СП: $t_1 = 70 \quad ^\circ C$
- Температура сетевой воды на выходе из СП: $t_2 = 150 \quad ^\circ C$
- Температура насыщения: $t_s = 167 \quad ^\circ C$
- Тепловой поток чистого СП: $q_0 = 50000 \frac{Вт}{м^2}$
- Коэффициент теплопередачи чистого СП: $k_0 = 3000 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$

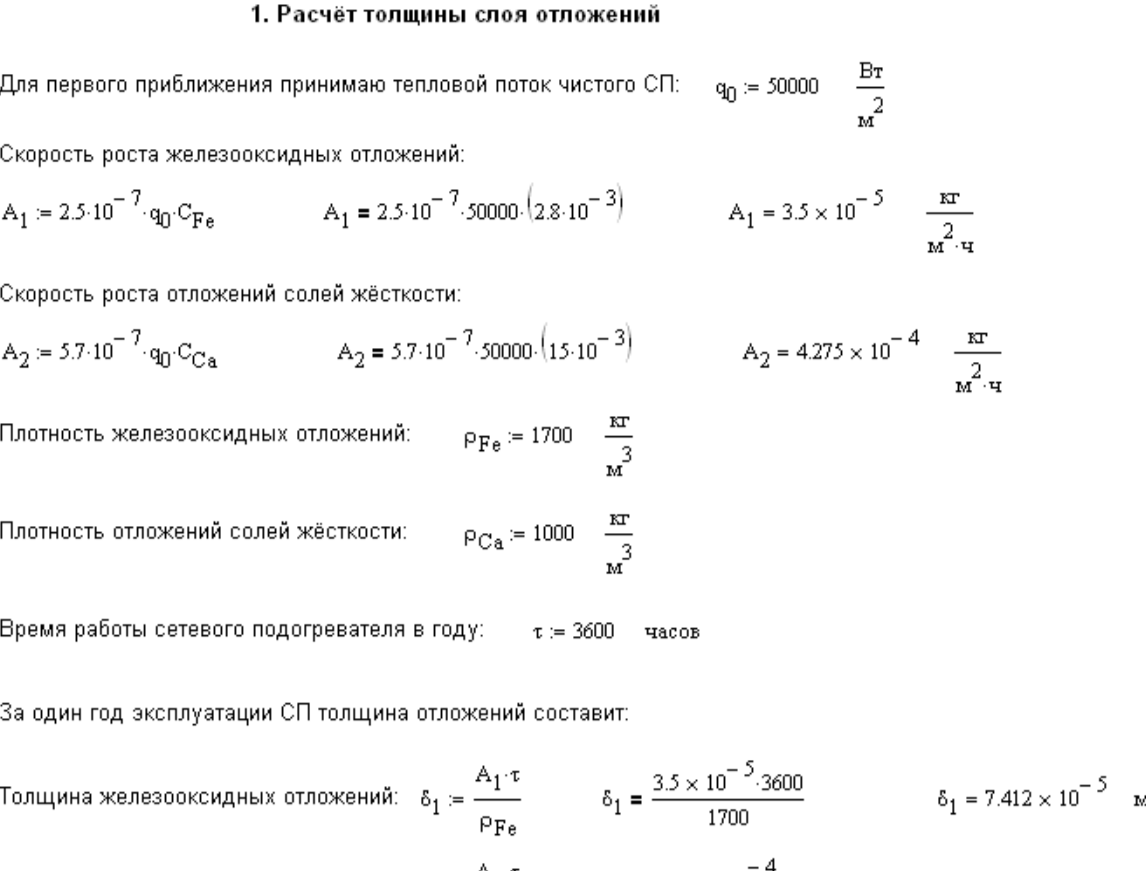


Рис. 1. Схема сетевого теплообменника

1. Расчёт толщины слоя отложений

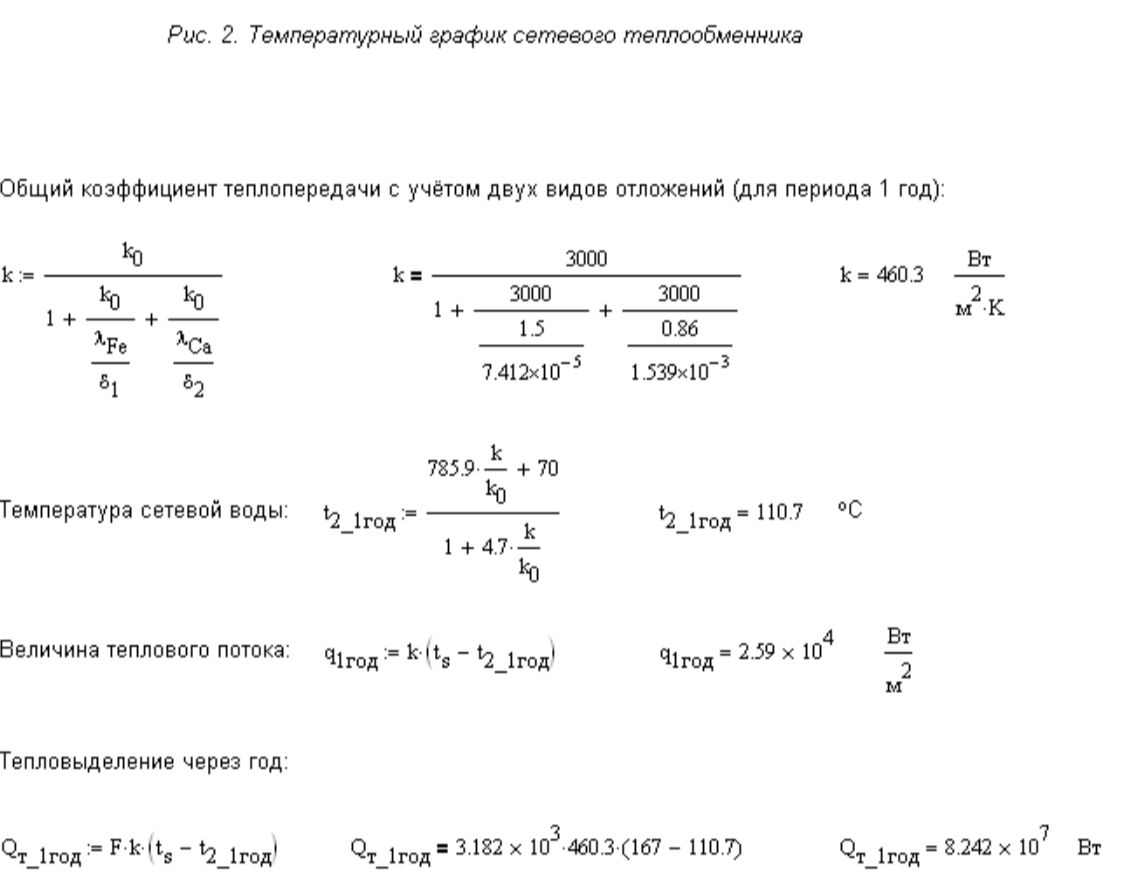
