

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 28.01.2022 17:06:01
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781951be730df2574d16f3c0ce538d11c8

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра теплогазоводоснабжения



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

«Юго-Западный
государственный
университет»
(ЮЗГУ)

О.Г. Локтионова

08

2015 г.

Проблемы жилищно-коммунального комплекса в условиях рыночных отношений

Методические указания и задания к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов направления подготовки 08.04.01 – Строительство

Курск 2015

УДК 621.1.016(075.8)

Составители: Н.С. Кобелев, В.А. Жмакин, Е.М. Кувардина,
А.Д. Соловьев.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Н.Е. Семичева*

Проблемы жилищно-коммунального комплекса в условиях рыночных отношений: методические указания и задания к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: Н.С. Кобелев, В.А. Жмакин, Е.М. Кувардина, А.Д. Соловьев. - Курск, 2015. - 26 с.: ил. 16 , табл. 2. - Библиогр.: с. 26.

Излагаются методические указания и задания к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов по дисциплинам «Проблемы жилищно-коммунального комплекса в условиях рыночных отношений».

Предназначены для студентов направлений подготовки 08.04.01 – Строительство очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 28.08.15 . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л.1,51.Уч. изд.л. 1,37. Тираж 30 экз. Заказ 638. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

При выборе исходных данных к заданиям контрольной работы используются величины: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 и Z_5 .

Z_1 – число букв в фамилии студента;

Z_2 – предпоследняя цифра номера зачетной книжки;

Z_3 – последняя цифра номера зачетной книжки;

Z_4 – порядковый номер группы студента (1,2,3,4);

Z_5 – порядковый номер студента в журнале группы.

При выполнении примера расчета всех заданий контрольной работы были приняты: $Z_1=12; Z_2=6; Z_3=5; Z_4=4; Z_5=28$.

Задание 1

1. Исходные данные.

Смесь газов имеет следующий объёмный состав:

$$r_{N_2} = 100 - Z_4 \cdot Z_1 - Z_5 = 100 - 4 \cdot 12 - 28 = 24\%;$$

$$r_{CO_2} = Z_4 \cdot Z_1 = 4 \cdot 12 = 48\%; \quad r_{H_2O} = Z_5 = 28\%.$$

Требуется определить: кажущуюся молекулярную массу смеси газов; газовую постоянную смеси газов; плотность и удельный объем смеси при нормальных физических условиях ($p=101325$ Па, $t=0$ °C); мольную теплоёмкость смеси при постоянном давлении и постоянном объеме, если мольные теплоёмкости газов при постоянном давлении равны: для двухатомных газов $\mu_{c_p}=29,1$ кДж/(кмоль·К); для трехатомных газов $\mu_{c_p}=37,4$ кДж/(кмоль·К). Определить также показатель адиабаты k для смеси газов.

1.1. Порядок выполнения расчета.

1.1.1. Определяем кажущуюся молекулярную массу смеси газов по формуле:

$$\mu_{см} = r_{N_2} \cdot \mu_{N_2} + r_{CO_2} \cdot \mu_{CO_2} + r_{H_2O} \cdot \mu_{H_2O} = 0,24 \cdot 28 + 0,48 \cdot 44 + 0,28 \cdot 18 = 32,88 \text{ кг / кмоль},$$

где r_{N_2}, r_{CO_2} и r_{H_2O} – объёмные доли компонентов смеси в долях единицы; μ_{N_2}, μ_{CO_2} и μ_{H_2O} – молекулярные массы компонентов

смеси, кг/кмоль.

1.1.2. Вычисляем газовую постоянную смеси газов:

$$R_{см} = 8314 / \mu_{см} = 8314 / 32,88 = 252,9, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

1.1.3. Находим плотность и удельный объём смеси при нормальных физических условиях:

$$\rho_{см} = \mu_{см} / 22,4 = 32,88 / 22,4 = 1,468, \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$v_{см} = 1 / \rho_{см} = 1 / 1,468 = 0,681 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

1.1.4. Вычисляем мольную изобарную теплоёмкость смеси газов по формуле:

$$\begin{aligned} \mu c_{p_{см}} &= \mu c_{p_{N_2}} \cdot r_{N_2} + \mu c_{p_{CO_2}} \cdot r_{CO_2} + \mu c_{p_{H_2O}} \cdot r_{H_2O} = 29,1 \cdot 0,24 + 37,4 \cdot 0,48 + \\ &+ 37,4 \cdot 0,28 = 35,408 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}). \end{aligned}$$

