

2007/2008 учебный год. Осенний семестр.

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

Задание

Пункт 1.

Для гипотетической теплофикационной турбины, тепловая схема которой представлена на рис.1, рассчитать тепловую нагрузку турбины, расходы пара на каждый из сетевых подогревателей и электрическую мощность, развиваемую турбиной при работе ее по температурному графику теплосети, представленному на рис.2. Максимальный отпуск тепла от отборов турбины составляет $Q_T=203,5$ МВт. Максимально допустимое давление в верхнем отборе $P_{сп2}=0,25$ МПа, в нижнем отборе $P_{сп1}=0,20$. Минимальный пропуск пара в конденсатор составляет $D_K=3$ кг/с и остается постоянным для всех режимов. В качестве опорного 0 режима использовать режим, представленный в таблице 1. Исходные данные для расчета представлены в табл.2.

Принять потери давления в отборах на СП $\Delta P=0,04 P_{сп}$. Давление в конденсаторе для всех случаев принять $P_K=0,005$ МПа.

Пункт 2.

Рассчитать изменение мощности турбины используя исходные данные пункта 1, для случая подогрева сетевой воды в одном сетевом подогревателе.

Пункт 1 и 2 рассчитываются без учета работы встроенного пучка.

Пункт 3.

Определить эффективность использования встроенного пучка для различных условий эксплуатации турбины. С этой целью рассчитать тепловую нагрузку блока в целом, включая работу и ПВК, определить нагрузку турбины, расходы пара на сетевые подогреватели и в конденсатор, определить мощность, вырабатываемую турбиной при 3-х ступенчатом подогреве сетевой воды и сравнить эффективность использования с рассчитанными ранее в п.1 и 2 вариантами подогрева сетевой воды. При нагрузке блока Q_b меньше, чем $Q_T^{max}_{отб}$, включение встроенного пучка (ΔQ_k) приводит к уменьшению нагрузки отбора на ΔQ_k , при сохранении отпуска тепла от блока в целом. При Q_b больше, чем $Q_T^{max}_{отб}$, включение встроенного пучка приводит к частичному вытеснению ПВК на величину нагрузки встроенного пучка.

Работа со встроенным пучком рассчитывается только для варианта с двумя сетевыми подогревателями.

Принять величину недогрева сетевой воды во всех сетевых подогревателях $V=4^\circ\text{C}$, а во встроенном пучке $V=8^\circ\text{C}$. Энтальпию и температуру питательной воды принять равной температуре основного конденсата, в соответствии со схемой рис.1.

Расчет проводится для ~~двух~~ ^{трех} уровней температур приведенных в табл.1.

Ильин

нагрузка воздуха

Таблица 1.
Исходные данные

варианты величины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_0, ^\circ\text{C}$	540/ 555	545/ 550	550/ 540	555/ 545	560/ 540	550/ 540	545/ 555	555/ 550	540/5 560	560/ 545	540/ 543	545/ 550	550/ 540	555/ 545	560/ 550
η_{01}	0,75/ 0,82	0,76/ 0,8	0,77/0 ,75	0,78/0 ,73	0,8/0, 75	0,75/ 0,77	0,76/ 0,8	0,78/ 0,75	0,8/ 0,76	0,77/ 0,78	0,8/ 0,78	0,79/ 0,75	0,77/ 0,85	0,76/ 0,82	0,75/ 0,8
$t_{нв}, ^\circ\text{C}$	0, -15	-1, -20	+1, -25	-2, -20	-3, -18	-2, -24	+1, -22	-1, -19	0, -21	-3, -17	+3, -20	+1, -25	0, -24	+2, -25	-1 -18
$P_0, \text{МПа}$	12,75					13,75					14,75				
$G_{св}, \text{т/ч}$	4000/3800					3500/4500					4200/3600				

Таблица 2.