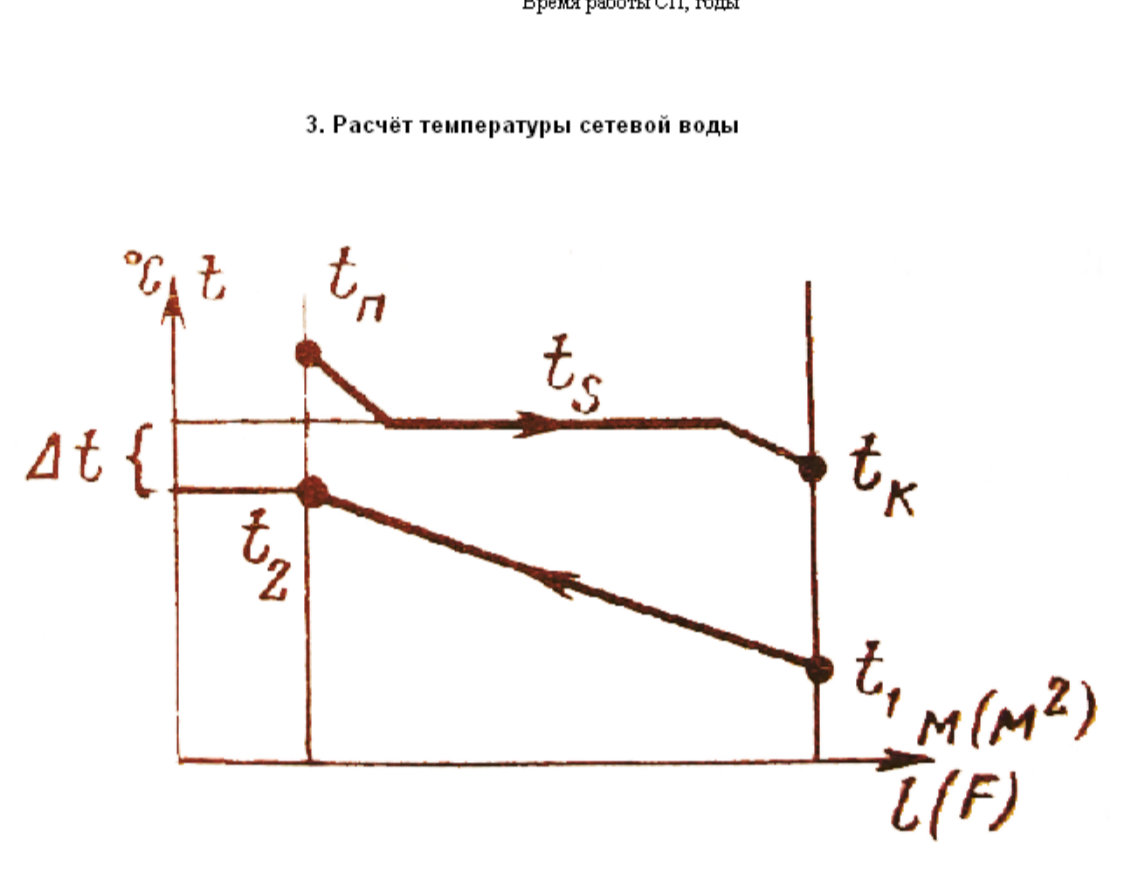
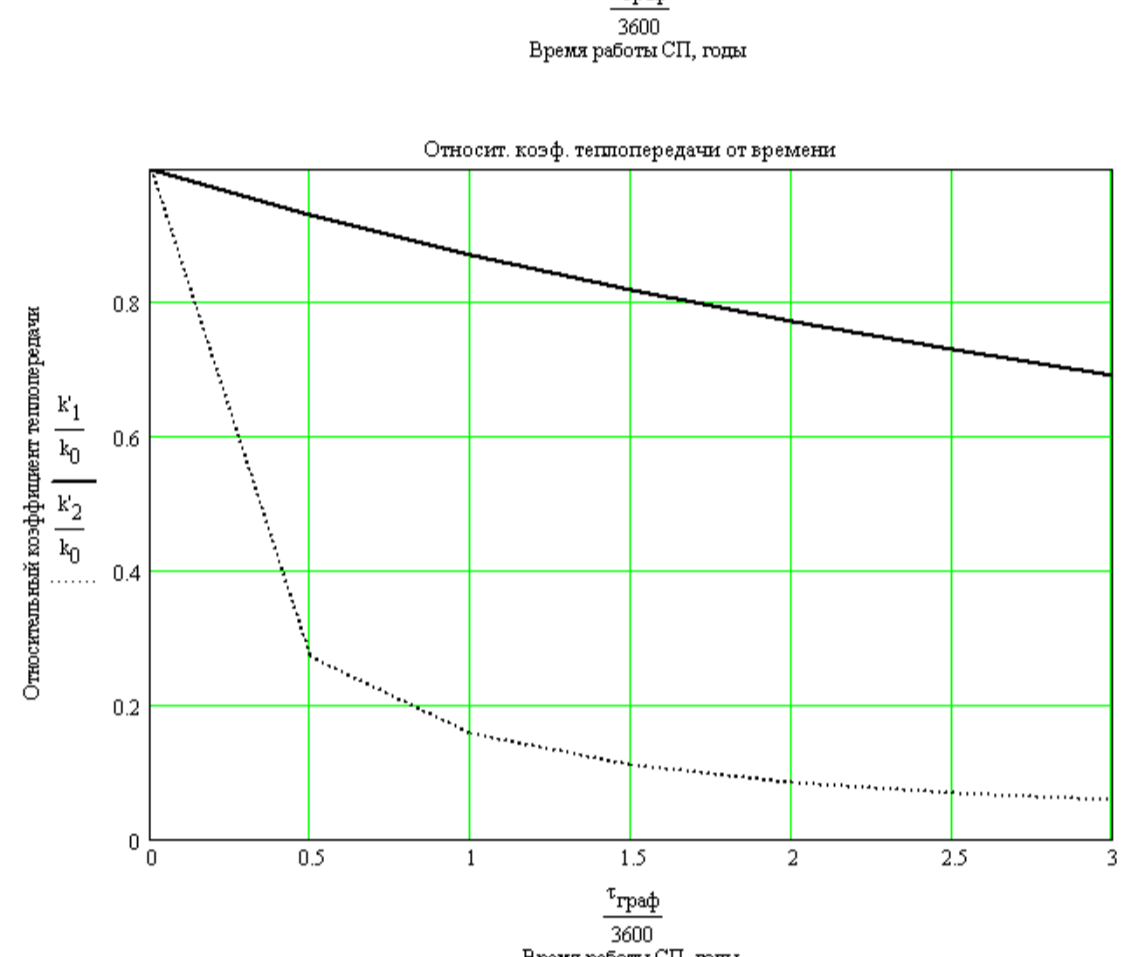
- Для первого приближения принимаю тепловой поток чистого СП: $q_0 = 50000 \frac{Вт}{м^2}$
- Скорость роста железистых отложений: $A_1 = 2.5 \cdot 10^{-7} \cdot q_0 \cdot C_{Fe} = 3.5 \cdot 10^{-5} \frac{кг}{м^2 \cdot ч}$
- Скорость роста отложений солей жёсткости: $A_2 = 5.7 \cdot 10^{-7} \cdot q_0 \cdot C_{Ca} = 4.275 \cdot 10^{-4} \frac{кг}{м^2 \cdot ч}$
- Плотность железистых отложений: $\rho_{Fe} = 1700 \frac{кг}{м^3}$
- Плотность отложений солей жёсткости: $\rho_{Ca} = 1000 \frac{кг}{м^3}$
- Время работы сетевого подогревателя в году: $\tau = 3600$ часов
- За один год эксплуатации СП толщина отложений составит:
- Толщина железистых отложений: $\delta_1 = \frac{A_1 \cdot \tau}{\rho_{Fe}} = 7.412 \cdot 10^{-5} \quad м$
- Толщина отложений солей жёсткости: $\delta_2 = \frac{A_2 \cdot \tau}{\rho_{Ca}} = 1.539 \cdot 10^{-3} \quad м$