1.1.5. Вычисляем мольную изохорную теплоёмкость смеси газов:

$$\mu c_{v_{см}} = \mu c_{p_{см}} - 8,314 = 35,408 - 8,314 = 27,094 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

1.1.6. Вычисляем показатель адиабаты:

$$k = \mu c_p / \mu c_v = 35,408 / 27,094 = 1,307.$$

Задание 2

2. Исходные данные.

Смесь газов объемом $V_1 = Z_1 = 12 \text{ м}^3$ при давлении $p_1 = 1 - 0,0015 \cdot Z_3 = 1 - 0,0015 \cdot 5 = 0,9925$ бар и температуре $t_1 = 20 + Z_2 = 20 + 6 = 26$ °С сжимается по политропе с показателем $n = 1,0 + 0,05 \cdot Z_1 = 1 + 0,05 \cdot 12 = 1,6$. Объём газа уменьшается в $\varepsilon = 3 + 0,5 \cdot Z_4 = 3 + 0,5 \cdot 4 = 5$ раз. Определить массу газа, конечный объём газа, конечное давление и конечную температуру газа, работу сжатия, изменение внутренней энергии и энтропии газа, количество теплоты, участвующей в процессе. Род газа (смесь газов) принимается из задания 1. Считать, что теплоёмкость газа не зависит от температуры.

Изобразить процесс в масштабе в p - v и T - s диаграммах.

2.1. Порядок выполнения работы.

2.1.1. Из задания 1 принимаем информацию для выполнения 2 задания: $R = 252,9$ Дж/(кг·К) – газовую постоянную смеси; показатель адиабаты $k = 1,307$.

2.1.2. Используя уравнение состояния газа $p_1 V_1 = m \cdot R \cdot T_1$, находим массу газа m , кг:

$$m = p_1 \cdot V_1 / (R_{\text{см}} \cdot T_1) = 99250 \cdot 12 / (252,9 \cdot 299) = 15,75 \text{ кг},$$

где $p_1 = 99250$ Па – начальное давление газа;

$V_1 = 12 \text{ м}^3$ – начальный объём газа;

$T_1 = 273 + t_1 = 273 + 26 = 299 \text{ К}$ – начальная температура газа.

2.1.3. Определяем конечный объём газа V_2 , м^3

$$V_2 = V_1 / \varepsilon = 12 / 5 = 2,4 \text{ м}^3,$$

где $\varepsilon = V_1 / V_2 = 5$ – степень сжатия газа.

2.1.4. Так как в политропном процессе $p_2 / p_1 = (V_1 / V_2)^n = \varepsilon^n$, то конечное давление газа p_2 будет равно

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^n = 99250 \cdot 5^{1,6} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

где $n = 1,6$ – показатель политропы.

2.1.5. Из формулы соотношения температур и объёмов в политропном процессе $T_2 / T_1 = (V_1 / V_2)^{n-1} = \varepsilon^{n-1}$ находим конечную температуру T_2 , К:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n-1} = 299 \cdot 5^{1,6-1} = 785,3 \text{ К}.$$

2.1.6. Вычисляем изохорную массовую теплоёмкость газа c_v :

$$c_v = R / (k - 1) = 252,9 / (1,307 - 1) = 823,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}),$$

где $k = 1,307$ – показатель адиабатного процесса.

2.1.7. Определяем теплоёмкость газа в политропном процессе:

$$c = c_v \cdot (n - k) / (n - 1) = 823,8 \cdot (1,6 - 1,307) / (1,6 - 1) = 402,3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}),$$

где $n = 1,6$ – показатель политропы.

