

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра теплосиловых установок и тепловых двигателей

**ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ
ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПТУ

**Методические указания
к выполнению расчетной работы № 1**

**Санкт-Петербург
2018**

УДК 621.43(075)

Паротурбинные установки тепловых и атомных электростанций. Расчет тепловой схемы ПТУ: методические указания к выполнению расчетной работы № 1/ сост.: П.Н. Коновалов, М.С. Липатов; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2018. - 14 с.

В настоящих методических указаниях представлена тепловая схема ПТУ, исходные данные, алгоритм и результаты расчета тепловой схемы, включающей паровую турбину типа «К-200», определяется абсолютный внутренний КПД ПТУ, удельный расход теплоты при указанной тепловой схеме и при исключении подогревателя высокого давления (ПВД-7), рассчитывается электрическая мощность ПТУ с полным составом подогревателей питательной воды и при исключении ПВД-7.

Предназначены для студентов ИЭиА, обучающихся по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профилю: «Технология производства электрической и тепловой энергии».

Рецензент: зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики ВШТЭ СПбГУПТД, канд. тех. наук доцент С.Н. Смородин.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 6 от 23.05.2018).

Утверждены к изданию методической комиссией Института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 7 от 07.06.2018).

Общие положения

Расчет тепловой схемы паротурбинной установки (ПТУ) базируется на знаниях, полученных студентами при изучении промышленных теплоэлектростанций (ТЭС) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), теории паровых турбин и ПТУ в рамках дисциплин: «Промышленные ТЭС», «Нагнетатели и тепловые двигатели», «Паротурбинные установки ТЭС и АЭС». Расчет может производиться с использованием компьютерной техники (программ Excel, Mathcad и др.), а также калькулятора. При выполнении указанного расчета студенты должны уметь пользоваться h,s - диаграммой для воды и водяного пара, программой САТТ2 или другой подобной ей.

Целью расчета тепловой схемы ПТУ является формирование компетенций, связанных с получением навыков определения абсолютного внутреннего КПД ПТУ и удельного расхода теплоты при указанной тепловой схеме и при исключении подогревателя высокого давления (ПВД-7). Тепловая схема ПТУ показана на рисунке.