2. Расчёт коэффициента теплопередачи в СП

- Коэффициент теплопроводности железистых отложений: $\lambda_{Fe} = 1.5 \frac{Вт}{м \cdot K}$
- Коэффициент теплопроводности отложений солей жёсткости: $\lambda_{Ca} = 0.86 \frac{Вт}{м \cdot K}$
- Коэффициент теплопередачи с учётом слоя железистых отложений: $k_1 = 2.613 \times 10^3 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$
- Коэффициент теплопередачи с учётом слоя железистых отложений: $k_2 = 471.1 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$

Для построения графиков задаю временем работы СП при снятии показаний:

$\tau_{граф} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10^{-100} \\ 3600 \cdot 0.5 \\ 3600 \\ 3600 \cdot 1.5 \\ 3600 \cdot 2 \\ 3600 \cdot 2.5 \\ 3600 \cdot 3 \end{pmatrix}$	$\tau_{граф} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.8 \times 10^3 \\ 3.6 \times 10^3 \\ 5.4 \times 10^3 \\ 7.2 \times 10^3 \\ 9 \times 10^3 \\ 1.08 \times 10^4 \end{pmatrix}$ ч	$\tau_{граф} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 1 \\ 1.5 \\ 2 \\ 2.5 \\ 3 \end{pmatrix}$ лет	
$\delta_1 = \frac{A_1 \cdot \tau_{граф}}{\rho_{Fe}}$	$\delta_2 = \frac{A_2 \cdot \tau_{граф}}{\rho_{Ca}}$	$k_1 = \frac{k_0}{1 + \frac{k_0}{\lambda_{Fe} \delta_1}}$	$k_2 = \frac{k_0}{1 + \frac{k_0}{\lambda_{Ca} \delta_2}}$
$\delta_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.706 \times 10^{-5} \\ 7.412 \times 10^{-5} \\ 1.112 \times 10^{-4} \\ 1.482 \times 10^{-4} \\ 1.853 \times 10^{-4} \\ 2.224 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$ м	$\delta_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 7.695 \times 10^{-4} \\ 1.539 \times 10^{-3} \\ 2.308 \times 10^{-3} \\ 3.078 \times 10^{-3} \\ 3.847 \times 10^{-3} \\ 4.617 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$ м	$k_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \times 10^3 \\ 2.793 \times 10^3 \\ 2.613 \times 10^3 \\ 2.454 \times 10^3 \\ 2.314 \times 10^3 \\ 2.189 \times 10^3 \\ 2.077 \times 10^3 \end{pmatrix} \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	$k_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \times 10^3 \\ 814.265 \\ 471.061 \\ 331.385 \\ 255.597 \\ 208.023 \\ 175.379 \end{pmatrix} \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$