2.1.8. Определяем работу газа в процессе:

$$L = m \cdot R \cdot (T_1 - T_2) / (n - 1) = 15,75 \cdot 252,9 \cdot (299 - 785,3) / (1,6 - 1) = -3,228 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

2.1.9. Находим изменение внутренней энергии газа ΔU :

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = 15,75 \cdot 823,8 \cdot (785,3 - 299) = 6,31 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

2.1.10. Определяем теплоту, участвующую в процессе, Q :

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = 15,75 \cdot 402,3 \cdot (785,3 - 299) = 3,081 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

2.1.11. Записываем первый закон термодинамики $Q = \Delta U + L$ и проверяем правильность расчета:

$$3,081 \cdot 10^6 = 6,31 \cdot 10^6 - 3,228 \cdot 10^6 = 3,082 \cdot 10^6.$$

2.1.12. Вычисляем изменение энтропии одного килограмма газа Δs , Дж/(кг·К):

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c \cdot \ln(T_2 / T_1) = 402,3 \cdot \ln(785,3 / 299) = 388,4.$$

Если $n = k$, то $c = 0$ и $\Delta s = 0$, то есть процесс будет адиабатный.

2.1.13. Определяем энтропию газа в начальном состоянии s_1 , Дж/(кг·К):

$$s_1 = c_v \cdot k \cdot \ln(T_1/273) - R \cdot \ln(p_1/101325) =$$

$$= 823,8 \cdot 1,307 \cdot \ln(299/273) - 252,9 \cdot \ln(99250/101325) = 103,18$$

Дж/(кг·К),

где $p_1 = 99250$ Па – начальное давление газа.

2.1.14. Изображаем в T-s диаграмме в масштабе график политропного процесса (рис. 2.1). Если $n=k$, то есть процесс адиабатный, то график изображается вертикальной линией $s=s_1=\text{const}$. Если $n < k$, то $\Delta s < 0$ и график изображается линией 1-2', а если $n > k$, то $\Delta s > 0$ и график изображается линией 1-2''. Для построения графика политропы берем промежуточную точку "C" с температурой $T_c = (T_1 + T_2)/2 = (299 + 785,3)/2 = 542,2$ К, а $\Delta s_{c-1} = c \cdot \ln(T_c/T_1) = 402,3 \cdot \ln(542,2/299) = 239,4$ Дж/(кг·К).

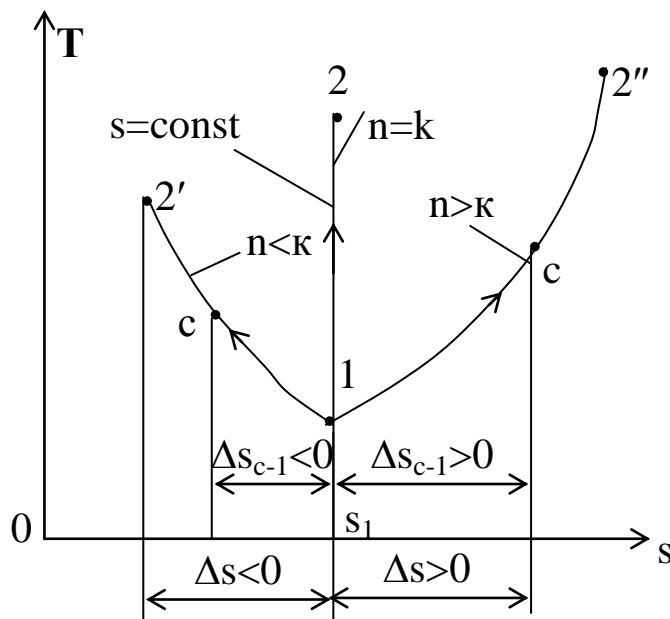


Рис.2.1. Политропный процесс в T-s диаграмме

2.1.15. Изображаем в p-v диаграмме в масштабе график политропного процесса (рис. 2.2), предварительно задавшись объёмами в точках "а" и "в" и вычислив в этих точках давления p_a и p_b по формулам $p_a = p_1 \cdot (V_1/V_a)^n$ и $p_b = p_1 \cdot (V_1/V_b)^n$.