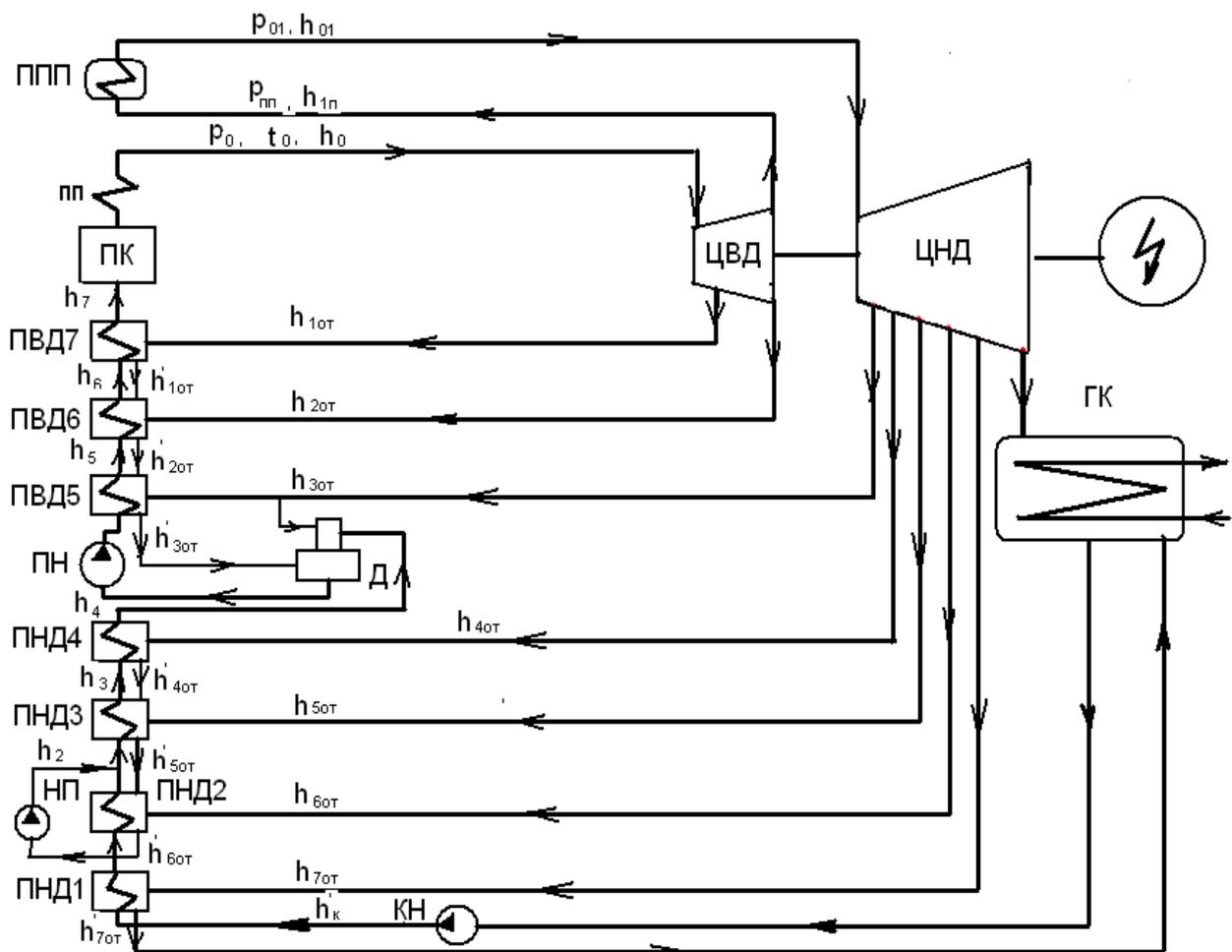


Рис. Тепловая схема ПТУ

ПТУ состоит из конденсационной двухцилиндровой (ЦВД, ЦНД) паровой турбины типа «К-200». Вал турбины соединен муфтой с валом электрогенератора.

Из пароперегревателя парового котла (ПП) пар с параметрами: давление P_0 , МПа, температура t_0 , °С, энтальпия h_0 , кДж/кг, поступает в ЦВД. ЦВД имеет два регенеративных отбора пара на подогрев питательной воды в подогревателях высокого давления: первый отбор на ПВД-7, энтальпия пара на входе - $h_{1от}$, кДж/кг, второй – на ПВД – 6, энтальпия пара на входе $h_{2от}$, кДж/кг. Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-7 $h'_{1от}$, кДж/кг, из ПВД-6 - $h'_{2от}$, кДж/кг.

После ЦВД отработавший пар поступает в промежуточный пароперегреватель (ППП) с параметрами: давление - $P_{пп}$, МПа, температура - $t_{пп}$, °С, энтальпия - $h_{пп}$, кДж/кг. Из промежуточного пароперегревателя пар поступает в ЦНД с параметрами: давление - $P_{по}$, МПа, температура - $t_{по}$, °С, энтальпия - $h_{по}$, кДж/кг. ЦНД имеет пять отборов пара на подогрев питательной воды и конденсата в подогревателях высокого давления ПВД-5, энтальпия пара на входе - $h_{3от}$, кДж/кг. Из этого же отбора пар поступает в деаэратор, энтальпия пара - $h_{3от}$, кДж/кг. Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-5 - $h'_{3от}$, кДж/кг.

Из других отборов пара в ЦНД (4,5,6,7) пар поступает на подогрев конденсата в подогревателях низкого давления. В ПНД-4 греющий пар поступает с энтальпией $h_{4от}$, кДж/кг, в ПНД-3 – с энтальпией $h_{5от}$, кДж/кг, в ПНД-2 – с энтальпией $h_{6от}$, кДж/кг, в ПНД-1 – с энтальпией $h_{7от}$, кДж/кг. Из подогревателей низкого давления конденсат греющего пара имеет энтальпии: из ПНД-4 – $h'_{4от}$, кДж/кг, ПНД-3 – $h'_{5от}$, кДж/кг, ПНД-2 – $h'_{6от}$, кДж/кг, ПНД-1 – $h'_{7от}$, кДж/кг.

