

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Автономные системы электроснабжения

Методические указания к практическим занятиям

САМАРА 2017

УДК 533

ББК 31.31

Составители: В.В. Бирюк, Е. В. Благин, Д.А. Угланов

Автономные системы электроснабжения: Учебное пособие/
Самарский университет; В.В. Бирюк, Е. В. Благин, Д.А. Угланов; Самара,
2017. – 33 с.

Приведены задачи на темы технической термодинамики по расчету тепловых и гидроэлектростанций.

Пособие (Методические указания) предназначено для студентов, обучающихся по следующим направлениям подготовки бакалавра: 13.03.03 – Энергетическое машиностроение, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств. 15.03.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 – Двигатели летательных аппаратов; по специальности 24.05.02 – Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок, по направлению подготовки магистров 24.04.05 - Двигатели летательных аппаратов, а также может быть полезно слушателям курсов, аспирантам и специалистам. Разработано на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева.

Рецензент:

Практикум. Тема 1. Паротурбинные силовые установки

1. Водяной пар с начальным давлением $p_5 = 3$ МПа и степенью сухости $x_5 = 0,95$ поступает в пароперегреватель, где его температура повышается на $\Delta t = 245^\circ\text{C}$; после перегревателя пар адиабатно расширяется в турбине до давления $p_2 = 3,5$ кПа. Определить (по $h-s$ -диаграмме) количество теплоты (на 1 кг пара), подведённой к нему в пароперегревателе, работу цикла Ренкина и степень сухости пара x_2 в конце расширения.

Определить также термический КПД цикла. Определить работу цикла и конечную степень сухости, если после пароперегревателя пар дросселируется до давления $p'_1 = 0,48$ МПа.

Решение.

1) По двум известным начальным параметрам пара с помощью $h-s$ - диаграммы определить остальные параметры пара в точке 5.

$$\text{Энтальпия} \quad h_5 = 2716 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Температура} \quad t_5 = 235^\circ\text{C}$$

$$\text{Удельный объем} \quad v_5 = 0,07 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\text{Энтропия} \quad S_5 = 6 \text{ кДж}/(\text{кг} * \text{K})$$

2) Определить температуру перегретого пара.

$$t_1 = t_5 + \Delta t = 235 + 245 = 480^\circ\text{C}.$$

3) Т.к. в цикле Ренкина процесс перегрева пара изобарный, то по двум параметрам пара $t_1 = 480^\circ\text{C}$ и $p_1 = p_5 = 3$ Мпа определить остальные параметры пара в точке 1, используя $h-s$ -диаграмму.

$$\text{Энтальпия} \quad h_1 = 3412 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Удельный объем} \quad v_1 = 0,115 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\text{Энтропия} \quad S_1 = 7,15 \text{ кДж}/(\text{кг} * \text{K})$$

4) Учитывая, что процесс расширения пара в турбине изоэнтропийный, по двум параметрам пара в точке 2: $S_2 = S_1 = 7,15 \text{ кДж}/(\text{кг} * \text{K})$ и $p_2 = 3,5$ кПа, определить остальные параметры пара в точке 2, используя $h-s$ -диаграмму.

Энтальпия	$h_5 = 2160$ кДж/кг
Температура	$t_2 = 26,7^\circ\text{C}$
Удельный объем	$v_2 = 30$ м ³ /кг
Степень сухости пара	$x_2 = 0,84$

5) Определить количество теплоты на 1 кг пара, подведённого к нему в пароперегревателе.

$$q_{51} = h_1 - h_5 = 696 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

6) Определить работу цикла Ренкина.

$$l_{\text{ц}} = h_1 - h_2 = 1252 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

7) Определить термический КПД цикла.

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - 4,1868 * t_2} = \frac{3412 - 2160}{3412 - 4,1868 * 26,7} = 0,379.$$

8) Определить удельный расход пара.

$$d = \frac{1000}{h_1 - h_2} = 0,799 \frac{\text{кг}}{\text{МДж}}$$

9) Учитывая, что процесс дросселирования пара происходит при постоянной энтальпии, то двум параметрам пара в точке 1': $h'_1 = h_1 = 3412$ кДж/кг и $p_2 = 3,5$ кПа, определить остальные параметры пара, используя h-s-диаграмму.

Температура	$t'_1 = 465^\circ\text{C}$
Удельный объем	$v'_1 = 0,7$ м ³ /кг
Энтропия	$S'_1 = 8$ кДж/(кг * К)

10) Учитывая, что процесс расширения изоэнтропийный, то двум параметрам пара в точке 2': $S'_2 = S'_1 = 8$ кДж/(кг*К) и $p'_1 = 0,48$ Мпа, определить остальные параметры пара, используя h-s-диаграмму.

Температура	$t'_2 = 26,7^\circ\text{C}$
Удельный объем	$v'_2 = 33$ м ³ /кг
Энтальпия	$h'_2 = 2420$ кДж/кг
Степень сухости	$x'_2 = 0,945$

пара

11) Определить работу цикла Ренкина, для случая, когда пар дросселируется перед расширением в турбине.

$$l'_c = h'_1 - h'_2 = 3412 - 2420 = 992 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

12) Определить термический КПД цикла для цикла с дросселированием пара.

$$\eta'_t = \frac{h'_1 - h'_2}{h'_1 - 4,1868 * t'_2} = \frac{3412 - 2420}{3412 - 4,1868 * 26,7} = 0,30$$

13) Определить удельный расход пара для рассматриваемого случая.

$$d' = \frac{1000}{h'_1 - h'_2} = 1,008 \frac{\text{кг}}{\text{МДж}}$$

14) Изобразить схему решения задачи на h-s-диаграмме.

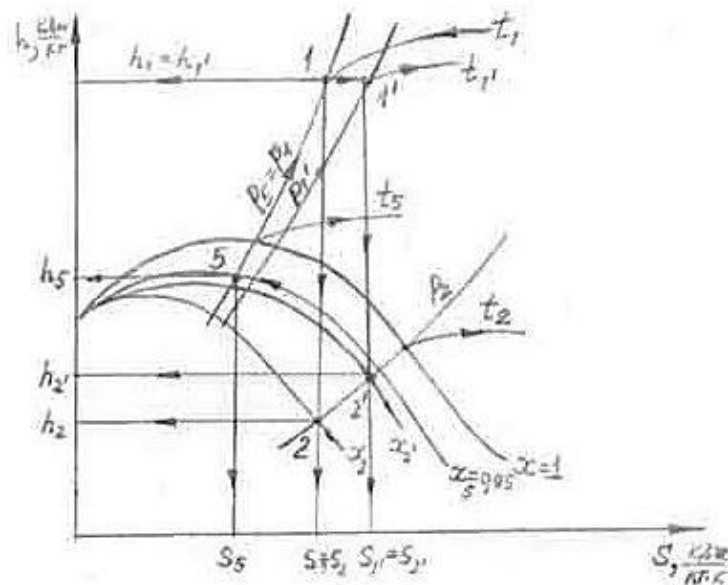


Рисунок 1 – Схема решения задачи 2

2. Определить: 1) Параметры точек идеального цикла ГТУ, термический КПД, мощность турбины и компрессора; 2) Параметры всех точек действительного цикла ГТУ, приняв внутренние КПД турбины и компрессора соответственно: $\eta_{0i}^T = 0,87$; $\eta_{0i}^K = 0,85$. Начальные параметры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ, работающего при $p = const$, составляют: $p_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Степень повышения давления в

компрессоре ГТУ — $\beta = 6$, температура газов перед соплами турбины — $t_3 = 700^\circ\text{C}$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха, теплоемкость рассчитывать по молекулярно-кинетической теории. Расход воздуха $G = 2 * 105 \text{ кг/ч}$.