3. Расчёт температуры сетевой воды

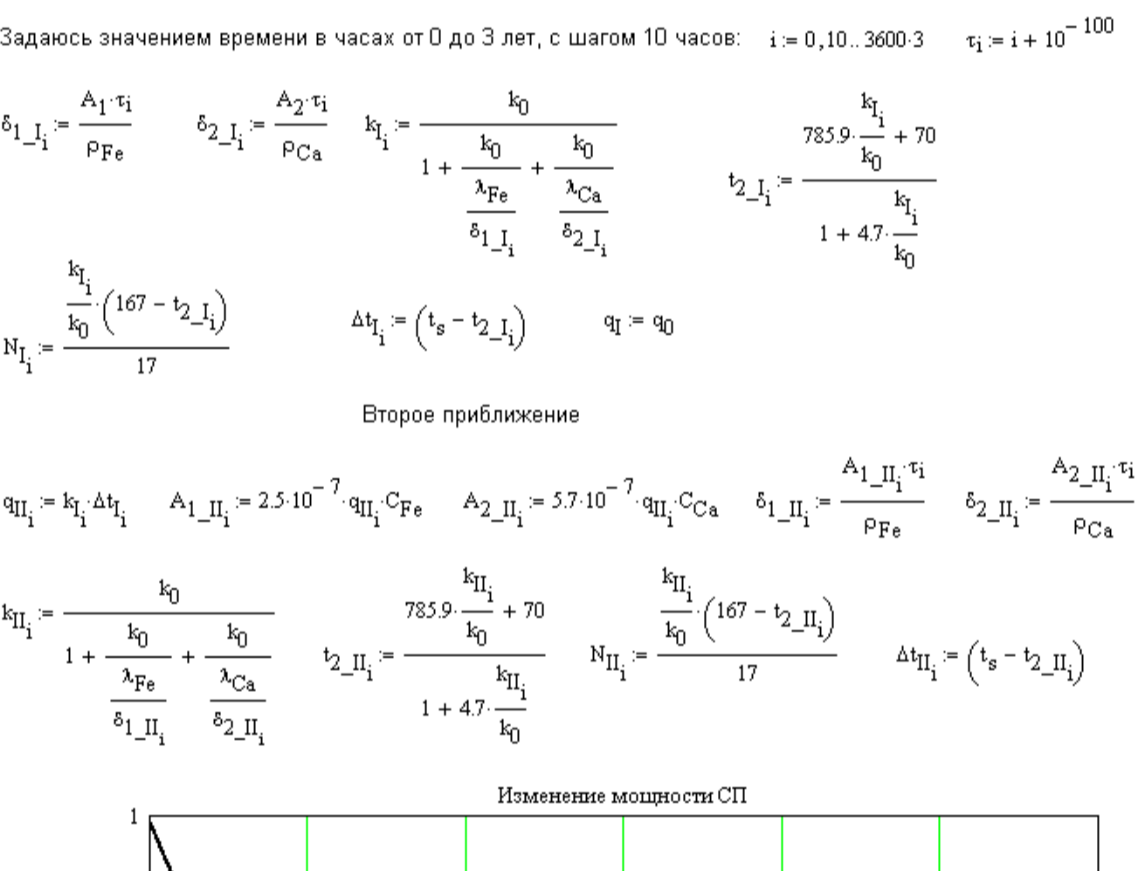