Отработавший пар из ЦНД (энтальпия $h_{цнд}$, кДж/кг) поступает в конденсатор, где он конденсируется, и из конденсатосборника конденсатным насосом конденсат подается в подогреватели низкого давления: ПНД-1, энтальпия конденсата на входе в подогреватель $h'_к$, кДж/кг, на выходе – h_1 , кДж/кг; ПНД-2, энтальпия конденсата на входе в подогреватель h_1 , кДж/кг, на выходе – h_2 , кДж/кг; ПНД-3, энтальпия конденсата на входе в подогреватель h_2 , кДж/кг, на выходе – h_3 , кДж/кг; ПНД-4, энтальпия конденсата на входе в подогреватель h_3 , кДж/кг, на выходе – h_4 , кДж/кг.

После ПНД-4 конденсат с энтальпией h_4 , кДж/кг, поступает в деаэратор, из него питательным насосом питательная вода подается в подогреватели высокого давления: ПВД-5, энтальпия питательной воды на входе h_4 , кДж/кг, на выходе – h_5 , кДж/кг; ПВД-6, энтальпия питательной воды на входе h_5 , кДж/кг, на выходе – h_6 , кДж/кг; ПВД-7, энтальпия питательной воды на входе h_6 , кДж/кг, на выходе – h_7 , кДж/кг, и с указанной энтальпией h_7 питательная вода подается в паровой котел.

Исходные данные и алгоритм расчета отражены в табл. 1,2.

Алгоритм расчета тепловой схемы ПТУ

Расчет тепловой схемы ПТУ начинают с определения количества отбираемого пара путем составления уравнений теплового баланса для каждого подогревателя высокого и низкого давления. Расчет ведется от подогревателя наиболее высокого давления. В этом случае в каждом уравнении теплового баланса будет одна неизвестная величина: доля греющего пара α_i в рассматриваемом отборе.

Таблица 1.

Исходные данные

Наименование величины	Обозначение	Размерность
Давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД	P_0	МПа
Температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД	t_0	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара перед промежуточным пароперегревателем	$P_{пп}$	МПа
Температура пара перед промежуточным пароперегревателем	$t_{пп}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД	$P_{по}$	МПа
Температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД	$t_{по}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на выходе из ЦНД	$P_{цнд}$	МПа
Температура пара на выходе из ЦНД	$t_{цнд}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление конденсата перед ПНД-1	$P_{,к}$	МПа
Температура конденсата перед ПНД-1	$t_{к}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПВД-7	$P_{1от}$	МПа
Температура пара на входе в ПВД-7	$t_{1от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПВД-6	$P_{2от}$	МПа
Температура пара на входе в ПВД-6	$t_{2от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПВД-5	$P_{3от}$	МПа
Температура пара на входе в ПВД-5	$t_{3от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПНД-4	$P_{4от}$	МПа
Температура пара на входе в ПНД-4	$t_{4от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПНД-3	$P_{5от}$	МПа
Температура пара на входе в ПНД-3	$t_{5от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПНД-2	$P_{6от}$	МПа
Температура пара на входе в ПНД-2	$t_{6от}$	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара на входе в ПНД-1	$P_{7от}$	МПа
Температура пара на входе в ПНД-1	$t_{7от}$	$^{\circ}\text{C}$
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-7	$h_{1от}$	кДж/кг

Наименование величины	Обозначение	Размерность
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-6	$h_{2от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-5	$h_{3от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-4	$h_{4от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-3	$h_{5от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-2	$h_{6от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-1	$h_{7от}$	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-1	h_1	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-2	h_2	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-3	h_3	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-4	h_4	кДж/кг
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-5	h_5	кДж/кг
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-6	h_6	кДж/кг
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-7	h_7	кДж/кг

Таблица 2.

