

Постановка задачи.

Выявить влияние изменения стоимости отпускаемой электроэнергии на величину оптимальной поверхности теплообмена.

Численные исходные данные

Удельная стоимость 1 м ² ПНД:	$b_{пнд} := 2800 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$
Расход конденсата через ПНД:	$D_{ок} := 650 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{с}}$
Площадь ПНД1 в базовом варианте:	$F_{пнд1_0} := 2385 \cdot \text{м}^2$
Недогрев в ПНД:	$v_{1_0} := 6 \cdot \text{К}$
Энтальпия пара на входе в ПНД2:	$h_2 := 2755 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Энтальпия пара на входе в ПНД1:	$h_1 := 2523 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Энтальпия дренажа из ПНД1:	$h'_{1} := 246.6 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Число часов работы ПНД1 с установленной мощностью:	$z := 6500 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$
Тариф за пользование электроэнергией, в базовом режиме:	$z := 0.72 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$
Ставка дисконтирования	$E := 14 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$
Коэффициент отчисления на амортизацию	$P_a := 3.5 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$
Коэффициент отчисления на ремонт	$P_{рем} := 7 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$
Коэффициент теплопередачи ПНД:	$k := 2.8 \cdot \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$
$c_{р_воды} = 4.1868 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	

Расчетная схема



Рис.1. Схема включения ПНД №1.

При решении задачи применяется метод "базового варианта", в качестве критерия будем использовать изменение среднегодовых затрат, добиваясь их минимума.

Среднегодовые затраты определяются как:
 $Z_{ср.г} = E \cdot K + I$, руб/год, где E - ставка дисконтирования,
 K - капитальные затраты,
 I - годовые издержки.

Допущения в решении задачи:

- удельное теплосодержание в отборах одинаково: $h_1 - h'_{1} = h_2 - h'_2$
- пренебрегаем влиянием теплового потока дренажей в подогреватель ПНД2: $Q_{др} = 0$
- считаем, что $\Delta r_{гидр} = \text{const}$ в ПНД1

Алгоритм расчёта

Оптимальную поверхность ПНД №1 определяем при приведенных выше условиях и допущениях.

Капитальные затраты на ПНД №1 в базовом варианте:

$K_{пнд0} = b_{пнд} \cdot F_{пнд0}$ руб

Принимаем различные варианты значения поверхности теплообмена ПНД №1:

$i = a..b \quad F_{пнд_i} = i \cdot \text{м}^2$

Капитальные затраты на ПНД №1 в других вариантах:

$K_{пнд_i} = b_{пнд} \cdot F_{пнд_i}$ руб

Запишем уравнения теплового баланса ПНД №1 для i-того и базового варианта:

$D_{1_i} \cdot (h_1 - h_{1_др}) = D_{ок} \cdot c_{р} \cdot (t_{2i} - t_1)$

$D_{1_0} \cdot (h_1 - h_{1_др}) = D_{ок} \cdot c_{р} \cdot (t_{2_0} - t_1)$

$t_{2_0} = t_{н.1} - v_{1_0} \quad t_{2_i} = t_{н.1} - v_{1_i}$

Тогда разность тепловых балансов ПНД №1 в i-том и базовом вариантах принимает вид с учетом допущений:

$(D_{1_i} - D_{1_0}) \cdot (h_1 - h_{1_др}) = D_{ок} \cdot c_{р} \cdot (v_{1_i} - v_{1_0})$
 $\Delta D_{1_i} \cdot (h_1 - h_{1_др}) = D_{ок} \cdot c_{р} \cdot (v_{1_i} - v_{1_0}) = D_{ок} \cdot c_{р} \cdot v_{1_0} \cdot \left(\frac{v_{1_i}}{v_{1_0}} - 1 \right)$

По определению недогрева в подогревателе:

$v = (t_n - t_1) \cdot e^{\frac{-k \cdot F}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C}}$

Тогда отношение недогревов в i-том и базовом вариантах определяется по формуле:

$\frac{v_{1_i}}{v_{1_0}} = \frac{e^{\frac{-k \cdot F_i}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C}}}{e^{\frac{-k \cdot F_0}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C}}} = e^{\frac{-k \cdot (F_i - F_0)}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C}}$

Изменение расхода пара на ПНД №1 в результате изменения его поверхности теплообмена:

$\Delta D_{1_i} = \frac{D_{ок} \cdot c_{р} \cdot v_{1_0} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{k \cdot F_{пнд0} - k \cdot F_{пнд_i}}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C} \right) \right)}{h_1 - h_{1_др}}$ кг/с

Ввиду принятых допущений изменения расходов пара в отборах турбины равны по значению и противоположны по знаку:

$\Delta D_{2_i} = -\Delta D_{1_i}$ кг/с

Изменение мощности турбины при изменении расхода пара через отсек 2-1:

$\Delta N_{пт_i} = \Delta D_{2_i} \cdot (h_2 - h_1) \cdot \eta_m \cdot \eta_g$ кВт