Принимаем: $V_a = 0,7 \cdot V_1 = 0,7 \cdot 12 = 8,4$ м³ и $V_b = 0,5 V_1 = 0,5 \cdot 12 = 6$ м³.
 $p_a = 99250 \cdot (12/8,4)^{1,6} = 1,756 \cdot 10^5$ Па.

$$p_6 = 99250 \cdot (12/6)^{1,6} = 3,009 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

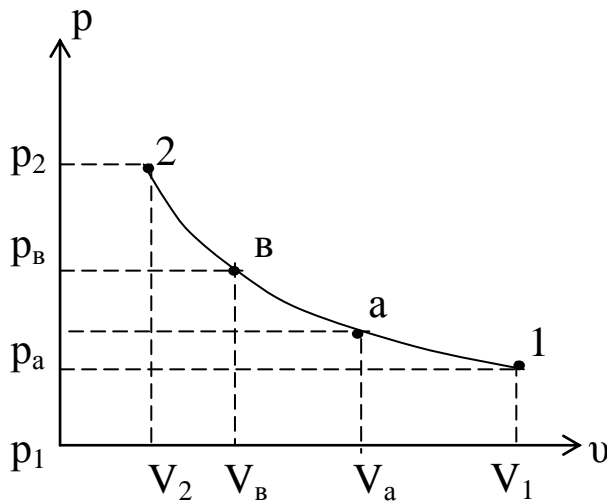


Рис.2.2. Политропный процесс в p-v диаграмме

Задание 3

3. Исходные данные.

Электрический генератор приводится во вращение газотурбинной установкой (ГТУ) без регенерации.

ГТУ работает по циклу, в котором сжатие воздуха в компрессоре и расширение газов в турбине осуществляется по адиабате, подвод и отвод тепла изобарный. Рабочее тело ГТУ обладает свойствами воздуха. На входе в компрессор давление воздуха равно $p_1 = 10^5 - 500 \cdot Z_1 = 10^5 - 500 \cdot 12 = 94000$ Па, а температура $T_1 = 290 + Z_4 = 290 + 4 = 294$ К. Степень повышения давления в компрессоре равна $\pi = P_2/P_1 = 6 + 0,1 \cdot Z_4 + 0,1 \cdot Z_1 = 6 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 12 = 7,6$. Температура газов на входе в турбину равна $T_3 = 923 + 2 \cdot Z_4 + 5 \cdot Z_2 = 923 + 2 \cdot 4 + 5 \cdot 6 = 961$ К.

К.п.д. электрического генератора $\eta_{\Gamma} = 0,98$, механический к.п.д. ГТУ $\eta_{\text{м}} = 0,98$, к.п.д. камеры сгорания $\eta_{\text{кс}} = 0,98$, адиабатный к.п.д. компрессора $\eta_{\text{к}} = 0,8 + 0,005 \cdot Z_1 = 0,8 + 0,005 \cdot 12 = 0,86$, относительный внутренний к.п.д. газовой турбины $\eta_{\text{т}} = 0,85 + 0,005 \cdot Z_1 = 0,85 + 0,005 \cdot 12 = 0,91$.

Секундный расход рабочего тела равен $G = 50 + 5 \cdot Z_1 = 50 + 5 \cdot 12 = 110$ кг/с.

Требуется определить: температуру рабочего тела (T) в характерных точках теоретического и действительного циклов

ГТУ; термический к.п.д. теоретического цикла η_t и эффективный к.п.д. ГТУ $\eta_{эф}^{ГТУ}$; мощность на клеммах электрогенератора $N_{Г}$; удельный расход тепла и расход условного топлива на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии. Изобразить в p-u и T-s диаграммах цикл ГТУ.

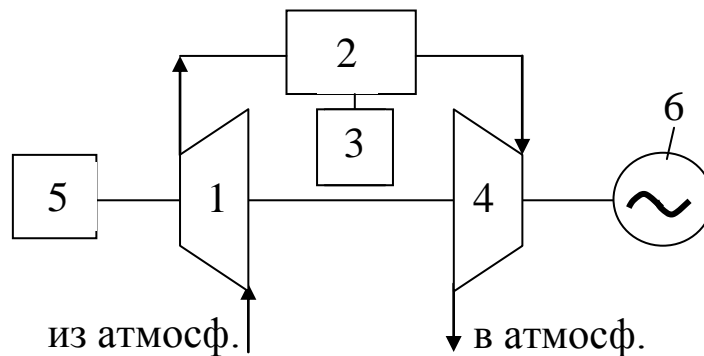


Рис. 3.1. Схема газотурбинной установки

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – топливный насос; 4 – газовая турбина; 5 – пускатель; 6 – электрогенератор

3.1. Тепловой расчет ГТУ.