Опорный режим (исходные данные). $P_k=0,004 \text{ МПа}$

Внутренний относительный КПД турбины для всех режимов $\eta_{01}=0,76$

$t_0, ^\circ\text{C}$	$P_0, \text{МПа}$	$Q_T, \text{МВт}$	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	$P_{сп2}, \text{МПа}$	$t_{св}, ^\circ\text{C}$	$P_{сп1}, \text{МПа}$	$G_{св}, \text{т/ч}$	$D_0, \text{кг/с}$	$D_{св2}, \text{кг/с}$	$D_{сп1}, \text{кг/с}$	$D_{к1}, \text{т}$
555	12,75	203,5	95	0,108	51	0,0506	4000	100,2	46,4	48,27	5,5

Дано

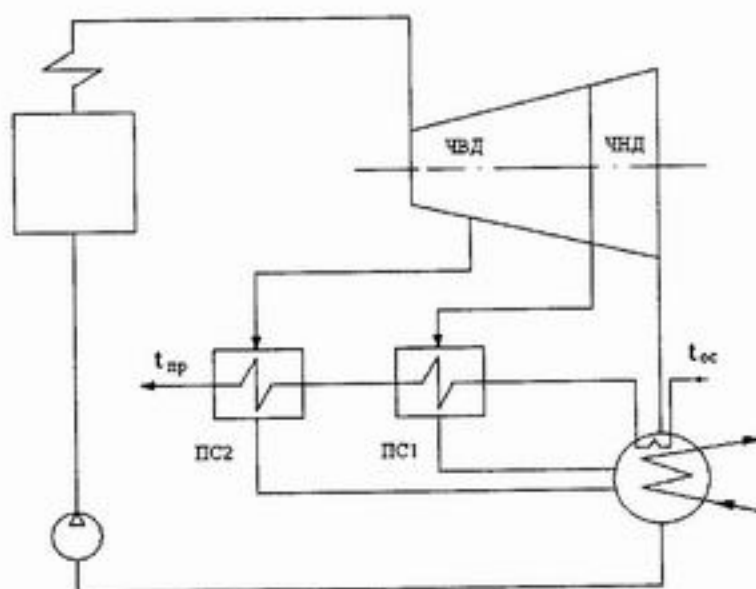


Рис.1. Схема теплофикационной установки

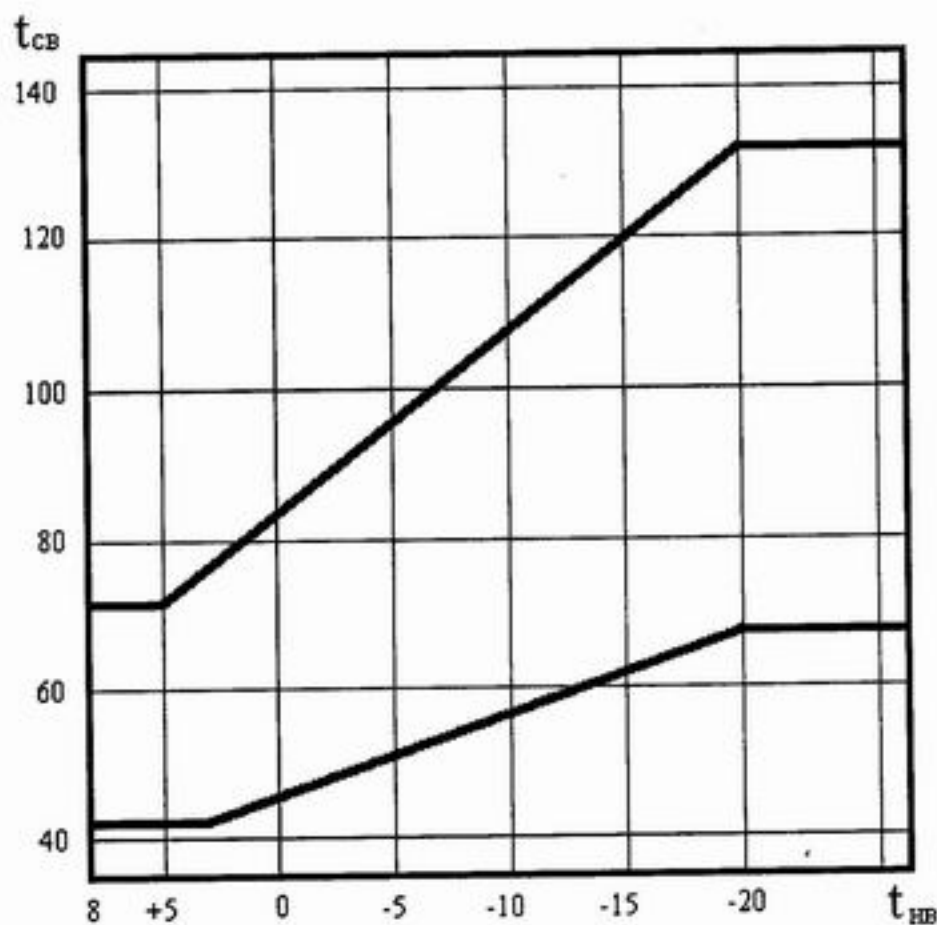


Рис.2 Температурный график теплосети (для г.Москвы)

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики
КАФЕДРА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ

Типовой расчёт

по курсу

«Режимы работы и эксплуатации ТЭС»

«Расчёт теплофикационной установки с сетевыми подогревателями и
встроенным пучком»

Студент:

Группа:

Вариант : 11

Преподаватель: Куличихин В.В.

Исходные данные:
Для варианта 11

Максимальный отпуск тепла из отборов турбины:	$Q_{T_max} = 203.5$ МВт
Максимально допустимое давление в верхнем отборе:	$P_{СП2_max} = 0.25$ МПа
Максимально допустимое давление в нижнем отборе:	$P_{СП1_max} = 0.2$ МПа
Минимальный пропуск пара в конденсатор:	$D_{K_min} = 3 \frac{кг}{с}$