Учет изменения энергетической эффективности вариантов :

$\Delta Z_{энерг.эф_i} = \Delta N_{пт_i} \cdot z \cdot \tau_y$ руб/год

Целевая функция (изменение среднегодовых затрат) принимает вид:

$\Delta Z_{срг_i} = (P_a + P_{рем} + E) \cdot (K_{пнд_i} - K_{пнд0}) + \Delta Z_{энерг.эф_i}$ руб/год

$\Delta Z_{срг_i} = (P_a + P_{рем} + E) \cdot b_{пнд} \cdot (F_{пнд_i} - F_{пнд0}) + z \cdot \tau_y \cdot \frac{D_{ок} \cdot c_{р} \cdot v_{1_0} \cdot (h_2 - h_1) \cdot \eta_m \cdot \eta_g}{h_1 - h_{1_др}} \cdot \left[\exp\left(\frac{-k \cdot (F_{пнд_i} - F_{пнд0})}{c_{р} \cdot D_{ок} \cdot C} \right) - 1 \right]$

Решение

Задаёмся рядом значений площади поверхности ПНД:

$F_{пнд1} := 3200 \cdot \text{м}^2, 3250 \cdot \text{м}^2 .. 6000 \cdot \text{м}^2$

Изменение расхода конденсата через ПНД:

$\Delta D(F_{пнд1}) := \frac{D_{ок} \cdot c_{р} \cdot v_{1_0}}{h_1 - h'_{1}} \cdot \left[e^{\frac{-k \cdot (F_{пнд1} - F_{пнд1_0})}{c_{р} \cdot v_{1_0} \cdot C}} - 1 \right] \quad \Delta D(F_{пнд1}) =$

Далее определяем изменение электрической мощности:	$\eta_m := 0.98 \quad \eta_g := 0.99$	<table border="1"><tr><td>-4.0718</td></tr><tr><td>-4.2273</td></tr><tr><td>-4.375</td></tr><tr><td>-4.5153</td></tr><tr><td>-4.6485</td></tr><tr><td>-4.7751</td></tr><tr><td>-4.8954</td></tr><tr><td>-5.0096</td></tr><tr><td>-5.118</td></tr><tr><td>-5.2211</td></tr><tr><td>-5.319</td></tr><tr><td>-5.4119</td></tr><tr><td>-5.5002</td></tr><tr><td>-5.5841</td></tr><tr><td>-5.6638</td></tr><tr><td>-5.7394</td></tr></table>	-4.0718	-4.2273	-4.375	-4.5153	-4.6485	-4.7751	-4.8954	-5.0096	-5.118	-5.2211	-5.319	-5.4119	-5.5002	-5.5841	-5.6638	-5.7394
-4.0718																		
-4.2273																		
-4.375																		
-4.5153																		
-4.6485																		
-4.7751																		
-4.8954																		
-5.0096																		
-5.118																		
-5.2211																		
-5.319																		
-5.4119																		
-5.5002																		
-5.5841																		
-5.6638																		
-5.7394																		

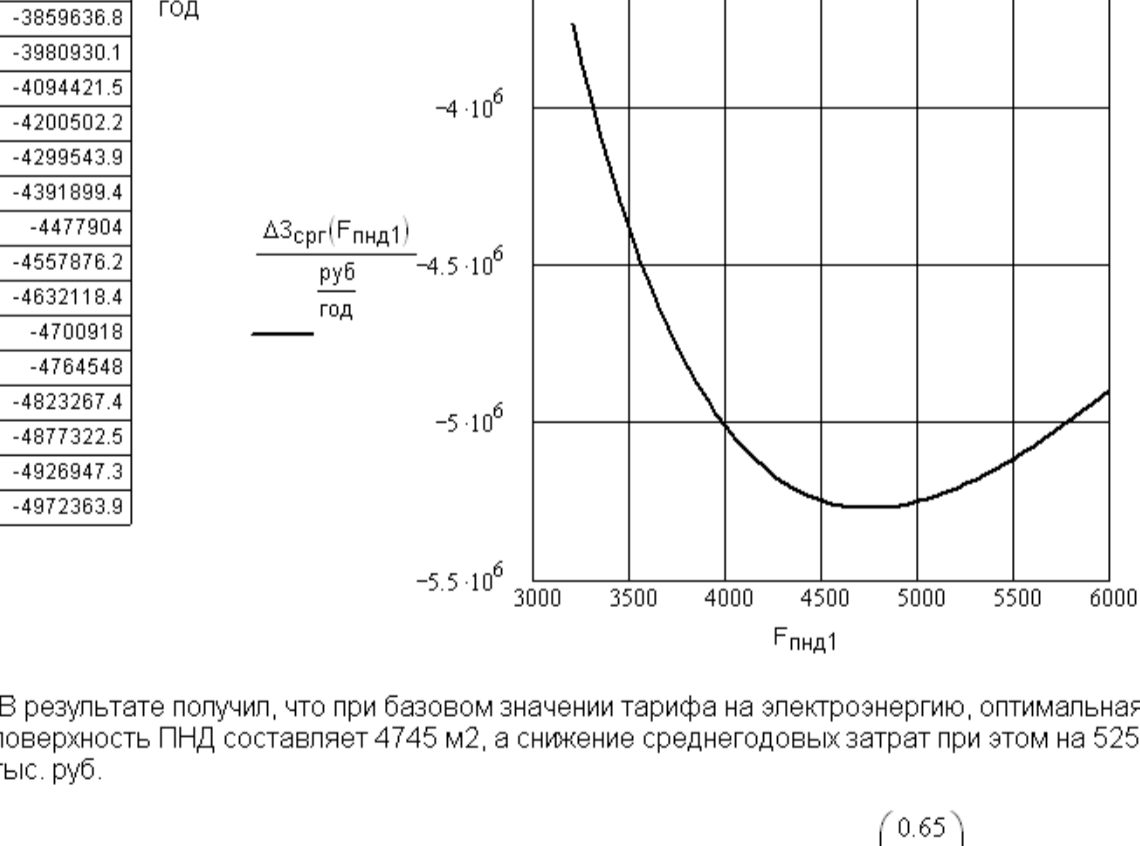
Затраты, связанные с энергетическим эффектом:

-0.9165
-0.9515
-0.9847
-1.0163
-1.0463
-1.0748
-1.1019
-1.1276
-1.152
-1.1752
-1.1972
-1.2181
-1.238
-1.2569
-1.2748
-1.2919

$\Delta Z_{эн.эфф}(F_{пнд1}) := \Delta N_3(F_{пнд1}) \cdot \tau_y \cdot z$

$\Delta Z_{эн.эфф}(F_{пнд1}) =$

-4289219.7
-4453026.8
-4608620.1
-4758411.5
-4896792.2
-5030133.9
-5156789.4
-5277094
-5391366.2
-5499908.4
-5603008
-5700938
-5793957.4
-5882312.5
-5966237.3
-6045953.9



В результате получил, что при базовом значении тарифа на электроэнергию, оптимальная поверхность ПНД составляет 4745 м², а снижение среднегодовых затрат при этом на 5252 тыс. руб.

Теперь задаюсь рядом значений стоимости электроэнергии: $z := \begin{pmatrix} 0.65 \\ 0.7 \\ 0.75 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$

Затраты, связанные с энергетическим эффектом: $\Delta Z_{эн.эфф_1}(F_{пнд1}) := \Delta N_3(F_{пнд1}) \cdot \tau_y \cdot z_1$

$\Delta Z_{эн.эфф_2}(F_{пнд1}) := \Delta N_3(F_{пнд1}) \cdot \tau_y \cdot z_2$

$\Delta Z_{эн.эфф_3}(F_{пнд1}) := \Delta N_3(F_{пнд1}) \cdot \tau_y \cdot z_3$

$\Delta Z_{эн.эфф_1}(F_{пнд1}) =$

-3872212.2
-4020093.6
-4160559.8
-4293982.6
-4420715.2
-4541093.1
-4655434.8
-4764043.2
-4867205.6

$\Delta Z_{эн.эфф_2}(F_{пнд1}) =$

-4170074.7
-4329331.6
-4480602.9
-4624289
-4760770.2
-4890407.9
-5013545.2
-5130508
-5241806

$\Delta Z_{эн.эфф_3}(F_{пнд1}) =$

-4467937.2
-4638569.6
-4800645.9
-4954595.3
-5100825.3
-5239722.8
-5371655.6
-5496972.9
-5618006.4

Затраты среднегодовые:

$\Delta Z_{срг_1}(F_{пнд1}) := \Delta Z_{эн.эфф_1}(F_{пнд1}) + b_{пнд} \cdot F_{пнд1_0} \cdot \left(\frac{F_{пнд1}}{F_{пнд1_0}} - 1 \right) \cdot (E + P_a + P_{рем})$

$\Delta Z_{срг_2}(F_{пнд1}) := \Delta Z_{эн.эфф_2}(F_{пнд1}) + b_{пнд} \cdot F_{пнд1_0} \cdot \left(\frac{F_{пнд1}}{F_{пнд1_0}} - 1 \right) \cdot (E + P_a + P_{рем})$

$\Delta Z_{срг_3}(F_{пнд1}) := \Delta Z_{эн.эфф_3}(F_{пнд1}) + b_{пнд} \cdot F_{пнд1_0} \cdot \left(\frac{F_{пнд1}}{F_{пнд1_0}} - 1 \right) \cdot (E + P_a + P_{рем})$

Из полученных графиков видно, что при увеличении стоимости отпускаемой электроэнергии значение оптимальной площади теплообмена в ПНД увеличивается.