Алгоритм расчета

Наименование величины	Способ определения	Размерность
Энтальпии пара и конденсата перед ПНД-1	Определяются по P, t	кДж/кг
Уравнение теплового баланса для ПВД-7	$\alpha_7 \times (h_{1от} - h_{1от}') = (h_7 - h_6)$	кДж/кг
Доля греющего пара на ПВД-7	$\alpha_7 = \frac{h_7 - h_6}{h_{1от} - h_{1от}'}$	-
Уравнение теплового баланса для ПВД-6	$\alpha_6 \cdot (h_{2от} - h_{2от}') = (h_6 - h_5) - \alpha_7 \cdot (h_{1от}' - h_{2от}')$	кДж/кг
Доля греющего пара на ПВД-6	$\alpha_6 = \frac{h_6 - h_5 - \alpha_7 \cdot (h_{1от}' - h_{2от}')}{h_{2от} - h_{2от}'}$	-
Уравнение теплового баланса для ПВД-5	$\alpha_5 \cdot (h_{3от} - h_{3от}') = (h_5 - h_4) - (\alpha_7 + \alpha_6) \cdot (h_{2от}' - h_{3от}')$	кДж/кг

Наименование величины	Способ определения	Размерность
<p>Доля греющего пара на ПВД-5 При составлении уравнений теплового баланса для подогревателей низкого давления (ПНД-4,3,2) необходимо учитывать, что конденсат греющего пара от ПВД-7,6,5 поступает в деаэрактор, а не протекает через подогреватели низкого давления. Поэтому доля обогреваемой воды (конденсата), проходящей через ПНД-4,3,2, будет:</p>	$\alpha_5 = \frac{h_5 - h_4 - (\alpha_7 + \alpha_6) \cdot (h_{2ot}' - h_{3ot}')}{h_{3ot} - h_{3ot}'}$	-
<p>Уравнение теплового баланса для ПНД-4</p>	$\alpha_{nнд} = 1 - \alpha_7 - \alpha_6 - \alpha_5$	-
<p>Доля греющего пара на ПНД-4</p>	$\alpha_4 \cdot (h_{4ot} - h_{4ot}') = \alpha_{nнд} \cdot (h_4 - h_3)$	кДж/кг
<p>Уравнение теплового баланса для ПНД-3</p>	$\alpha_4 = \alpha_{nнд} \cdot \frac{h_4 - h_3}{h_{4ot} - h_{4ot}'}$	-
<p>Доля греющего пара на ПНД-3</p>	$\alpha_3 \cdot (h_{5ot} - h_{5ot}') = \alpha_{nнд} \cdot (h_3 - h_2) - \alpha_4 \cdot (h_{4ot} - h_{5ot}')$	кДж/кг
<p>Уравнение теплового баланса для ПНД-2</p>	$\alpha_3 = \frac{\alpha_{nнд} \cdot (h_3 - h_2) - \alpha_4 \cdot (h_{4ot} - h_{5ot}')}{h_{5ot} - h_{5ot}'}$	-
<p>Доля греющего пара на ПНД-2</p>	$\alpha_2 \cdot (h_{6ot} - h_{6ot}') = \alpha_{nнд} \cdot (h_2 - h_1) - (\alpha_4 + \alpha_3) \cdot (h_{5ot}' - h_{6ot}')$	кДж/кг
<p>ПНД-2 снабжен перекачивающим насосом (рис. 1), который подает конденсат греющего пара ПНД-4,3,2 непосредственно в систему подачи воды (конденсата) в ПНД-3, поэтому конденсат греющего пара от ПНД-4,3,2 не поступает в ПНД-1.</p>	$\alpha_2 = \frac{\alpha_{nнд} \cdot (h_2 - h_1) - (\alpha_4 + \alpha_3) \cdot (h_{5ot}' - h_{6ot}')}{h_{6ot} - h_{6ot}'}$	-
<p>Доля обогреваемой воды (конденсата), проходящей через ПНД-1, будет:</p>	$\alpha_{1ннд} = 1 - \sum_2^z \alpha_i$	-
	<p>z- количество подогревателей</p>	