Температура острого пара:	$t_0 = 540$ °С
Внутренний относительный КПД турбины:	$\eta_{oi} = 0.8$
Температура наружного воздуха:	$t_{нв} = 3$ °С
Давление острого пара:	$P_0 = 14.75$ МПа
Расход сетевой воды:	$G_{св} = 4200 \frac{т}{ч}$
Давление в конденсаторе:	$P_K = 0.005$ МПа
Недогрев в сетевых подогревателях:	$\theta_{СП} = 4$ °С
Недогрев в конденсаторе:	$\theta_{ВП} = 8$ °С
Потери давления в отборах СП:	$\Delta P = 0.04$ даял СП
КПД электрогенератора:	$\eta_э = 0.99$
Механический КПД турбины:	$\eta_M = 0.98$

Для опорного режима

Отпуск тепла из отборов турбины:	$Q_{T_оп} = 203.5$ МВт
Давление в верхнем отборе:	$P_{СП2_оп} = 0.108$ МПа
Давление в нижнем отборе:	$P_{СП1_оп} = 0.0506$ МПа
Температура острого пара:	$t_{0_оп} = 555$ °С
Внутренний относительный КПД турбины:	$\eta_{oi_оп} = 0.76$
Давление острого пара:	$P_{0_оп} = 12.75$ МПа
Расход сетевой воды:	$G_{св_оп} = 4000 \frac{т}{ч}$
Давление в конденсаторе:	$P_{K_оп} = 0.004$ МПа
Температура прямой сетевой воды:	$t_{пр_оп} = 95$ °С
Температура обратной сетевой воды:	$t_{oc_оп} = 51$ °С
Расход пара в голову турбины:	$D_{0_оп} = 100.2 \frac{кг}{с}$
Расход пара на верхний сетевой подогреватель:	$D_{СП2_оп} = 46.4 \frac{кг}{с}$
Расход пара на нижний сетевой подогреватель:	$D_{СП1_оп} = 48.27 \frac{кг}{с}$
Пропуск пара в конденсатор:	$D_{K_оп} = 5.53 \frac{кг}{с}$