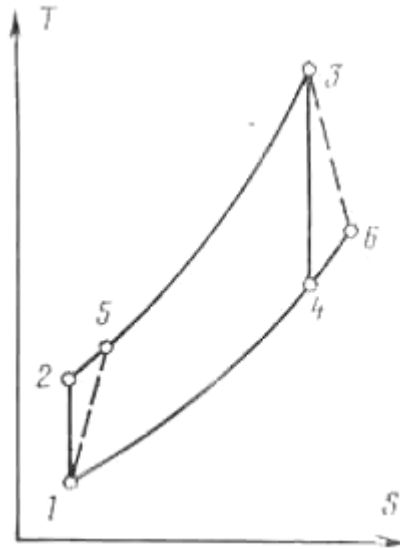


Рисунок 2

Решение.

1) Температура в точках обратимого цикла.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 * 6^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 489 \text{ К}, t_2 = 216^\circ\text{C};$$

$$T_4 = \frac{T_3 T_1}{T_2} = \frac{973 * 293}{489} = 583 \text{ К}, t_4 = 310^\circ\text{C}.$$

2) Термический КПД.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{6^{\frac{1,4-1}{1,4}}} = 0,401.$$

3) Теоретические мощности.

$$\begin{aligned} N_0^T &= D(h_3 - h_4) = DC_p(t_3 - t_4) = \\ &= \frac{8,314 * 7(700 - 310) * 2 * 10^5}{2 * 28,96 * 3600} = 21800 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_0^K &= D(h_2 - h_1) = DC_p(t_2 - t_1) = \\ &= \frac{8,314 * 7(216 - 20) * 2 * 10^5}{2 * 28,96 * 3600} = 10900 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$N_0^{\text{ГТУ}} = N_0^T - N_0^K = 21800 - 10900 = 10900 \text{ кВт}.$$

4) Температура в точках реального цикла рассчитывается следующим образом:

С помощью основной формулы для внутреннего относительного КПД компрессора

$$\eta_{0i}^k = \frac{h_2 - h_1}{h_5 - h_1} = \frac{t_2 - t_1}{t_5 - t_1}$$

Находится температура в конце сжатия:

$$t_5 = \frac{t_2 - t_1}{\eta_{0i}^k} + t_1 = \frac{216 - 20}{0,85} + 20 = 251^\circ\text{C}.$$

5) Температура в конце необратимого адиабатного расширения находится аналогично.

$$\eta_{0i}^r = \frac{h_3 - h_6}{h_3 - h_4} = \frac{t_3 - t_6}{t_3 - t_4}$$

Находится температура

$$t_6 = t_3 - \eta_{0i}^r(t_3 - t_4) = 700 - 0,87 * (700 - 310) = 361^\circ\text{C}.$$

6) Внутренний КПД ГТУ

$$\begin{aligned} \eta_{\text{в}}^{\text{ГТУ}} &= \frac{(h_3 - h_6) - (h_5 - h_1)}{h_3 - h_5} = \frac{(t_3 - t_6) - (t_5 - t_1)}{t_3 - t_5} = \\ &= \frac{(700 - 361) - (251 - 20)}{700 - 251} = 0,242. \end{aligned}$$

7) Действительная мощность турбины.

$$N_{\text{д}}^r = DC_p(t_3 - t_6) = \frac{8,314 * 7(700 - 316) * 2 * 10^5}{2 * 28,96 * 3600} = 18900 \text{ кВт}.$$

Или

$$N_{\text{д}}^r = N_0^r * \eta_{0i}^r = 21800 * 0,87 = 18900 \text{ кВт}.$$

8) Действительные мощности привода компрессора

$$\begin{aligned} N_{\text{д}}^k &= D(h_5 - h_1) = DC_p(t_5 - t_1) = \\ &= \frac{8,314 * 7(251 - 20) * 2 * 10^5}{2 * 28,96 * 3600} = 12900 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Или

$$N_{\text{д}}^k = N_0^k / \eta_{0i}^k = 10900 / 0,85 = 12900 \text{ кВт}.$$

9) Действительная мощность газотурбинной установки.

$p, \text{МПа}$	1 2,0	1 1,0	9 ,0	0 ,003	0 ,003	0 ,003	1 2,0	1 2,0
$t, ^\circ\text{C}$	5 50	5 40	5 31,2	2 4,1	2 4,1	2 41	2 4,4	2 4,7
$T, \text{К}$	8 23	8 13	8 04	2 97,3	2 97,3	2 97,3	2 97,6	2 97,8
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	3 478	3 463	3 463	2 005	2 224	1 01	1 13	1 14
$s, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	6 ,653	6 ,71	6 ,756	6 ,766	7 ,490	0 ,355	0 ,355	0 ,358
x	-	-	-	0 ,779	0 ,869	0	-	-

Пользуясь таблицей, составить энергетический баланс, относя все его составляющие к 1 кг рабочего тела. Вычисления вести в следующей последовательности:

1) Найти теплоту, подведенную в паровом котле.

$$q_1 = h_1'' - h_{\text{п.в.}} = h_1'' - h_{3\text{д}} = 3478 - 114 = 3364 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

2) Учитывая КПД парового котла, определить теплоту, первоначально внесенную в установку.

$$q_{\text{внес}} = \frac{BQ_{\text{н}}^p}{D} = \frac{Q_{\text{н}}^p}{I} = \frac{q_2}{\eta_{\text{п.к.}}} = \frac{3364}{0,92} = 3657 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Здесь $I = D/B$ – испарительная способность топлива, кг/кг; B – расход топлива, кг/ч; D – расход воды, кг/ч.

$$I = \frac{Q_{\text{н}}^p * \eta_{\text{п.к.}}}{q_1} = 8,2045 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

3) Потеря энергии при горении топлива.

$$q_{\text{пот}}^{\text{топ}} = q_{\text{внес}} - q_1 = \frac{Q_{\text{н}}^p(1 - \eta_{\text{п.к.}})}{I} = 293 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

4) Потеря теплоты трубопроводами на пути от парового котла до турбины.

$$q_{\text{тп}} = h_1'' - h_1 = 3478 - 3463 = 15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

5) Теплота, отданная охлаждающей воде в конденсаторе.

$$q_2 = h_{2\text{д}} - h_2' = 2224 - 101 = 2123 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

6) Внутренняя работа турбины.

$$l_T = q_1 - q_{\text{ТП}} - q_2 = 3364 - 15 - 2123 = 1226 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

7) Потери энергии на трение в подшипниках.

$$q_M = l_T(1 - \eta_M) = 1226 - (1 - 0,96) = 49 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

8) Работа на муфте электрогенератора (эффективная).

$$l_e = l_T - q_M = \eta_M l_T = 1177 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

9) Потеря энергии в электрогенераторе.