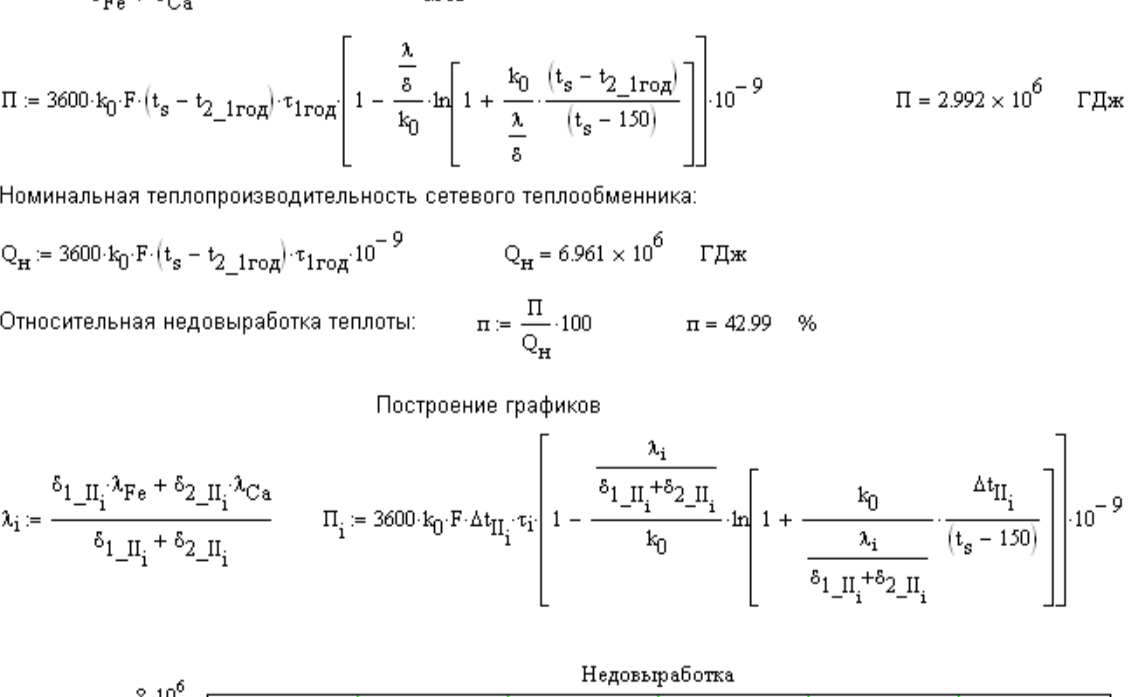
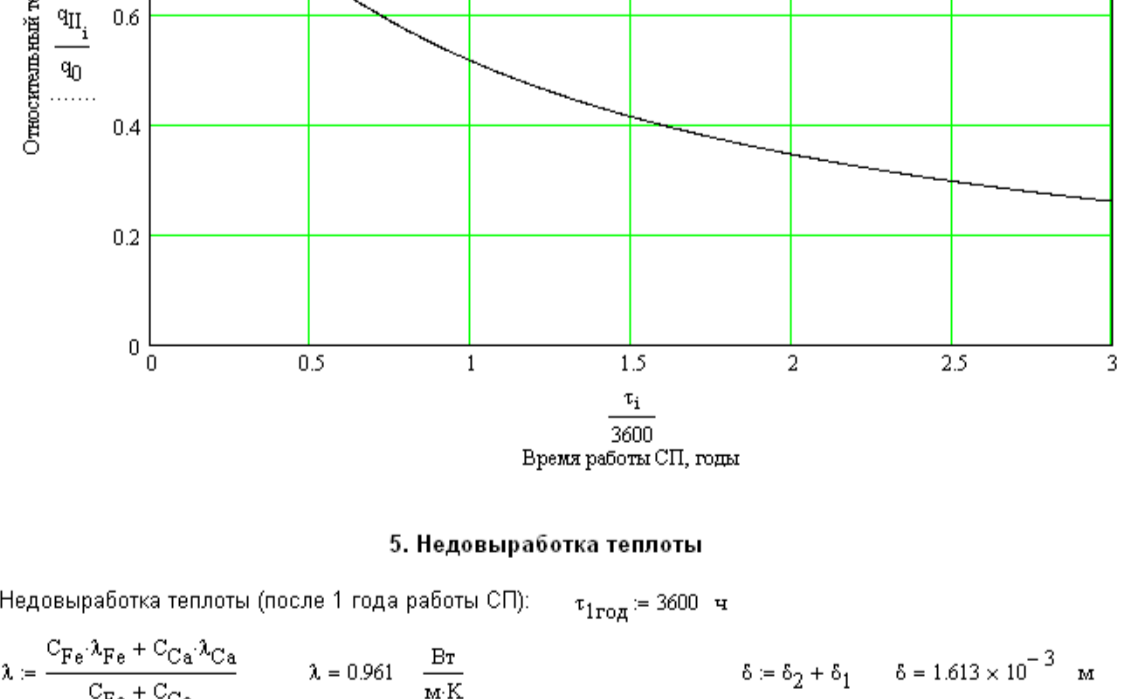
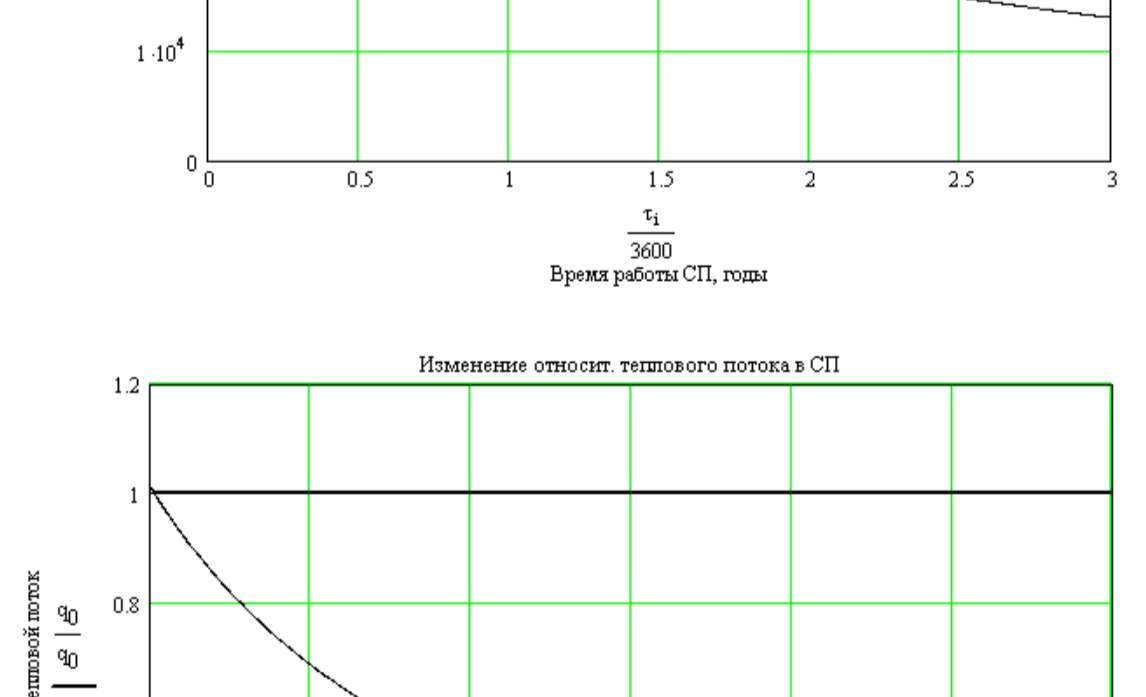