Пункт 1

Задаю значение изобарной теплоёмкости для сетевой воды: $c_{p_св} = 4.19 \frac{кДж}{кг \cdot K}$
По температурному графику теплосети, при заданном значении наружного воздуха $t_{нв} = 3$ °С, определяю температуры прямой и обратной сетевой воды:

$$t_{пр} = 76 \text{ °С} \quad t_{oc} = 42 \text{ °С}$$

Зная расход сетевой воды, определяю тепловую нагрузку отборов турбины:

$$Q_T = \frac{G_{св} \cdot 1000}{3600} \cdot c_{p_св} \cdot (t_{пр} - t_{oc}) \quad Q_T = 1.662 \times 10^5 \text{ кВт}$$

Так как тепловая нагрузка меньше максимальной $Q_{T_max} = 203.5$ МВт, то температура прямой сетевой воды равна температуре сетевой воды на выходе из СП2 (ПЕК не включён).

Температура насыщения пара в СП2:

$$t_{s_СП2} = t_{пр} + \theta_{СП} \quad t_{s_СП2} = 76 + 4 \quad t_{s_СП2} = 80 \text{ °С}$$

$$\text{Давление пара в СП2: } P_{s_СП2} = 0.0474 \text{ МПа}$$

$$\text{Давление в верхнем сетевом отборе: } P_{СП2} = 1.04 \cdot P_{s_СП2} \quad P_{СП2} = 0.0493 \text{ МПа}$$

$$\text{Для СП1 выполняется равенство: } Q_{СП1} = D_{СП1} \cdot q_{СП1} \cdot \eta_{СП} = G_{св} \cdot c_{p_св} \cdot (t_{СП1} - t_{oc})$$

$$\text{Здесь } q_{СП1} = 2200 \frac{кДж}{кг} \quad \eta_{СП} = 0.98$$

$$\text{Отсюда температура сетевой воды за СП1: } t_{СП1} = t_{oc} + \frac{(D_{СП1} \cdot q_{СП1} \cdot \eta_{СП})}{(G_{св} \cdot c_{p_св})}$$

Из закона Стодола-Флюгеля, сопоставляя опорный и расчётный режимы, выражение для давления в нижнем сетевом отборе:

$$P_{СП1} = \sqrt{P_{СП2}^2 - (P_{СП2_оп}^2 - P_{СП1_оп}^2) \left(\frac{D_{отс}}{D_{отс_оп}} \right)^2}$$

$$\text{Пропуск пара через отсек между двумя отборами: } D_{отс_оп} = D_{СП1_оп} + D_{K_оп} \quad D_{отс_оп} = 53.8 \frac{кг}{с}$$

$$D_{отс} = D_{СП1} + D_{ЦНД}$$

$$\text{Пропуск пара в конденсатор в расчётном режиме: } D_{КНД} = 29.63 \cdot P_{СП1} - 0.103$$

$$t_{s_СП1} = t_{СП1} + \theta_{СП} \quad P_{s_СП1} = f(t_{s_СП1}) \quad P_{СП1} = 1.04 P_{s_СП1}$$

Получилось, что имеем зависимость одних параметров от других, причём, зависимость не прямая, а через свойства воды и водяного пара.

$$\text{Задаю значениями расхода пара на СП1: } D_{СП1_прибл} = \left(\frac{26}{27} \right) \frac{кг}{с}$$

Исходя из расхода, определяю температуру сетевой воды за СП1:

$$t_{СП1_прибл} = t_{oc} + \frac{(D_{СП1_прибл} \cdot q_{СП1} \cdot \eta_{СП})}{(G_{св} \cdot c_{p_св})} \quad t_{СП1_прибл} = \left(\frac{45.185}{45.247} \right) \text{ °С}$$