$$q_3 = l_e(1 - \eta_r) = 1177(1 - 0,97) = 35 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

10) Работа на клеммах электрогенератора.

$$l_3 = l_e - q_3 = 1142 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Баланс энергии.

$$q_{\text{внес}} = l_3 + q_{\text{ПОТ}}^{\text{ТОП}} + q_{\text{ТП}} + q_2 + q_M + q_3$$

Кпд установки (брутто) на клеммах электрогенератора.

$$\eta_{\text{уст}}^{\text{бр}} = \frac{Il_3}{Q_H^P} * 100 = \frac{8,2045 * 1142}{30000} * 100 = 31,2\%$$

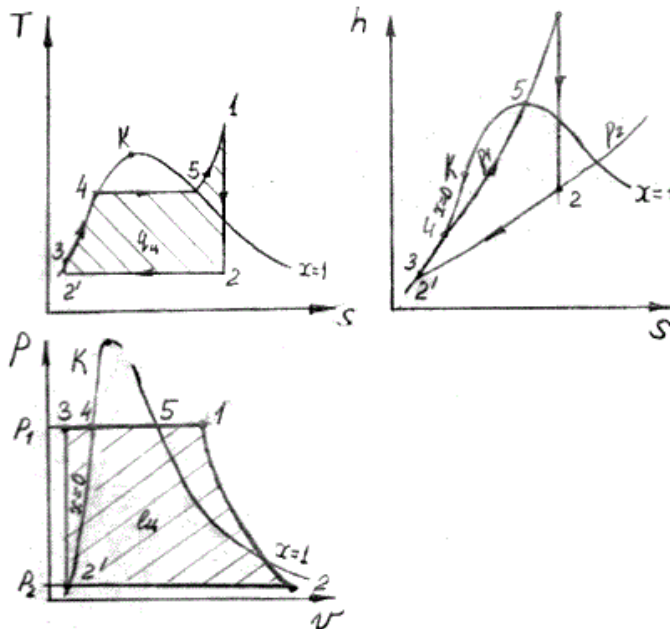


Рисунок 3 - Циклы ПТУ на h-s и T-s диаграммах:

1-2 – расширение пара в ступени высокого давления;

2-3 – расширение пара в ступени низкого давления;

- 3-4 – конденсация пара в теплообменнике;
- 5-6 – подогрев воды в смешивающем подогревателе;
- 6-7 – процесс парообразования пара в котле;
- 7-1 – перегрев пара в пароперегревателе.

4. Определить термический КПД регенеративного цикла Ренкина с перегретым паром. Параметры газа перед турбиной: давление $p_1 = 90$ бар и температура $t_1 = 650$ °C, после ступени турбины ВД – $p_{\text{рег}} = 5$ бар. Давление пара в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бар. Производительность турбины $G_T = 12$ кг/с. Найти параметры состояния пара, температуры, энтальпии, энтропии в характерных точках цикла. Рассчитать значение подведенной и отведенной теплоты и работы цикла. Значения параметров пара в характерных точках цикла свести в таблицу. Построить цикл в p - v , T - s и h - s диаграммах.

Указания. При решении задачи использовать h - S диаграмму водяного пара и таблицы «Сухой насыщенный пар и вода на кривой насыщения». Расширение пара в турбине считать адиабатным.

Решение.

- 1) Определить параметры перегретого пара перед турбиной по двум известным параметрам - p_1 и t_1 , используя h - s диаграмму. Результаты свести в таблицу.
- 2) Определить параметры пара в конденсаторе по двум известным параметрам p_2 и $s_2 = s_1$ (адиабатное расширение), используя h - s диаграмму.
- 3) Определить параметры перегретого пара после ступени ВД турбины по двум известным параметрам $p_{\text{рег}}$ и $S_{\text{рег}} = S_1$ (адиабатное расширение), используя h - s диаграмму.

$$h_{\text{рег}} = 2870 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad t_{\text{рег}} = 205^\circ\text{C}.$$

- 4) По таблице «Сухой насыщенный пар и вода на кривой насыщения (по t)» определить энтальпию конденсата для отбираемого пара на смешивающий подогреватель.

$$h_{\text{регВ}} = 875,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

- 5) По таблице «Сухой насыщенный пар и вода на кривой насыщения (по p)» определить параметры пара в точках 3 и 4 цикла. Результаты свести в таблицу.
- 6) По давлению пара перед паронагревателем (пересечение линий p_1 и $x_1 = 1$), используя h - s диаграмму находим температуру пара в точке 6 цикла.

$$t_6 = 310^\circ\text{C}.$$

- 7) По таблице «Сухой насыщенный пар и вода на кривой насыщения (по t)» определить параметры пара и воды в точках 5 и 6 цикла. Результаты свести в таблицу.
- 8) Составить уравнение теплового баланса для смешивающего водонагревателя и определить количество отбираемого пара.

$$\alpha * h_{\text{рег}} + (1 - \alpha) * h_3 = 1 * h_{\text{регВ}}.$$

Откуда

$$\alpha = \frac{h_{\text{регВ}} - h_3}{h_{\text{рег}} - h_3} = 0,274.$$

- 9) Определить удельную работу расширения для регенеративного цикла Ренкина.

$$l_{\text{T}} = (h_1 - h_2) - (h_{\text{рег}} - h_2)\alpha = 1417 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

- 10) Определить удельную работу насоса.

$$\begin{aligned} l_{\text{H}} &= (p_1 - p_2)v_3 = \\ &= (90 * 10^5 - 0,04 * 10^5) * 0,0010040 = \\ &= 9032 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 9,032 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

- 11) Вычислить энтальпию питательной воды.

$$h_4 = h_3 + l_H = 130,44 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

12) Определить количество теплоты, подводимой в цикле.

$$q_1 = h_1 + h_4 = 3619,56 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

13) Определить количество теплоты, отводимой в цикле.

$$q_2 = (h_2 - h_3) - (h_{\text{рег}} - h_{\text{регВ}})\alpha = 1462 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

14) Определяем удельную работу цикла.

$$l_{\text{ц}} = l_T - l_H = 1408 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

15) Определяем термический КПД цикла.

$$\eta_t = \frac{l_{\text{ц}}}{q_1} = 0,389.$$

16) Определить полную работу цикла (мощность ПТУ).

$$L = G * l_{\text{ц}} = 12 * 1408 = 16896 \text{ кВт.}$$

Таблица 2.