Наименование величины	Способ определения	Размерность
Уравнение теплового баланса для ПНД-1	$\alpha_1 \cdot (h_{7ot} - h'_{7ot}) = \alpha_{1нн\dot{0}} \cdot (h_1 - h'_k)$	кДж/кг
Доля греющего пара на ПНД-1	$\alpha_1 = \alpha_{1нн\dot{0}} \cdot \frac{h_1 - h'_k}{h_{7ot} - h'_{7ot}}$	-
Внутренний теплоперепад от состояния пара на входе в ЦВД до первого отбора пара на ПВД-7	$H_{i0} = h_0 - h_{1ot}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 1-м и 2-м отборами пара	$H_{i1} = h_{1ot} - h_{2ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i1} = (1 - \alpha_7) \cdot H_{i1}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 2-м и 3-м отборами пара	$H_{i2} = h_{2ot} - h_{3ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i2} = \left(1 - \sum_7^6 \alpha_i\right) \cdot H_{i2}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 3-м и 4-м отборами пара	$H_{i3} = h_{3ot} - h_{4ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i3} = \left(1 - \sum_7^5 \alpha_i\right) \cdot H_{i3}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 4-м и 5-м отборами пара	$H_{i4} = h_{4ot} - h_{5ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i4} = \left(1 - \sum_7^4 \alpha_i\right) \cdot H_{i4}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 5-м и 6-м отборами пара	$H_{i5} = h_{5ot} - h_{6ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i5} = \left(1 - \sum_7^3 \alpha_i\right) \cdot H_{i5}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между 6-м и 7-м отборами пара	$H_{i6} = h_{6ot} - h_{7ot}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i6} = \left(1 - \sum_7^2 \alpha_i\right) \cdot H_{i6}$	кДж/кг
Внутренний теплоперепад между состоянием пара в 7-м отборе и выходе из ЦНД	$H_{i7} = h_{7ot} - h_{цн\dot{0}}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад	$\bar{H}_{i7} = \left(1 - \sum_7^1 \alpha_i\right) \cdot H_{i7}$	кДж/кг
Приведенный внутренний теплоперепад в турбине	$\bar{H}_i = \sum_0^z \bar{H}_{im}$	кДж/кг
Доля пара, проходящая через промежуточный пароперегреватель	$m=0 \dots z; z=7.$ $\alpha_{nn} = 1 - (\alpha_7 + \alpha_6)$	-

Наименование величины	Способ определения	Размерность
Количество теплоты, затрачиваемой в котле на получение 1 кг пара	$q = h_0 - h_7 + \alpha_{nn} \cdot (h_{n0} - h_{nn})$	кДж/кг
Абсолютный внутренний КПД ПТУ	$\eta_i = \frac{\bar{H}_i}{q}$	-
Удельный расход теплоты	$q_i = \frac{1}{\eta_i}; \left(q_i = \frac{3600}{\eta_i} \right)$	кДж/кДж (кДж/кВт·ч)

Далее, исключив из расчета ПВД-7, по приведенному выше алгоритму определяют абсолютный внутренний КПД ПТУ η_i и удельный расход теплоты q_i .

Таблица 3.

Дополнительные исходные данные для определения мощности турбины

Наименование величины	Обозначение	Размерность
Максимальный расход пара	G	кг/с
Механический КПД турбины	η_M	-
КПД электрогенератора	$\eta_{ЭГ}$	-

По дополнительным исходным данным определяют электрическую мощность ПТУ при использовании всех подогревателей воды и при исключении ПВД-7.

Расчеты тепловой схемы ПТУ выполняются студентами по исходным данным, которые приведены в табл. 4. Следующие величины: давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД P_0 , температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД t_0 , давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД $P_{п0}$, температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД $t_{п0}$, максимальный расход пара G выдаются студенту преподавателем в соответствии с вариантом.

Таблица 4.

Исходные данные

Наименование величины	Обозначение	Значение	Размерность
Давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД (по варианту)	P_0	12,75	МПа
Температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦВД (по варианту)	t_0	545	$^{\circ}\text{C}$
Давление пара перед промежуточным пароперегревателем	$P_{пп}$	2.28	МПа
Температура пара перед промежуточным пароперегревателем	$t_{пп}$	343	$^{\circ}\text{C}$