Нахожу температуру и давление насыщения в СП1:

$$t_{s_СП1_прибл} = t_{СП1_прибл} + \theta_{СП} \quad t_{s_СП1_прибл} = \left(\frac{49.185}{49.247} \right) \text{ °С}$$

$$P_{s_СП1_по_t} = \left(\frac{0.01186}{0.011933} \right) \text{ МПа}$$

Нахожу давление в отборе на СП1 по давлению насыщения в подогревателе:

$$P_{СП1_по_t} = 1.04 P_{s_СП1_по_t} \quad P_{СП1_по_t} = \left(\frac{0.01233}{0.01241} \right) \text{ МПа}$$

Решаю второе уравнение

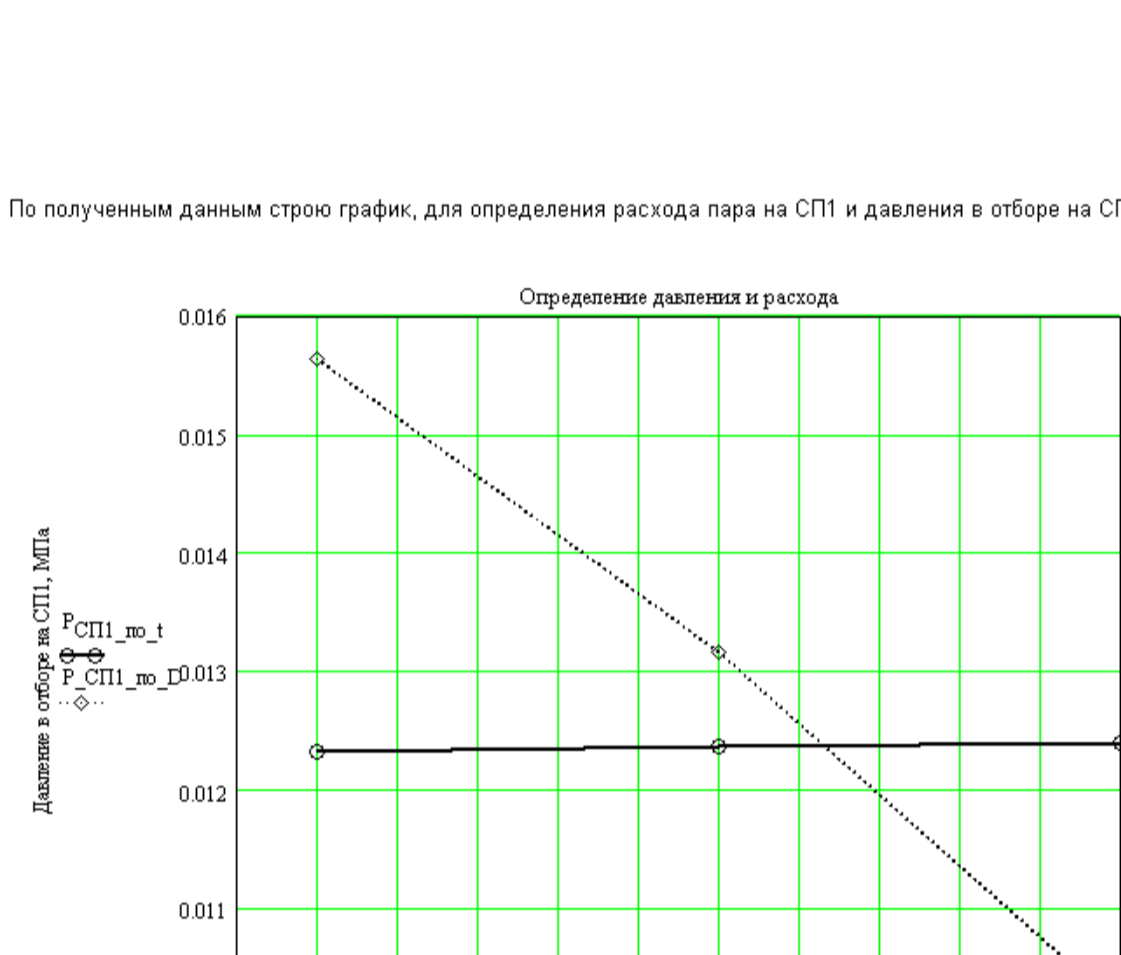
$$\text{первое приближение } P_{СП1_по_D} = P_{s_СП1_по_t}$$