3.1.1. Используя параметры рабочего тела в точке 1 (p_1, v_1, T_1),

$$\pi = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{и} \quad \rho = \frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

параметры цикла (и формулы связи между параметрами, находим:

а) температуру рабочего тела в точках 2 и 2_q

$$T_2 = T_1 \cdot \pi^{\frac{k-1}{k}} = 294 \cdot 7,6^{1,4} = 524,8 \text{ К};$$

$$T_{2q} = T_1 + (T_2 - T_1) / \eta_k = 294 + (524,8 - 294) / 0,86 = 562,4 \text{ К};$$

где $k=1,4$ – показатель адиабаты; η_k – адиабатный к.п.д.

компрессора;

б) степень предварительного расширения

$$\rho = T_3 / T_2 = 961 / 524,8 = 1,831;$$

в) температуру рабочего тела в точках 4 и 4_q

$$T_4 = T_1 \cdot \rho = 294 \cdot 1,831 = 538,4 \text{ К};$$

$$T_{4q} = T_3 - (T_3 - T_4) \cdot \eta_{ГТ} = 961 - (961 - 538,4) \cdot 0,91 = 576,4 \text{ К},$$

где η_T – относительный внутренний к.п.д. турбины.

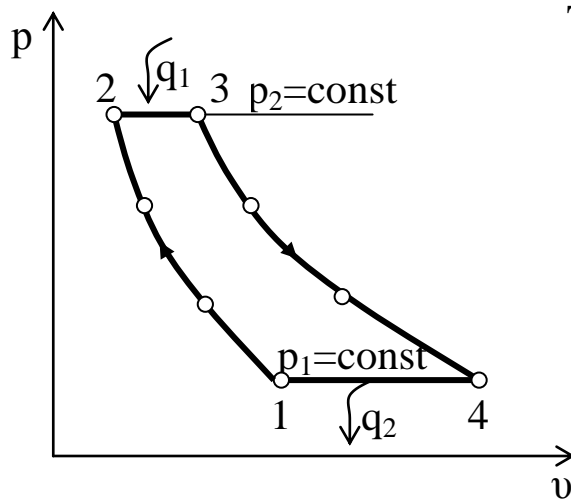


Рис.3.2. Теоретический цикл ГТУ в p-v диаграмме

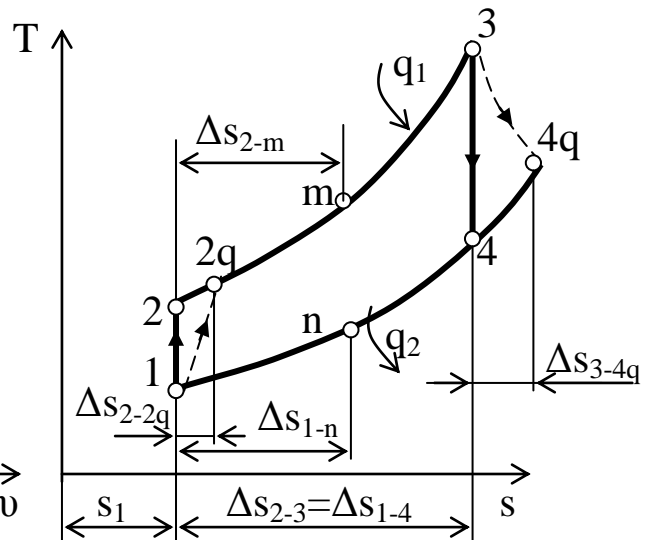


Рис.3.3. Теоретический и действительный циклы ГТУ в T-s диаграмме

3.1.2. Определяем термический к.п.д. теоретического цикла ГТУ:

$$\eta_t = 1 - 1/\pi^{(k-1)/k} = 1 - 1/7,6^{(1,4-1)/1,4} = 0,44.$$

3.1.3. Определяем действительную работу, затрачиваемую на сжатие 1 кг воздуха в компрессоре:

$$\ell_k = c_p \cdot (T_{2q} - T_1) = 1005 \cdot (562,4 - 294) = 269742 \text{ Дж/кг},$$

где ℓ_k – действительная работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха в компрессоре, Дж/кг;

$c_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ – изобарная массовая теплоемкость воздуха.