Продолжение табл. 4

Наименование величины	Обозначение	Значение	Размерность
Давление пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД (по варианту)	$P_{по}$	2,1	МПа
Температура пара перед 1-м сопловым аппаратом ЦНД (по варианту)	$t_{по}$	545	$^{\circ}C$
Давление пара на выходе из ЦНД	$P_{цнд}$	0,00543	МПа
Температура пара на выходе из ЦНД	$t_{цнд}$	34,35	$^{\circ}C$
Давление конденсата перед ПНД-1	$P'_{к}$	0,00343	МПа
Температура конденсата перед ПНД-1	$t'_{к}$	24,65	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПВД-7	$P_{1от}$	3,53	МПа
Температура пара на входе в ПВД-7	$t_{1от}$	395	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПВД-6	$P_{2от}$	2,43	МПа
Температура пара на входе в ПВД-6	$t_{2от}$	345	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПВД-5	$P_{3от}$	1,16	МПа
Температура пара на входе в ПВД-5	$t_{3от}$	480	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПНД-4	$P_{4от}$	0,658	МПа
Температура пара на входе в ПНД-4	$t_{4от}$	390	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПНД-3	$P_{5от}$	0,343	МПа
Температура пара на входе в ПНД-3	$t_{5от}$	290	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПНД-2	$P_{6от}$	0,213	МПа
Температура пара на входе в ПНД-2	$t_{6от}$	210	$^{\circ}C$
Давление пара на входе в ПНД-1	$P_{7от}$	0,023	МПа
Температура пара на входе в ПНД-1	$t_{7от}$	75	$^{\circ}C$
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-7	$h'_{1от}$	1005	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-6	$h'_{2от}$	919	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПВД-5	$h'_{3от}$	634	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-4	$h'_{4от}$	651	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-3	$h'_{5от}$	526	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-2	$h'_{6от}$	241	кДж/кг
Энтальпия конденсата греющего пара на выходе из ПНД-1	$h'_{7от}$	263	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-1	h_1	241	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-2	h_2	411	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-3	h_3	507	кДж/кг
Энтальпия конденсата на выходе из ПНД-4	h_4	634	кДж/кг

Наименование величины	Обозначение	Значение	Размерность
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-5	h_5	749	кДж/кг
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-6			
Энтальпия питательной воды на выходе из ПВД-7	h_6	919	кДж/кг
Максимальный расход пара (по варианту)			
Механический КПД турбины	h_7	1018	кДж/кг
КПД электрогенератора	G	165	кг/с
	η_M	0,955	-
	$\eta_{ЭГ}$	0,96	-

Таблица 5.

Алгоритм и результаты расчета

Обозначение	Расчётная формула	Результаты расчётов	Единица измерения
h'_x	Определяется по p'_k и t'_k	103,4	кДж/кг
h_{7ot}	Определяется по p_{7ot} и t_{7ot}	2638	кДж/кг
α_7	$\alpha_7 \times (h_{1ot} - h'_{1ot}) = (h_7 - h_6), \alpha_7 = \frac{h_7 - h_6}{h_{1ot} - h'_{1ot}} =$ $= \frac{1018 - 919}{3210 - 1005}$	0,0449	-
α_6	$\alpha_6 \cdot (h_{2ot} - h'_{2ot}) = (h_6 - h_5) - \alpha_7 \cdot (h'_{1ot} - h'_{2ot}),$ $\alpha_6 = \frac{h_6 - h_5 - \alpha_7 \cdot (h'_{1ot} - h'_{2ot})}{h_{2ot} - h'_{2ot}} =$ $= \frac{919 - 749 - 0,0449 \cdot (1005 - 919)}{3116 - 919}$	0,0756	-
α_5	$\alpha_5 \cdot (h_{3ot} - h'_{3ot}) = (h_5 - h_4) - (\alpha_7 + \alpha_6) \cdot (h'_{2ot} - h'_{3ot}),$ $\alpha_5 = \frac{h_5 - h_4 - (\alpha_7 + \alpha_6) \cdot (h'_{2ot} - h'_{3ot})}{h_{3ot} - h'_{3ot}} = \frac{749 - 634 - (0,0449 + 0,0756) \cdot (919 - 634)}{3433 - 634}$	0,0288	-
$\alpha_{нн0}$	$\alpha_{нн0} = 1 - \alpha_7 - \alpha_6 - \alpha_5 = 1 - 0,0449 - 0,0756 - 0,0288$	0,8507	-
α_4	$\alpha_4 \cdot (h_{4ot} - h'_{4ot}) = \alpha_{нн0} \cdot (h_4 - h_3),$ $\alpha_4 = \alpha_{нн0} \cdot \frac{h_4 - h_3}{h_{4ot} - h'_{4ot}} = 0,8507 \cdot \frac{634 - 507}{3248 - 651}$	0,0416	-
α_3	$\alpha_3 \cdot (h_{5ot} - h'_{5ot}) = \alpha_{нн0} \cdot (h_3 - h_2) - \alpha_4 \cdot (h'_{4ot} - h'_{5ot}),$ $\alpha_3 = \frac{\alpha_{нн0} \cdot (h_3 - h_2) - \alpha_4 \cdot (h'_{4ot} - h'_{5ot})}{h_{5ot} - h'_{5ot}} =$ $= \frac{0,8507 \cdot (507 - 411) - 0,0416 \cdot (651 - 526)}{3048 - 526}$	0,0303	-