Given

$$P_{СП1_по_D} = \sqrt{P_{СП2}^2 - (P_{СП2_оп}^2 - P_{СП1_оп}^2) \left[\frac{D_{СП1_прибл} + (29.63 \cdot P_{СП1_по_D} - 0.103)}{D_{отс_оп}} \right]^2}$$

$$P_{СП1_по_D} = \text{Find}(P_{СП1_по_D}) \quad P_{СП1_по_D} = \left(\frac{0.01564}{0.01017} \right) \text{ МПа}$$

По полученным данным строю график, для определения расхода пара на СП1 и давления в отборе на СП1:



Из графика получаем:

$$\text{Расход пара на СП1: } D_{СП1} = 26.6 \frac{кг}{с}$$

$$\text{Давление в отборе на СП1: } P_{СП1} = 0.0124 \text{ МПа}$$

По закону Стодола-Флюгеля нахожу расход пара в голову турбины:

$$D_0 = D_{0_оп} \sqrt{\frac{P_0^2 - P_{СП2_оп}^2}{P_0^2 - P_{СП2}^2}} \quad D_0 = 86.61 \frac{кг}{с}$$

Расход пара в верхний отбор:

$$D_{СП2} = \frac{Q_T - D_{СП1} \cdot q_{СП1} \cdot \eta_{СП}}{2383 \cdot \eta_{СП}} \quad D_{СП2} = 46.61 \frac{кг}{с}$$

$$\text{Расход пара в отсеке между отборами: } D_{отс} = D_0 - D_{СП2} \quad D_{отс} = 40 \frac{кг}{с}$$

Определение действительных теплоперепадов

$$\text{Значение энтальпии и энтропии } P_0 \text{ и } t_0: \quad h_0 = 3426 \frac{кДж}{кг} \quad s_0 = 6.5 \frac{кДж}{кг \cdot K}$$

По полученной энтропии "спускаюсь" до давления в верхнем сетевом отборе и нахожу энтальпию по изэнтропии:

$$h_{t_СП2} = 2255.9 \frac{кДж}{кг}$$

Через КПД определяю действительное значение энтальпии в отборе на СП2:

$$h_{СП2} = h_0 - \eta_{oi} (h_0 - h_{t_СП2}) \quad h_{СП2} = 2490 \frac{кДж}{кг}$$

Зная давление и энтальпию в точке отбора пара на СП2, нахожу здесь значение энтропии:

$$s_{СП2} = 7.161 \frac{кДж}{кг \cdot K}$$

По полученной энтропии "спускаюсь" до давления в нижнем сетевом отборе и нахожу энтальпию по изэнтропии:

$$h_{t_СП1} = 2.296 \times 10^3 \frac{кДж}{кг}$$

Через КПД определяю действительное значение энтальпии в отборе на СП2:

$$h_{СП1} = h_{СП2} - \eta_{oi} (h_{СП2} - h_{t_СП1}) \quad h_{СП1} = 2335 \frac{кДж}{кг}$$

$$\text{Расход пара в ЦНД: } D_{ЦНД} = D_0 - D_{СП2} - D_{СП1} \quad D_{ЦНД} = 13.4 \frac{кг}{с}$$

Выработка электрической мощности в ЦНД:

$$N_{э_ЦНД} = \left[2 \left(\frac{D_{ЦНД}}{2} - \frac{P_K \cdot 10^3}{1.03} \right) \right] \cdot \left(279 - 181 \cdot \frac{P_K \cdot 10^3}{D_{ЦНД}} \right) \quad N_{э_ЦНД} = 780.4 \text{ кВт}$$