3.1.4. Определяем действительную работу, совершаемую в турбине при расширении 1 кг газа:

$$\ell_T = c_p \cdot (T_3 - T_{4q}) = 1005 \cdot (961 - 576,4) = 386523 \text{ Дж/кг},$$

где ℓ_T – действительная работа, совершаемая в турбине при расширении 1 кг газа, Дж/кг.

3.1.5. Определяем эффективную мощность ГТУ:

$$N_e = G \cdot (\ell_T - \ell_k) \cdot \eta_m \cdot 10^{-3} = 110 \cdot (386523 - 269742) \cdot 0,98 \cdot 10^{-3} = 12589$$

кВт,

где N_e – эффективная мощность ГТУ, кВт;

G – секундный массовый расход рабочего тела через ГТУ, кг/с;

η_m – механический к.п.д. ГТУ.

3.1.6. Определяем мощность электрогенератора:

$$N_r = N_e \cdot \eta_r = 12589 \cdot 0,98 = 12337,2 \text{ кВт},$$

где N_r – мощность на клеммах электрогенератора, кВт;

η_r – к.п.д. электрогенератора.

3.1.7. Вычисляем теплоту, подводимую к 1 кг рабочего тела в действительном цикле ГТУ:

$$q_1 = c_p \cdot (T_3 - T_{2q}) = 1005 \cdot (961 - 562,4) = 400593 \text{ Дж/кг},$$

где q_1 – теплота, подводимая к 1 кг рабочего тела в действительном цикле ГТУ, Дж/кг.

3.1.8. Находим эффективный к.п.д. ГТУ:

$$\eta_{\text{эф}}^{\text{ГТУ}} = (\ell_T - \ell_K) \cdot \eta_{\text{КС}} \cdot \eta_m / q_1 = (386523 - 269742) \cdot 0,98 \cdot 0,98 / 400593 = 0,28,$$

где $\eta_{\text{эф}}^{\text{ГТУ}}$ – эффективный к.п.д. ГТУ;

η_m – механический к.п.д. ГТУ;

$\eta_{\text{КС}}$ – к.п.д. камеры сгорания.

3.1.9. Определяем удельный расход тепла на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии:

$$q = \frac{3600}{\eta_r \cdot \eta_{\text{эф}}^{\text{ГТУ}}} = 3600 / (0,98 \cdot 0,28) = 13119,5 \text{ кДж/(кВт·ч)},$$

где q – удельный расход тепла на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии, кДж/(кВт·ч).

3.1.10. Находим удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии:

$$b = \frac{123}{\eta_r \cdot \eta_{\text{эф}}^{\text{ГТУ}}} = 123 / (0,98 \cdot 0,28) = 448,25 \text{ г/(кВт·ч)},$$

где b – удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии, г/(кВт·ч).

3.1.11. Строим наглядно теоретический цикл ГТУ в p - v диаграмме (рис. 3.2.).

3.1.12. Вычисляем энтропию рабочего тела в точке 1 по формуле:

$$s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{273} - R \cdot \ln \frac{p_1}{101325} = 1005 \cdot \ln \left(\frac{294}{273} \right) - 287 \cdot \ln \left(\frac{94000}{101325} \right) = 93,17 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}),$$

где s_1 – энтропия рабочего тела в точке 1, Дж/(кг·К);

T_1 – температура рабочего тела в точке 1, К;

p_1 – давление рабочего тела в точке 1, Па.

3.1.13. Вычисляем изменение энтропии рабочего тела в процессах цикла с учетом промежуточных точек «m» и «n», Дж/(кг·К):

$$\Delta s_{1-2} = 0;$$

$$\Delta s_{2-3} = c_p \cdot \ln(T_3/T_2) = 1005 \cdot \ln(961/524,8) = 607,98;$$

$$\Delta s_{3-4} = 0;$$

$$\Delta s_{4-1} = c_p \cdot \ln(T_4/T_1) = 1005 \cdot \ln(538,4/294) = 608;$$

$$\Delta s_{1-2q} = \Delta s_{2-2q} = c_p \cdot \ln(T_{2q}/T_2) = 1005 \cdot \ln(562,4/524,8) = 69,5;$$

$$\Delta s_{3-4q} = \Delta s_{4-4q} = c_p \cdot \ln(T_{4q}/T_4) = 1005 \cdot \ln(576,4/538,4) = 68,5;$$