Обозначение	Расчётная формула	Результаты расчётов	Единица измерения
α_2	$\alpha_2 \cdot (h_{6ot} - h'_{6ot}) = \alpha_{нн\theta} \cdot (h_2 - h_1) - (\alpha_4 + \alpha_3) \cdot (h'_{5ot} - h'_{6ot})$ $\alpha_2 = \frac{\alpha_{нн\theta} \cdot (h_2 - h_1) - (\alpha_4 + \alpha_3) \cdot (h'_{5ot} - h'_{6ot})}{h_{6ot} - h'_{6ot}} =$ $= \frac{0,8507 \cdot (411 - 241) - (0,0416 + 0,0303) \cdot (526 - 241)}{2890 - 241}$	0,0469	-
$\alpha_{нн\theta}$	$\alpha_{нн\theta} = 1 - \sum_2^z \alpha_i = 1 - 0,2681$	0,7319	-
α_1	$\alpha_1 \cdot (h_{7ot} - h'_{7ot}) = \alpha_{нн\theta} \cdot (h_1 - h'_k),$ $\alpha_1 = \alpha_{нн\theta} \cdot \frac{h_1 - h'_k}{h_{7ot} - h'_{7ot}} = 0,7319 \cdot \frac{241 - 103,4}{2638 - 263}$	0,0579	-
H_{i0}	$H_{i0} = h_0 - h_{1ot} = 3459 - 3210$	249	кДж/кг
H_{i1}	$H_{i1} = h_{1ot} - h_{2ot} = 3210 - 3116$	94	кДж/кг
\bar{H}_{i1}	$\bar{H}_{i1} = (1 - \alpha_7) \cdot H_{i1} = (1 - 0,0449) \cdot 94$	89,78	кДж/кг
H_{i2}	$H_{i2} = h_{n0} - h_{3ot} = 3566 - 3433$	133	кДж/кг
\bar{H}_{i2}	$\bar{H}_{i2} = \left(1 - \sum_7^6 \alpha_i\right) \cdot H_{i2} = (1 - (0,0449 + 0,0756)) \cdot 133$	116,97	кДж/кг
H_{i3}	$H_{i3} = h_{3ot} - h_{4ot} = 3433 - 3248$	185	кДж/кг
\bar{H}_{i3}	$\bar{H}_{i3} = \left(1 - \sum_7^5 \alpha_i\right) \cdot H_{i3} = (1 - (0,0449 + 0,0756 + 0,0288))$ $\times 185$	157,38	кДж/кг
H_{i4}	$H_{i4} = h_{4ot} - h_{5ot} = 3248 - 3048$	200	кДж/кг
\bar{H}_{i4}	$\bar{H}_{i4} = \left(1 - \sum_7^4 \alpha_i\right) \cdot H_{i4} = (1 - (0,0449 + 0,0756 + 0,0288 +$ $+ 0,0416)) \cdot 200$	161,82	кДж/кг
H_{i5}	$H_{i5} = h_{5ot} - h_{6ot} = 3048 - 2890$	158	кДж/кг
\bar{H}_{i5}	$\bar{H}_{i5} = \left(1 - \sum_7^3 \alpha_i\right) \cdot H_{i5} = (1 - (0,0449 + 0,0756 + 0,0288 +$ $+ 0,0416 + 0,0303)) \cdot 158$	123,05	кДж/кг
H_{i6}	$H_{i6} = h_{6ot} - h_{7ot} = 2890 - 2638$	252	кДж/кг
\bar{H}_{i6}	$\bar{H}_{i6} = \left(1 - \sum_7^2 \alpha_i\right) \cdot H_{i6} = (1 - (0,0449 + 0,0756 + 0,0288 +$ $+ 0,0416 + 0,0303 + 0,0469)) \cdot 252$	184,44	кДж/кг
H_{i7}	$H_{i7} = h_{7ot} - h_{нн\theta} = 2638 - 2564$	74	кДж/кг
\bar{H}_{i7}	$\bar{H}_{i7} = \left(1 - \sum_7^1 \alpha_i\right) \cdot H_{i7} = (1 - (0,0449 + 0,0756 + 0,0288 +$ $+ 0,0416 + 0,0303 + 0,0469 + 0,0579)) \cdot 74$	49,88	кДж/кг