Параметры состояния пара (воды)	Характерная точка цикла					
	1	2	3	4	5	6
Давление p , бар	90	0, 04	0,04	90	90	90
Температура t , °C	65 0	29	28,9 81	28,9 81	310	310
Удельный объем v , м ³ /кг	0,0 40	28 ,5	0,00 1004	0,00 1004	0,0 0145	0,0 20
Энтальпия h , кДж/кг	37 50	21 30	121, 41	121, 41	140 6,9	274 0
Энтропия s , кДж/кг*К	7,0 8	7, 08	0,42 24	0,42 24	3,3 536	5,6 197
Степень сухости x	-	0, 825	0	0	0	1
Примечани е	По h-s	По h-s	По табл.	По табл	По табл	По табл

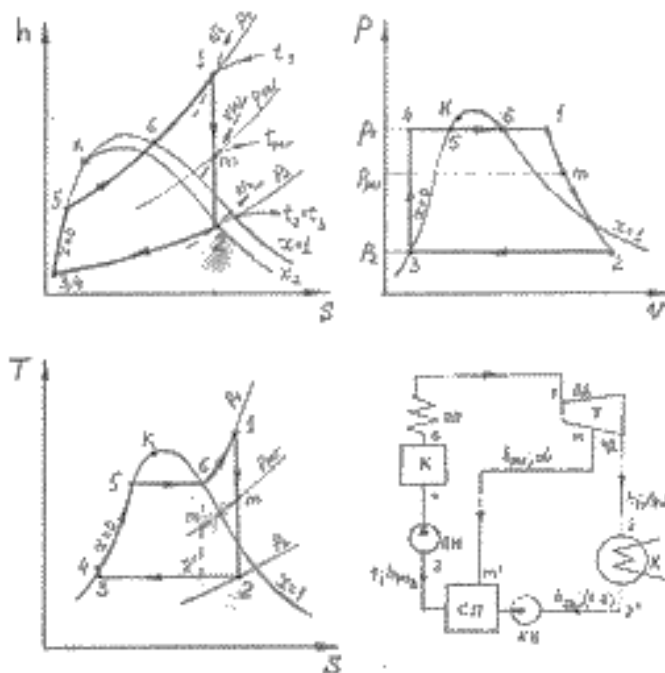


Рисунок 4 – Цикл в p-v, t-s, h-s диаграммах, принципиальная схема ПТУ

T – турбина, ВД – ступень высокого давления, НД – ступень низкого давления, K_T – котлоагрегат, СП – смешивающий подогреватель, К – конденсатор, ПН – питательный насос, КН – конденсаторный насос, Г – генератор, ПП – пароперегреватель, ТО – теплообменник.

5. Определить мощность турбины ПТУ ТЭЦ, если известно что на производственные нужды отбирается $D_1 = 10$ кг/с пара при давлении $p_2 = 1$ МПа, остальная часть пара в количестве $D_2 = 25$ кг/с расширяется в ступенях низкого давления до $p_3 = 0,25$ МПа. Начальные параметры пара поступающего в ступени высокого давления, имеют следующие значения: давление $p_1 = 9$ МПа и температура $t_1 = 535$ °C. Процесс расширения пара в турбине считать изоэнтروпийным. Изобразить цикл в h-S и T-S диаграммах, представить принципиальную схему ПТУ.

Решение.

- 1) Определить энтальпию и энтропию перегретого пара перед турбиной по двум параметрам ($p_1 = 9$ МПа и $t_1 = 535$ °C), используя h-s диаграмму.

$$h_1 = 3135 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad s_1 = 6,77 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} * \text{К})}.$$

- 2) Считая процесс расширения пара в турбине изоэнтропийным, найти на h-s диаграмме точку 2 и определить энтальпию пара на выходе из ступени высокого давления (отбираемый пар).

$$h_2 = 2872 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad t_2 = 220^\circ\text{C}.$$

- 3) Определить энтальпию пара на выходе из ступени низкого давления по двум параметрам ($p_3 = 0,25$ Мпа и $s_3 = 6,77$ кДж/(кг * К)), используя h-s диаграмму.

$$h_3 = 2610 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad t_3 = 130^\circ\text{C}.$$

- 4) Определить выработку электроэнергии ПТУ с промежуточным отбором пара на теплофикацию (мощность турбины).

$$N_{\text{ПТУ}} = (D_1 + D_2) * (h_1 - h_2) + D_2 * (h_2 - h_3) * \\ * \eta_{\text{Г}} * \eta_{\text{мех}} = 22890 \text{ кВт}.$$

Принято

$$\eta_{\text{Г}} = 0,85 - \text{КПД генератора};$$

$$\eta_{\text{мех}} = 0,98 - \text{механический КПД ПТУ}.$$

- 5) Используя таблицы «Водяной пар на линии насыщения по давлениям», определить энтальпию конденсата пара при $p_3 = 0,25$ Мпа.

$$h_{\text{к}} = 543 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

- 6) Вычислить количество теплоты, используемое на теплофикацию.

$$Q_{\text{ТУ}} = D_2 * (h_3 - h_{\text{к}}) = 51675 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$$

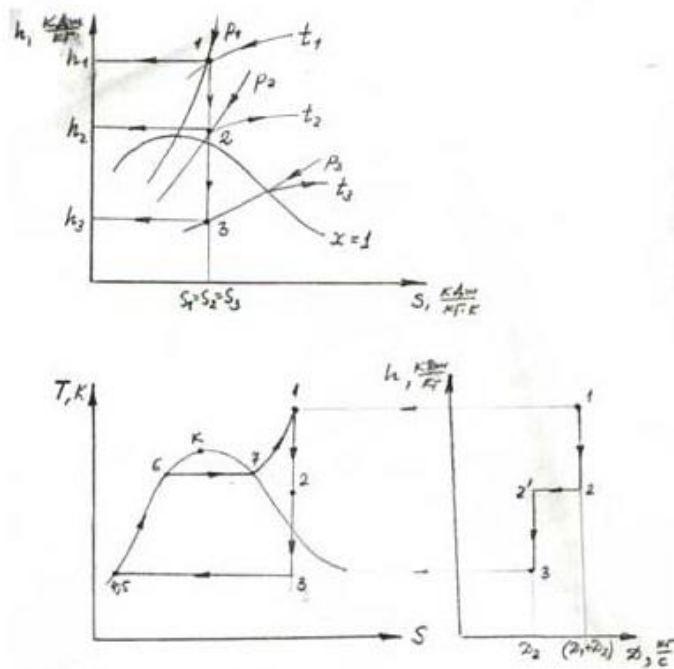


Рисунок 5 – Циклы ПТУ на h-s и t-s диаграммах

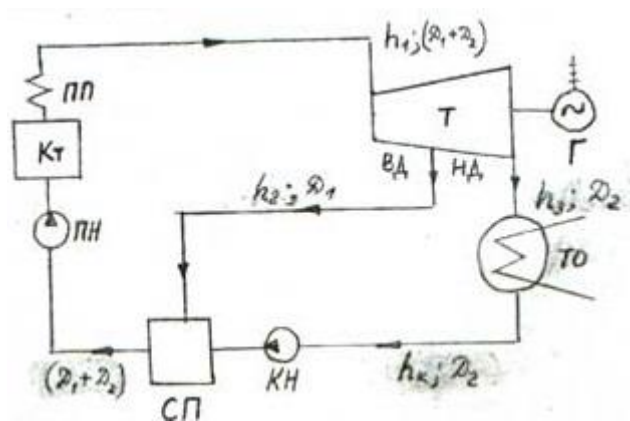


Рисунок 6 – Принципиальная схема ПТУ:

Т – турбина, ВД – ступень высокого давления, НД – ступень низкого давления, К_Т – котлоагрегат, СП – смешивающий подогреватель, К – конденсатор, ПН – питательный насос, КН – конденсаторный насос, Г – генератор, ПП – пароперегреватель, ТО – теплообменник.