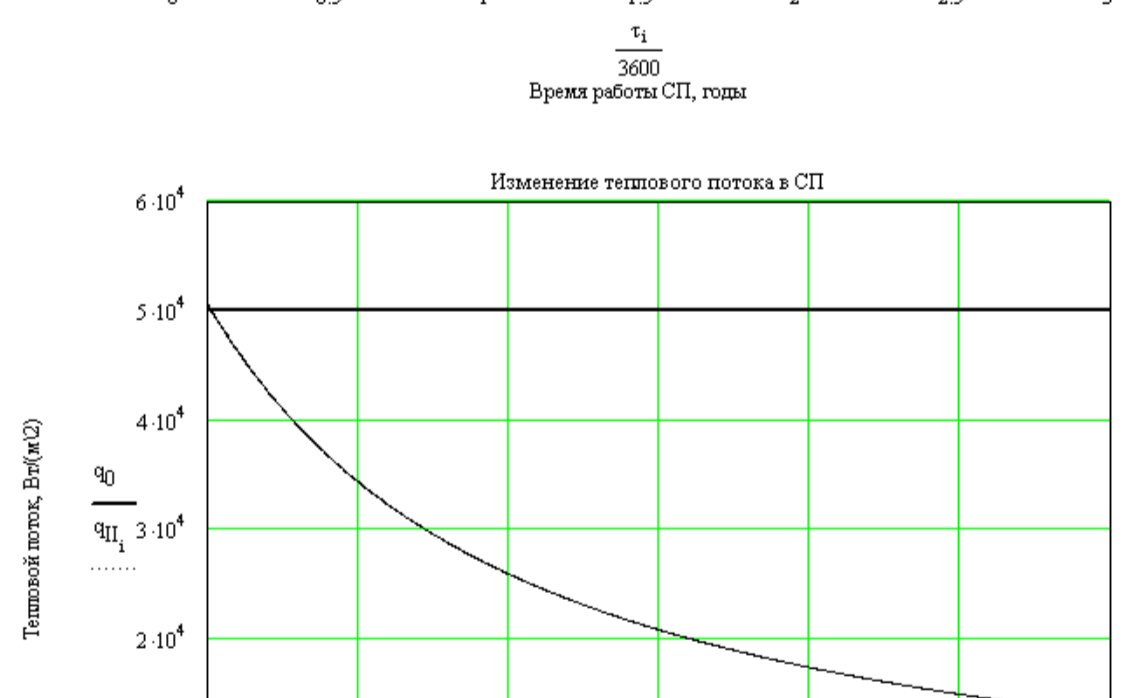
Рис. 2. Температурный график сетевого теплообменника