Электрическая мощность, развиваемая турбиной:

$$N_э = [D_0 \cdot (h_0 - h_{СП2}) + D_{отс} \cdot (h_{СП2} - h_{СП1})] \cdot \eta_M \cdot \eta_э + N_{э_ЦНД} \quad N_э = 85460 \text{ кВт}$$

Пункт 2

В случае установки одного СП, расход пара на подогреватель:

$$D_{СП} = \frac{Q_T}{q_{СП1} \cdot \eta_{СП}} \quad D_{СП} = 77.09 \frac{кг}{с}$$

$$\text{Расход пара в ЦНД: } D_{ЦНД_2} = D_0 - D_{СП} \quad D_{ЦНД_2} = 9.522 \frac{кг}{с}$$

Потери мощности из-за перемешивания потока пара в ЦНД:

$$N_{э_ЦНД_2} = \left[2 \left(\frac{D_{ЦНД_2}}{2} - \frac{P_K \cdot 10^3}{1.03} \right) \right] \cdot \left(279 - 181 \cdot \frac{P_K \cdot 10^3}{D_{ЦНД_2}} \right) \quad N_{э_ЦНД_2} = -34.32 \text{ кВт}$$

Электрическая мощность, развиваемая турбиной во 2-ом режиме:

$$N_{э_2} = D_0 \cdot (h_0 - h_{СП1}) \cdot \eta_M \cdot \eta_э + N_{э_ЦНД_2} \quad N_{э_2} = 91660 \text{ кВт}$$

Величина дополнительно выработанной мощности:

$$\Delta N_2 = N_{э_2} - N_э \quad \Delta N_2 = 6201 \text{ кВт}$$

Пункт 3

Расчет значения перепада температур на встроенный пучок:

$$\text{Энтальпия основного конденсата (по давлению насыщения в конденсаторе): } h_{ок} = 137.77 \frac{кДж}{кг}$$

$$\text{Задаю значение температурного перепада на встроенном пучке: } \Delta t_K = 6 \text{ °С}$$

Значение удельного теплоперепада на встроенном пучке:

$$\Delta Q_K = \Delta t_K \cdot \frac{G_{св} \cdot 1000}{3600} \cdot c_{p_св} \quad \Delta Q_K = 29330 \text{ кВт}$$

$$\text{Значение температуры сетевой воды за встроенным пучком: } t_{вп} = t_{oc} + \Delta t_K \quad t_{вп} = 48 \text{ °С}$$

$$\text{Температура пара в паровом пространстве конденсатора: } t_K = t_{вп} + \theta_{ВП} \quad t_K = 56 \text{ °С}$$

$$\text{Давление пара в конденсаторе: } P_{K_вп} = 0.0165 \text{ МПа}$$

$$\text{Тепловая нагрузка на отборы: } Q_{T_вп} = Q_T - \Delta Q_K \quad Q_{T_вп} = 1.369 \times 10^5 \text{ кВт}$$

Температура за первым СП (принимаю, что в СП равные тепловые мощности):

$$t_{сн1} = t_{вп} + 0.5 \cdot \frac{Q_{T_вп}}{G_{св} \cdot 1000 \cdot c_{p_св}} \quad t_{сн1} = 62 \text{ °С}$$

$$\text{Температура греющей среды в СП1: } t_{н_сн1} = t_{сн1} + \theta_{СП} \quad t_{н_сн1} = 66 \text{ °С}$$

$$\text{Температура греющей среды в СП2: } t_{н_сн2} = t_{пр} + \theta_{СП} \quad t_{н_сн2} = 80 \text{ °С}$$

$$\text{Давление греющей среды в СП1: } P_{н_сн1} = 0.0262 \text{ МПа}$$

$$\text{Давление греющей среды в СП2: } P_{н_сн2} = 0.0474 \text{ МПа}$$

$$\text{Давление в отборе турбины на СП1: } P_1 = 1.04 \cdot P_{н_сн1} \quad P_1 = 0.02725 \text{ МПа}$$

$$\text{Давление в отборе турбины на СП2: } P_2 = 1.04 \cdot P_{н_сн2} \quad P_2 = 0.0493 \text{ МПа}$$