6. С целью регулирования мощности турбин применяется дросселирование пара, не приводящее к потере работоспособности. Постройте график зависимости удельной полезной работы турбины от давления p_1 , перед соплом турбины, приняв последовательно $p_1 = 2,0; 1,8; 1,6; 1,4; 1,2$; и $1,0$

МПа. Начальные параметры пара: $p_0 = 2,5$ МПа; $t_0 = 340$ °С. Пар изоэнтропно расширяется до давления $p_2 = 0,005$ МПа.

Решение.

- 1) По двум начальным параметрам пара ($p_0 = 2,5$ МПа; $t_0 = 340$ °С) при помощи h-s диаграммы водяного пара, определить энтальпию в точки А.

$$\text{Энтальпия} \quad h_0 = 3105 \text{ кДж/кг.}$$

- 2) Учитывая, что процесс дросселирования пара происходит при постоянной энтальпии, то находим на h-s диаграмме точки В, С, D, Е, F, G на пересечении линии $h_0 = h_1$ и линий $p_1 = 2,0; 1,8; 1,6; 1,4; 1,2;$ и $1,0$ Мпа.
- 3) Учитывая, что процесс расширения пара в турбине изоэнтропийный, находим на h-s диаграмме точки b, c, d, e, f, g на пересечении изоэнтроп и линии $p_2 = 0,005$ Мпа.
- 4) Определить значения энтальпии пара после его расширения при различном дросселировании пара (результаты привести в таблице).
- 5) Вычислить значение удельной полезной работы турбины при различном дросселировании пара (результаты привести в таблице).

$$l_{Ti} = h_{1i} - h_{2i}.$$

Таблица 3.

Точка	В (b)	С(c)	D(d)	E(e)	F(f)	G(g)
$p_1,$ Мпа.	2, 0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0
$h_1,$ кДж/кг.	3100					
$p_2,$ Мпа.	0,005					
$h_2,$	2	21	214	21	21	220

кДж/кг.	100	20	0	60	80	5
$l_T,$ кДж/кг	1 000	98 0	960	94 0	92 0	895

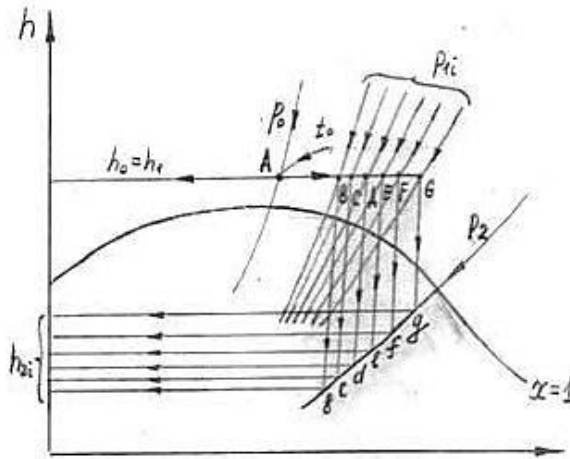


Рисунок 7

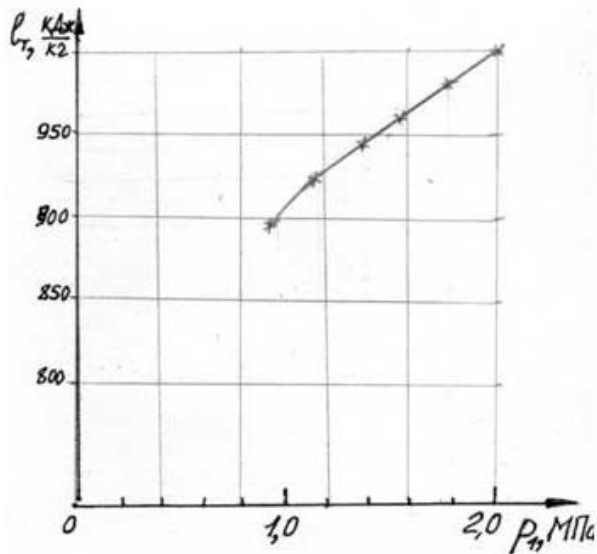


Рисунок 8 –График зависимости $l_T = f(p_1)$.

7. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальными параметрами $p_1 = 10$ МПа и температурой $t_1 = 400^\circ\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2 = 5$ кПа. Определить термический КПД цикла Ренкина, степень сухости пара x_2 в конце расширения, удельные расходы пара и теплоты.

Сравнить КПД цикла Ренкина с КПД цикла Карно. Изобразить цикл в p-v; T-s и h-s – диаграммах.

Решение.

- 1) По двум известным начальным параметрам пара ($p_1 = 10$ МПа и $t_1 = 400^\circ\text{C}$), с помощью h-s диаграммы определить остальные параметры пара в точке 1.

$$\text{Энтальпия} \quad h_1 = 3100 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Энтропия} \quad s_1 = 6,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} * \text{К}$$

- 2) Учитывая, что процесс расширения пара в турбине изоэнтروпийный, по двум параметрам в точке 2: $s_1 = s_2 = 6,22 \text{ кДж/(кг*К)}$ и $p_2 = 5$ кПа, определить остальные параметры пара, используя h-s диаграмму.

$$\text{Энтальпия} \quad h_2 = 1900 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Температура} \quad t_2 = 32,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Степень сухости} \quad x_2 = 0,725$$

пара

- 3) Определить удельную энтальпию и удельный объем воды на линии насыщения по таблицам.

$$h_{в2} = 137,77 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad v_{в2} = 0,0010052 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

- 4) Определить работу насоса.

$$l_n = v_{в2}(p_1 - p_2) = 10,046 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

- 5) Определить работу расширения в турбине.

$$l_t = h_1 - h_2 = 120 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

- 6) Определяем удельную энтальпию питательной воды.

$$h_3 = h_{в2} + l_n = 147,817 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

- 7) Определим удельную теплоту, подводимую к рабочему телу в цикле Ренкина.

$$q = h_1 - h_3 = 2952 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

8) Определить термический КПД цикла Ренкина.

$$\eta_t = \frac{l_T - l_H}{q} = 0,403$$

9) Определить удельный расход пара.

$$d = \frac{1000}{h_1 - h_2} = 0,833 \frac{\text{кг}}{\text{МДж}}$$

10) Определить предельные температуры цикла.

$$T_1 = t_1 + 273 = 673 \text{ К}, \quad T_2 = t_2 + 273 = 306 \text{ К}.$$

11) Определить термический КПД цикла Карно.

$$\eta_{t\text{КАРНО}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 0,545.$$

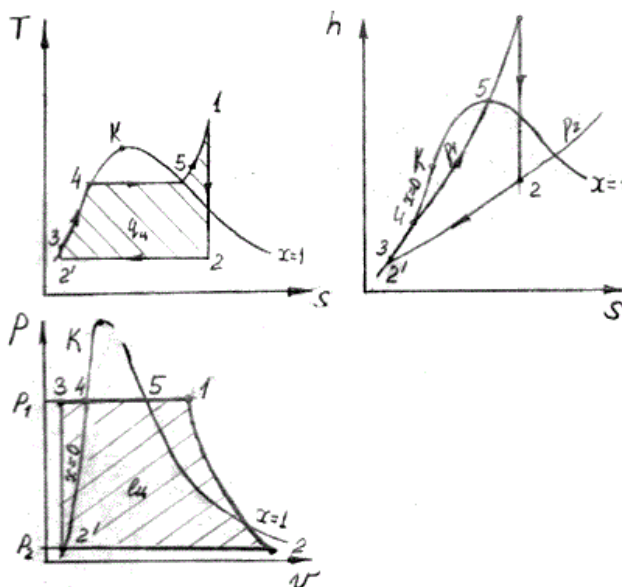


Рисунок 9 – Цикл Ренкина p-v, T-s и h-s диаграммах.