Обозначение	Расчётная формула	Результаты расчётов	Единица измерения
\bar{H}_i	$\bar{H}_i = \sum_0^z \bar{H}_{im} = 249 + 89,78 + 116,97 + 157,38 + 161,82 +$ $+ 123,05 + 184,44 + 49,88$	1132,32	кДж/кг
α_{nn}	$\alpha_{nn} = 1 - (\alpha_7 + \alpha_6) = 1 - (0,0449 + 0,0756)$	0,8795	-
q	$q = h_0 - h_7 + \alpha_{nn} \cdot (h_{n0} - h_{nn}) = 3459 - 1018 +$ $+ 0,8795 \cdot (3566 - 3115)$	2837,65	кДж/кг
η_i	$\eta_i = \frac{\bar{H}_i}{q} = \frac{1132,32}{2837,65}$	0,399	-
q_i	$q_i = \frac{1}{\eta_i} = \frac{1}{0,399}$	2,51	кДж/кДж
q_i	$q_i = \frac{3600}{\eta_i} = \frac{3600}{0,399}$	9022,56	кДж/кВт·ч

Далее по известной формуле определяется электрическая мощность паровой турбины:

$$N_s = G \cdot \bar{H}_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{э} = 165 \cdot 1132,32 \cdot 0,955 \cdot 0,96 = 171288,31 \text{ кВт} = 171,3 \text{ МВт}.$$

Затем, исключив из схемы ПВД-7, производим расчет тепловой схемы в соответствии с алгоритмом, показанным в табл. 2. В этом случае изменяются уравнения тепловых балансов для ПВД и ПНД, пересчитываются доли греющего пара на ПВД и ПНД, доли обогреваемой воды, проходящей через ПНД-4,3,2 и ПНД-1, а также внутренний теплоперепад H_{i0} , приведенные внутренние теплоперепады \bar{H}_i .

В результате было рассчитано:

- приведенный внутренний теплоперепад в турбине, $\bar{H}_i = 1174,25 \text{ кДж/кг}$;
- количество теплоты, затрачиваемой в котле на получение 1 кг пара, $q = 2956,09 \text{ кДж/кг}$;
- абсолютный внутренний КПД ПТУ, $\eta_i = 0,397$;
- удельный расход теплоты, $q_i = 2,52 \text{ кДж/кДж}$;
- электрическая мощность турбины, $N_s = 177,6 \text{ МВт}$.

Из полученных данных следует, что электрическая мощность турбины увеличилась на 3,5 %, а абсолютный внутренний КПД ПТУ уменьшился на 0,5 %.

Отчет должен содержать:

1. Исходные данные, алгоритмы и результаты расчета *тепловой схемы* ПТУ и определения электрической мощности турбины при полном составе ПВД и ПНД, а также при исключении ПВД-7.
2. Изображение тепловой схемы ПТУ.
3. Выводы по работе.

Библиографический список:

1. Ведрученко В.Р. Ремонт тепломеханического оборудования: учебное пособие/ В.Р. Ведрученко, А.С. Анисимов; М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015. – 33 с.
2. Коновалов, П.Н. Нагнетатели и тепловые двигатели. Тепловой расчет паровой многоступенчатой противодавленческой турбины: учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы/ П. Н. Коновалов, А.А. Верхованцев, М.С. Липатов; СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 68 с.

ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПТУ

**Методические указания
к выполнению расчетной работы № 1**

Редактор и корректор В. А. Басова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2018 г., поз. 59

Подп. к печати 18.06.2018.

Формат 60x84/16.

Бумага тип. № 1.

Печать офсетная.

Объем 1,0 печ.л; 1,0 уч.-изд.л.

Тираж 50 экз.

Изд. № 59. Цена "С" . Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.