Определение значений теплоперепадов на подогревателях:

$$\text{Значение энтальпии в точке отбора на СП2 не изменилось: } h_{СП2} = 2490 \frac{кДж}{кг}$$

По значению энтропии $s_{СП2} = 7.161 \frac{кДж}{кг \cdot K}$ и давлению в точке отбора пара на СП1, нахожу

$$h_{2t} = 2403.4 \frac{кДж}{кг}$$

Действительные значения энтальпий пара в отборе на СП1:

$$h_{СП1} = h_{СП2} - \eta_{oi} (h_{СП2} - h_{2t}) \quad h_{СП1} = 2420.7 \frac{кДж}{кг}$$

Значения удельных теплоперепадов на подогревателях (по давлению насыщения):

$$q_{сн1} = 2.341 \times 10^3 \frac{кДж}{кг} \quad q_{сн2} = 2.306 \times 10^3 \frac{кДж}{кг}$$

Значения расходов пара на подогреватели:

$$D_{сн1} = \frac{0.5 \cdot Q_{T_вп}}{\eta_{СП1} \cdot q_{сн1}} \quad D_{сн1} = 29.83 \frac{кг}{с}$$

$$D_{сн2} = \frac{0.5 \cdot Q_{T_вп}}{\eta_{СП2} \cdot q_{сн2}} \quad D_{сн2} = 30.28 \frac{кг}{с}$$

Расход пара в голову турбины не изменился, т.к. осталась температура прямой сетевой воды:

$$D_0 = 86.61 \frac{кг}{с}$$

$$\text{Значение пропускания пара в конденсатор в данном режиме: } D_{КНД} = D_0 - D_{сн1} - D_{сн2} \quad D_{КНД} = 26.5 \frac{кг}{с}$$

Расчет мощности срабатываемой в ЦНД:

$$P_K \cdot 10^3 = 5 \text{ кПа} \quad 1.03 \cdot \left(\frac{D_{ЦНД}}{2} \right) = 13.65 \text{ кПа} \quad 1.03 \cdot \frac{D_{ЦНД}}{2} > P_K \cdot 10^3$$

$$N_{ЦНД} = \left[2 \left(\frac{D_{ЦНД}}{2} - \frac{P_K \cdot 10^3}{1.03} \right) \right] \cdot \left(279 - 181 \cdot \frac{P_K \cdot 10^3}{D_{ЦНД}} \right) \quad N_{ЦНД} = 4110.5 \text{ кВт}$$

Расчет электрической мощности развиваемой турбиной в данном режиме:

$$D_{отс} = D_0 - D_{сн2} \quad D_{отс} = 56.33 \frac{кг}{с}$$

$$N_э = [D_0 \cdot (h_0 - h_{СП2}) + D_{отс} \cdot (h_{СП2} - h_{СП1})] \cdot \eta_M \cdot \eta_э + N_{ЦНД} \quad N_э = 86551.9 \text{ кВт}$$

Величина дополнительно сработанной мощности:

$$\Delta N_3 = N_э - N_э \quad \Delta N_3 = 1092.3 \text{ кВт}$$

Выводы:

Из приведённых расчётов видно, что применение встроенного пучка в конденсаторе позволяет выработать электроэнергии больше на 1,09 МВт, по сравнению с вариантом, когда нет встроенного пучка. Данный выигрыш более заметен при низких температурах наружного воздуха, т.к. в этом случае, можно экономить топливо на ПЕК и использовать теплоту конденсации пара в конденсаторе.