Практикум 2. Газотурбинные установки

8. Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ, для двух случаев:

1) при температуре газов перед турбиной $t_3 = 600^\circ\text{C}$

2) при температуре газов перед турбиной $t_3 = 800^\circ\text{C}$

остальные параметры принять следующие: начальная температура рабочего тела $t_1 = 20^\circ\text{C}$ степень повышения давления $\beta = 7$ внутренний КПД компрессора и турбины $\eta_T = \eta_K = 0,85$. Принять показатель адиабаты равным $k = 1,4$. Теплоемкость считать постоянной.

Решение.

1) Определить абсолютную температуру рабочего тела в точке 1.

$$T_1 = t_1 + 273 = 293 \text{ K.}$$

2) Определить абсолютную температуру рабочего тела в точке 2.

$$T_2 = T_1 * \beta^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} = 511 \text{ K.}$$

3) Определить абсолютную температуру рабочего тела в точке 3.

Вариант 1. $T_3 = t_3 + 273 = 873 \text{ K.}$

Вариант 2. $T'_3 = t_3 + 273 = 1073 \text{ K.}$

4) Определить абсолютную температуру рабочего тела в точке 4.

Вариант 1. $T_4 = T_3 / \beta^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} = 500 \text{ K.}$

Вариант 2. $T'_4 = T_3 / \beta^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} = 615 \text{ K.}$

5) Определить внутренний КПД цикла ГТУ.

Вариант 1.
$$\eta_1^{\text{ГТУ}} = \frac{l_T * \eta_T + l_K / \eta_K}{C_p * (T_3 - T_2)} = \frac{C_p * (T_3 - T_4) \eta_T + C_p * (T_2 - T_1) / \eta_K}{C_p * (T_3 - T_2)} =$$

$$= \frac{(T_3 - T_4) \eta_T + (T_2 - T_1) / \eta_K}{(T_3 - T_2)} = 0,168.$$

Вариант 2.
$$\eta_2^{\text{ГТУ}} = \frac{(T'_3 - T'_4) \eta_T + (T_2 - T_1) / \eta_K}{(T'_3 - T_2)} = 0,236.$$

С увеличением температуры перед турбиной существенно увеличивается внутренний КПД ГТУ.

Определить: 1) Параметры точек идеального цикла ГТУ, термический кпд, мощность турбины и компрессора; 2) Параметры всех точек действительного цикла ГТУ, приняв внутренние кпд турбины и компрессора соответственно : $\eta_{\text{ит}} = 0,87$; $\eta_{\text{ик}} = 0,85$. Начальные параметры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ, работающего при $p = \text{const}$, составляют: $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$; $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Степень повышения давления в компрессоре ГТУ — $\beta = 6$,

температура газов перед соплами турбины — $t_3=700^\circ\text{C}$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха, теплоемкость рассчитывать по молекулярно-кинетической теории. Расход воздуха $G=2\cdot 10^5$ кг/ч.

Температуры в точках обратимого цикла

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot 6^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 489 \text{ K}; \quad t_2 = 216^\circ\text{C};$$

$$T_4 = \frac{T_3 T_1}{T_2} = \frac{973 \cdot 293}{489} = 583 \text{ K}; \quad t_4 = 310^\circ\text{C}.$$

Термический к. п. д.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{6^{\frac{1,4-1}{1,4}}} = 0,401.$$

Теоретические мощности:

$$N_0^{\tau} = D(h_2 - h_4) = Dc_p(t_2 - t_4) = \frac{8,314 \cdot 7 (700 - 310) \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 28,96 \cdot 3600} = 21\,800 \text{ кВт};$$

$$N_0^{\kappa} = D(h_2 - h_1) = Dc_p(t_2 - t_1) = \frac{8,314 \cdot 7 (216 - 20) \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 28,96 \cdot 3600} = 10\,900 \text{ кВт};$$

$$N_0^{\text{ГТУ}} = N_0^{\tau} - N_0^{\kappa} = 21\,800 - 10\,900 = 10\,900 \text{ кВт}.$$

Температуры в точках реального цикла рассчитываются следующим образом. С помощью основной формулы для внутреннего относительного к. п. д. компрессора

$$\eta_{oi}^{\kappa} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1} = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

находится температура в конце сжатия t_3 :

$$t_3 = \frac{t_2 - t_1}{\eta_{oi}^{\kappa}} + t_1 = \frac{216 - 20}{0,85} + 20 = 251 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура в конце необратимого адиабатного расширения находится аналогично. Записывается формула для внутреннего относительного к. п. д. турбины:

$$\eta_{oi}^{\tau} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_1} = \frac{t_3 - t_4}{t_3 - t_1}$$

Отсюда

$$t_4 = t_3 - \eta_{oi}^{\tau}(t_3 - t_1) = 700 - 0,87(700 - 310) = 361 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Внутренний к. п. д. ГТУ

$$\eta_i^{\text{ГТУ}} = \frac{(h_2 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_2 - h_4} = \frac{(t_2 - t_4) - (t_2 - t_1)}{t_2 - t_4} = \frac{(700 - 361) - (251 - 20)}{700 - 251} = 0,242.$$

Действительная мощность турбины

$$N_{\text{д}}^{\tau} = Dc_p(t_3 - t_4) = \frac{8,314 \cdot 7 (700 - 361) \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 28,96 \cdot 3600} = 18\,900 \text{ кВт},$$

или

$$N_{\text{д}}^{\tau} = N_0^{\tau} \eta_{oi}^{\tau} = 21\,800 \cdot 0,87 = 18\,900 \text{ кВт}.$$

Действительная мощность привода компрессора

$$N_{\text{д}}^{\kappa} = D(h_3 - h_1) = Dc_p(t_3 - t_1) = \frac{8,314 \cdot 7 (251 - 20) \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 28,96 \cdot 3600} = 12\,900 \text{ кВт},$$

или

$$N_{\text{д}}^{\kappa} = N_0^{\kappa} / \eta_{oi}^{\kappa} = 10\,900 / 0,85 = 12\,900 \text{ кВт}.$$

Действительная мощность газотурбинной установки

$$N_{\text{д}}^{\text{ГТУ}} = N_{\text{д}}^{\tau} - N_{\text{д}}^{\kappa} = 18\,900 - 12\,900 = 6\,000 \text{ кВт}.$$

Практикум 3. Гидроэлектростанции

Рассчитать КПД гидроэлектростанции, если расход воды (ежесекундное изменение объема) равен 6 м³/с, напор воды (разность уровней воды по обе стороны плотины) 20 м, а мощность станции 1200 л. с. (1 л. с. = 736 Вт).

№ 402(и).