- Общий коэффициент теплопередачи с учётом двух видов отложений (для периода 1 год): $k = 460.3 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$
- Температура сетевой воды: $t_{2_год} = 110.7 \quad ^\circ C$
- Величина теплового потока: $q_{1год} = 2.59 \times 10^4 \frac{Вт}{м^2}$
- Тепловыделение через год: $Q_{T_год} = 8.242 \times 10^7 \quad Вт$

4. Построение графиков первого и второго приближения

Первое приближение: $\tau_i = i + 10^{-100}$

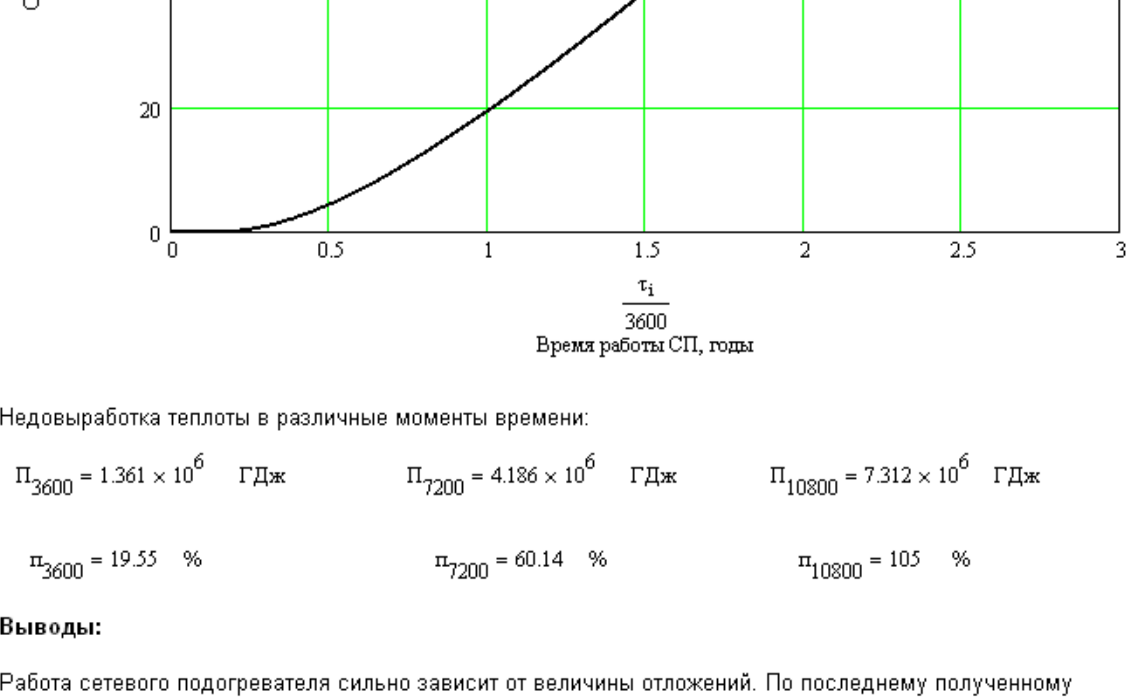
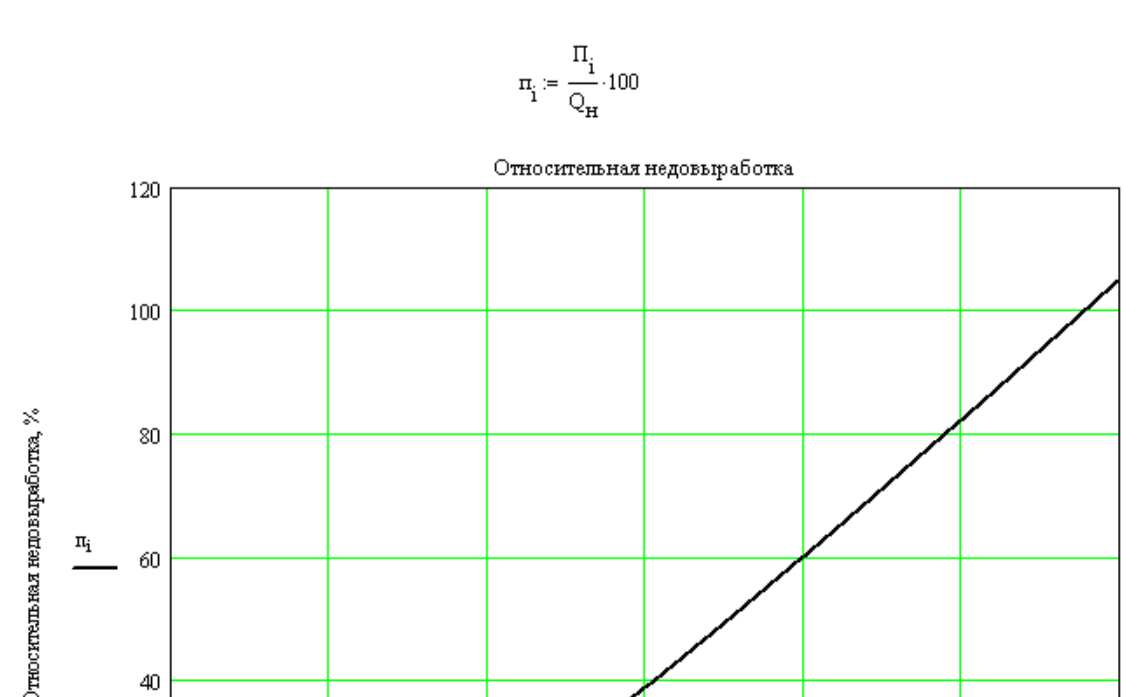
- Задаю значениями времени в часах от 0 до 3 лет, с шагом 10 часов: $i = 0, 10, \dots, 3600 \cdot 3$
- Первое приближение: $\delta_{1_I} = \frac{A_1 \cdot \tau_i}{\rho_{Fe}}$, $\delta_{2_I} = \frac{A_2 \cdot \tau_i}{\rho_{Ca}}$, $k_{1_I} = \frac{k_0}{1 + \frac{k_0}{\lambda_{Fe} \delta_{1_I}} + \frac{k_0}{\lambda_{Ca} \delta_{2_I}}}$, $t_{2_I} = \frac{785.9 \cdot \frac{k_{1_I}}{k_0} + 70}{1 + 4.7 \cdot \frac{k_{1_I}}{k_0}}$
- Второе приближение: $\delta_{1_II} = \frac{k_{1_I} \cdot \tau_i}{17}$, $\delta_{2_II} = \frac{k_{1_I} \cdot \tau_i}{17}$, $k_{1_II} = \frac{k_0}{1 + \frac{k_0}{\lambda_{Fe} \delta_{1_II}} + \frac{k_0}{\lambda_{Ca} \delta_{2_II}}}$, $t_{2_II} = \frac{785.9 \cdot \frac{k_{1_II}}{k_0} + 70}{1 + 4.7 \cdot \frac{k_{1_II}}{k_0}}$



5. Недовыработка теплоты

- Недовыработка теплоты (после 1 года работы СП): $\tau_{1год} = 3600$ ч
- Коэффициент теплопередачи: $\lambda = 0.961 \frac{Вт}{м \cdot K}$, $\delta = \delta_2 + \delta_1 = 1.613 \times 10^{-3} \quad м$
- Потери теплоты: $\Pi = 2.992 \times 10^6 \quad ГДж$
- Номинальная теплопроизводительность сетевого теплообменника: $Q_H = 6.961 \times 10^6 \quad ГДж$
- Относительная недовыработка теплоты: $\pi = 42.99 \quad \%$

Построение графиков



- Недовыработка теплоты в различные моменты времени: $\Pi_{3600} = 1.361 \times 10^6 \quad ГДж$, $\Pi_{7200} = 4.186 \times 10^6 \quad ГДж$, $\Pi_{10800} = 7.312 \times 10^6 \quad ГДж$
- Относительная недовыработка: $\pi_{3600} = 19.55 \quad \%$, $\pi_{7200} = 60.14 \quad \%$, $\pi_{10800} = 105 \quad \%$

Выводы: Работа сетевого подогревателя сильно зависит от величины отложений. По последнему полученному графику видно, что отложения мало влияют на эффективность работы СП первую четверть года (первые три месяца работы). При отложении очистки, в дальнейшем эффективность работы СП сильно снижается. Через 2,9 года работы без очистки теоретически эффективнее будет таков, что полностью прекрет канал теплообменника. Для эффективной работы сетевого подогревателя необходимо регулярно производить его очистки.