<p>Дано: $q = 6 \text{ м}^3/\text{с}$ $h = 20 \text{ м}$ $N = 1200 \text{ л. с.}$ $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ $\eta = ?$</p>	<p>Решение: КПД электростанции: $\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\%$. Здесь $A_n = N\Delta t$ — полезная работа, Δt — промежуток времени. Затраченная работа $A_z = mgh$, где m — масса воды, которая проходит через плотину за время Δt.</p>
---	---

Тогда
$$\eta = \frac{N\Delta t}{mgh} \cdot 100\%$$

Так как $m = \rho V$, а объем воды $V = q\Delta t$, то
$$\eta = \frac{N}{\rho qgh} \cdot 100\%$$

Выражая мощность в ваттах:
 $N = 1200 \text{ л. с.} = 1200 \cdot 736 = 883\,200 \text{ Вт}$, получим
$$\eta = \frac{883\,200 \text{ Вт}}{6 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м}} \cdot 100\% = 75\%$$

Ответ: $\eta = 75\%$.

Задача: Определить максимальную дневную выработку электроэнергии и среднюю дневную мощность гипотетической электростанции, построенной на реке Волга в районе пос. Печерское, если известно дневное изменение расхода воды, высота реки над уровнем моря – 23 м, ближайшая плотина вверх по течению находится на высоте 28 м. КПД ГЭС составляет 80%. Для волжской ГЭС -

Расчётный <u>напор</u> , м 22,5
Электрическая мощность, <u>МВт</u> 2383

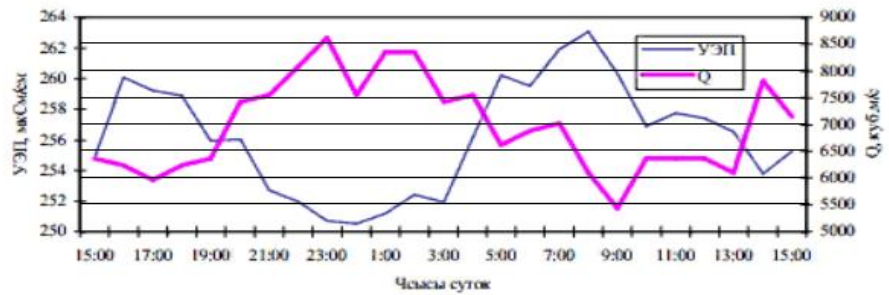


Рис. 5. УЭП в среднем сечении потока и расход воды в створе пос. Печерское 11-12, 10.2001

Практикум 4. Парогазовые установки

1 В ПГУ с котлом-утилизатором при сжигании топлива в камере сгорания выделяется 300 МДж/с теплоты. С уходящими газами теряется 50 МДж/с теплоты, а в конденсаторе паротурбинной установки отдается 85 МДж/с теплоты. Определить мощности и КПД ГТУ, ПТУ и ПГУ, если КПД котла - утилизатора равен 0,73.

2 В ПГУ с котлом-утилизатором параметры воздуха на входе в компрессор ГТУ $p_1 = 100 \text{ кПа}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$; давление воздуха за компрессором 800 кПа, температура газа перед газовой турбиной 900°C , расход газа $D_T = 200 \text{ кг/с}$. Начальные параметры пара $t_6 = 450^\circ\text{C}$, $p_6 = 5,0 \text{ МПа}$; давление пара в конденсаторе 4,0 кПа. Внутренние относительные КПД компрессора, газовой турбины, паровой турбины и насоса равны, соответственно, 0,84, 0,82, 0,85 и 0,71. Минимальная разность температур между газом и кипящей водой $\Delta t_2 = 10^\circ\text{C}$. Определить расход пара, мощности и КПД газотурбинной, паротурбинной и парогазовой установок.

Варианты для контрольной работы:

Вариант 1

1. Паротурбинная установка работает на параметрах пара 550 °С, давление 10 МПа. Давление в конденсаторе 40 кПа. Паропроизводительность парогенератора составляет 40000 кг/ч. Найти электрическую мощность установки, зная что внутренний КПД турбины равен 0,9. КПД электрогенератора 0,95.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	300	9	300	0,98	0,95	15

3. Определить мощность Асуанской ГЭС, если известно, что средний расход воды 330 м³/с, расчетный напор 80 м, кпд ГЭС 80%.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-100 мощностью 100 кВт. Стоимость установки 2650 тыс. руб. Расход газа 35 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 2

1. Пар на выходе из парогенератора имеет параметры: температура 550 °С, давление 10 МПа. Найти влажность пара на выходе из турбины, если известно, что давление в конденсаторе 40 кПа, внутренний кпд турбины 0,9.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	300	10	450	0,96	0,94	12

3. Определить напор воды на Бурейской ГЭС, если известно, что мощность ГЭС равна 2010 МВт, Расход воды 2160 м³/с, кпд электростанции 0,85.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-230 мощностью 230 кВт. Расход газа 64 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч. Стоимость установки 3750 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Цена установки 3750 тыс. руб. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 3

1. Известно, что на входе в конденсатор пар имеет давление 40 кПа и влажность 15%. Определить температуру пара на входе в турбину, если известно, что его давление равно 10 МПа, относительный внутренний КПД турбины 0,85.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G , кг/с
	101	300	10	400	0,96	0,94	13,5

3. Определить расход воды через Красноярскую ГЭС, если известно, что расчетный напор воды равен 93 м, КПД электростанции 0,85 и мощность 6000 МВт.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-250 мощностью 250 кВт. Расход газа 75 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч. Стоимость установки равна 4500 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 4

1. Найти паропроизводительность парогенераторов, если известно, что пар выходит с параметрами: температура 550 °С, давление 11 МПа. Мощность на валу паротурбинной установки 13 МВт, внутренний КПД турбины 0,9, давление на входе в конденсатор – 30 кПа.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G , кг/с
	101	280	6	800	0,92	0,98	12

3. Определить мощность ГЭС Три ущелья, если известно, что средний расход воды 30000 м³/с, расчетный напор 80,6 м, КПД ГЭС 80%.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-100 мощностью 100 кВт электроэнергии и 100 кВт тепла. Расход газа 35 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч., на тепло 750 руб./Гкал. Стоимость установки равна 3140 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 5

1. Паротурбинная установка работает на параметрах пара 500 °С, давление 9 МПа. Давление в конденсаторе 30 кПа. Паропроизводительность парогенератора составляет 60000 кг/ч. Найти электрическую мощность установки, зная, что внутренний КПД турбины равен 0,85. КПД электрогенератора 0,95.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	270	16,8	159	0,90	0,99	19,4 56

3. Определить напор воды на Волжской ГЭС, если известно, что мощность ГЭС равна 2629 МВт, Расход воды 9035 м³/с, кпд электростанции 0,85.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-230 мощностью 230 кВт электроэнергии и 350 кВт тепла. Расход газа 67 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч., на тепло 750 руб./Гкал. Стоимость установки равна 4200 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 6

1. Пар на выходе из парогенератора имеет параметры: температура 500 °С, давление 9 МПа. Найти влажность пара на выходе из турбины, если известно, что давление в конденсаторе 30 кПа, внутренний кпд турбины 0,8.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	310	8	400	0,95	0,98	22,6 9

3. Определить расход воды через Нижнекамскую ГЭС, если известно, что расчетный напор воды равен 12,4 м, кпд электростанции 0,8 и мощность 1205 МВт.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-250 мощностью 250 кВт электроэнергии и 250 кВт тепла. Расход газа 80 м³/ч. Цену газа принять равной 6 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 3,44 руб/кВтч., на тепло 750 руб./Гкал. Стоимость установки равна 4500 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 10%.

Вариант 7

1. Известно, что на входе в конденсатор пар имеет давление 30 кПа и влажность 10%. Определить температуру пара на входе в турбину, если известно, что его давление равно 9 МПа, относительный внутренний кпд турбины 0,8.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G , кг/с
	101	273	13,4 5	695	0,98	0,85	10

3. Определить мощность Саяно-Шушенской ГЭС, если известно, что средний расход воды 3580 м³/с, расчетный напор 286 м, кпд ГЭС 80%.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-100 мощностью 100 кВт. Стоимость установки 2650 тыс. руб. Расход газа 35 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,2 руб/кВтч. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 13%.

Вариант 8

1. Найти паропроизводительность парогенераторов, если известно, что пар выходит с параметрами: температура 500 °С, давление 9 МПа. Мощность на валу паротурбинной установки 15 МВт, внутренний кпд турбины 0,85, давление на входе в конденсатор – 40 кПа.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , °С	t_0 , °С	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G , кг/с
	101	27	10	295	0,95	0,9	16,9

3. Определить напор воды на Воткинской ГЭС, если известно, что мощность ГЭС равна 1020 МВт, Расход воды 1400 м³/с, кпд электростанции 0,8.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-230 мощностью 230 кВт. Расход газа 64 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,2 руб/кВтч. Стоимость установки 3750 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Цена установки 3750 тыс. руб. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 12%.

Вариант 9

1. Паротурбинная установка работает на параметрах пара 600 °С, давление 12 МПа. Давление в конденсаторе 40 кПа. Паропроизводительность парогенератора составляет 20000 кг/ч. Найти электрическую мощность установки, зная, что внутренний КПД турбины равен 0,8. КПД электрогенератора 0,95.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_r	G, кг/с
	101	310	7	496	0,95	0,85	12

3. Определить расход воды через Саратовскую ГЭС, если известно, что расчетный напор воды равен 9,7 м, КПД электростанции 0,85 и мощность 1391 МВт.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-250 мощностью 250 кВт. Расход газа 75 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,2 руб/кВтч. Стоимость установки равна 4500 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 12%.

Вариант 10

1. Пар на выходе из парогенератора имеет параметры: температура 600 °С, давление 12 МПа. Найти влажность пара на выходе из турбины, если известно, что давление в конденсаторе 60 кПа, внутренний КПД турбины 0,95.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , ккал/кг	η_k	η_r	G, кг/с
	101	300	12	300	0,95	0,90	10

3. Определить мощность Богучанской ГЭС, если известно, что средний расход воды 5200 м³/с, расчетный напор 65,5 м, КПД ГЭС 80%.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-100 мощностью 100 кВт электроэнергии и 100 кВт тепла. Расход газа 35 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,24 руб/кВтч., на тепло 850 руб./Гкал. Стоимость установки равна 3140 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 12%.

Вариант 11

1. Известно, что на входе в конденсатор пар имеет давление 50 кПа и влажность 12%. Определить температуру пара на входе в турбину, если известно, что его давление равно 11 МПа, относительный внутренний кпд турбины 0,9.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	300	15,6 4	469	0,95	0,9	20

3. Определить напор воды на Жигулевской ГЭС, если известно, что мощность ГЭС равна 2383 МВт, Расход воды 14000 м³/с, кпд электростанции 0,75.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-230 мощностью 230 кВт электроэнергии и 350 кВт тепла. Расход газа 67 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,2 руб/кВтч., на тепло 850 руб./Гкал. Стоимость установки равна 4200 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 12%.

Вариант 12

1. Найти паропроизводительность парогенераторов, если известно, что пар выходит с параметрами: температура 600 °С, давление 2 МПа. Мощность на валу паротурбинной установки 6 МВт, внутренний кпд турбины 0,8, давление на входе в конденсатор – 50 кПа.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G, кг/с
	101	300	4,5	1200	0,93	0,88	14,5

3. Определить расход воды через Усть-Илимскую ГЭС, если известно, что расчетный напор воды равен 90,7 м, кпд электростанции 0,5 и мощность 3840 МВт.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети и центральному теплоснабжению на автономную когенерационную электростанцию АПК-250 мощностью 250 кВт электроэнергии и 250 кВт тепла. Расход газа 80 м³/ч. Цену газа принять равной 8 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,2 руб/кВтч., на тепло 850 руб./Гкал. Стоимость установки равна 4500 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 12%.

Вариант 13

1. Паротурбинная установка работает на параметрах пара 300 °С, давление 1 МПа. Давление в конденсаторе 40 кПа. Паропроизводительность парогенератора составляет 80000 кг/ч. Найти электрическую мощность установки, зная, что внутренний КПД турбины равен 0,9. КПД электрогенератора 0,95.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_r	G, кг/с
	101	300	10	468	0,95	0,9	8,9

3. Определить мощность Братской ГЭС, если известно, что средний расход воды 4500 м³/с, расчетный напор 106 м, кпд ГЭС 80%.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-100 мощностью 100 кВт. Стоимость установки 2650 тыс. руб. Расход газа 35 м³/ч. Цену газа принять равной 9 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,7 руб/кВтч. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 15%.

Вариант 14

1. Пар на выходе из парогенератора имеет параметры: температура 400 °С, давление 7 МПа. Найти влажность пара на выходе из турбины, если известно, что давление в конденсаторе 30 кПа, внутренний кпд турбины 0,9.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_r	G, кг/с
	101	300	16	695, 4	0,95	0,9	12,8 5

3. Определить напор воды на Зейской ГЭС, если известно, что мощность ГЭС равна 1330 МВт, Расход воды 1800 м³/с, кпд электростанции 0,85.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-230 мощностью 230 кВт. Расход газа 64 м³/ч. Цену газа принять равной 9 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,7 руб/кВтч. Стоимость установки 3750 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Цена установки 3750 тыс. руб. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 15%.

Вариант 15

1. Известно, что на входе в конденсатор пар имеет давление 40 кПа и влажность 20%. Определить температуру пара на входе в турбину, если известно, что его давление равно 8 МПа, относительный внутренний КПД турбины 0,8.

2. Найти мощность газотурбинной установки, зная параметры цикла:

кПа	p_0 , К	T_0 , К	π_k	q_1 , кДж/кг	η_k	η_T	G , кг/с
	101	290	13	784, 6	0,9	0,85	10,5

3. Определить расход воды через Чебоксарскую ГЭС, если известно, что расчетный напор воды равен 18,9 м, КПД электростанции 0,85 и мощность 1370 МВт.

4. Определить срок окупаемости и чистое современное значение NPV мероприятия по замене подключения к центральной электросети на автономную газовую электростанцию АП-250 мощностью 250 кВт. Расход газа 75 м³/ч. Цену газа принять равной 9 руб./куб. м. Цену на электричество принять равной 4,7 руб/кВтч. Стоимость установки равна 4500 тыс. руб. Считать, что установка используется постоянно на номинальную мощность. Срок инвестиционного проекта – 5 лет, ставка дисконтирования – 15%.