$$\Delta s_{2-m} = c_p \cdot \ln(T_m/T_2) = 1005 \cdot \ln(742,9/524,8) = 349,28;$$

$$\Delta s_{1-n} = c_p \cdot \ln(T_n/T_1) = 1005 \cdot \ln(416,2/294) = 349,32,$$

$$\text{где } T_m = \frac{T_2 + T_3}{2} = (524,8 + 961)/2 = 742,9 \text{ К};$$

$$T_n = \frac{T_1 + T_4}{2} = (294 + 538,4)/2 = 416,2 \text{ К}.$$

3.1.14. Строим в масштабе в T-s диаграмме теоретический цикл ГТУ 1-2-3-4-1 и действительный цикл ГТУ 1-2q-3-4q-1 (рис.3.3.).

Задание 4

4. Исходные данные.

Пользуясь h-s (i-s) диаграммой водяного пара, определить параметры пара:

а) перегретый пар при давлении $p = Z_3 + Z_5 = 5 + 28 = 33 \text{ бар} = 3300 \text{ кПа}$ и температуре $t = 200 + 10 \cdot (Z_3 + Z_5) = 200 + 10 \cdot (5 + 28) = 530 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) сухой насыщенный пар при давлении:

$$p = Z_3 + Z_5 = 5 + 28 = 33 \text{ бар} = 3300 \text{ кПа};$$

в) влажный насыщенный пар при давлении $p = Z_3 + Z_5 = 5 + 28 = 33 \text{ бар} = 3300 \text{ кПа}$ и степени сухости $x = 0,95 - 0,01 \cdot Z_1 = 0,95 - 0,01 \cdot 12 =$

=0,83.

4.1. Порядок выполнения задания.

4.1.1. Зная давление $p=3300$ кПа и температуру $t=530$ °С перегретого пара, по h - s диаграмме (рис. 4.1) находим точку пересечения изобары p и изотермы t , то есть точку “А”. По положению точки “А” на h - s диаграмме находим энтальпию пара $h=3530$ кДж/кг, энтропию пара $s=7,28$ кДж/(кг·К) и удельный объём пара $v=0,11$ м³/кг. Внутреннюю энергию пара вычисляем по формуле:

$$u=h - p \cdot v = 3530 - 3300 \cdot 0,11 = 3167 \text{ кДж/кг.}$$

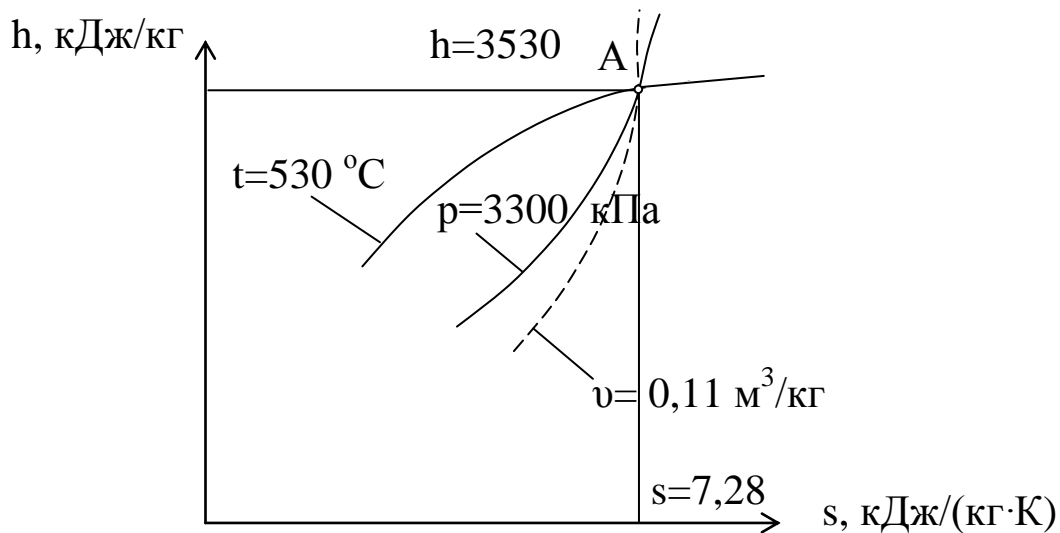


Рис.4.1.Состояние перегретого пара в h - s диаграмме

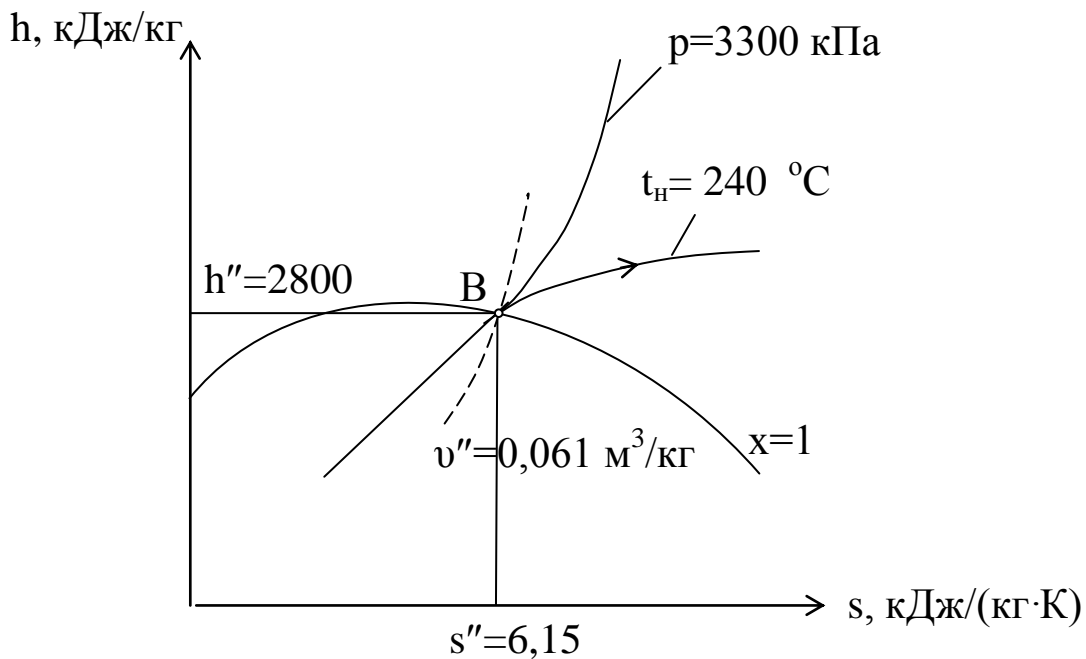


Рис.4.2. Состояние сухого насыщенного водяного пара в h-s диаграмме

4.1.2. Зная давление сухого насыщенного пара $p=3300$ (кПа), по h-s диаграмме (рис. 4.2) находим точку пересечения изобары p с верхней пограничной кривой $x=1$, то есть точку “В”. По положению точки “В” на h-s диаграмме находим энтальпию пара $h''=2800$ кДж/кг, энтропию пара $s''=6,15$ кДж/(кг·К), удельный объём пара $v''=0,061$ м³/кг и температуру $t_H=240^\circ\text{C}$, а внутреннюю энергию вычисляем по формуле:

$$u''=h'' - p \cdot v''=2800 - 3300 \cdot 0,061=2598,7 \text{ кДж/кг.}$$

4.1.3. Зная давление $p=3300$ кПа и степень сухости $x=0,83$ влажного насыщенного пара, по h-s диаграмме (рис. 4.3) находим точку пересечения изобары p с линией постоянной степени сухости x , то есть точку “С”. По положению точки “С” на h-s диаграмме находим энтальпию $h_x=2505$ кДж/кг, энтропию $s_x=5,58$ кДж/(кг·К), удельный объём $v_x=0,051$ м³/кг и температуру $t_H=240^\circ\text{C}$. Если при нахождении v_x возникает затруднение, то дополнительно определяем удельный объём сухого насыщенного пара $v''=0,061$ м³/кг и после этого вычисляем $v_x=v'' \cdot x=0,061 \cdot 0,83=0,0506$ м³/кг. Внутреннюю энергию пара вычисляем по формуле:

$$u_x=h_x - p \cdot v_x=2505 - 3300 \cdot 0,051=2336,7 \text{ кДж/кг.}$$

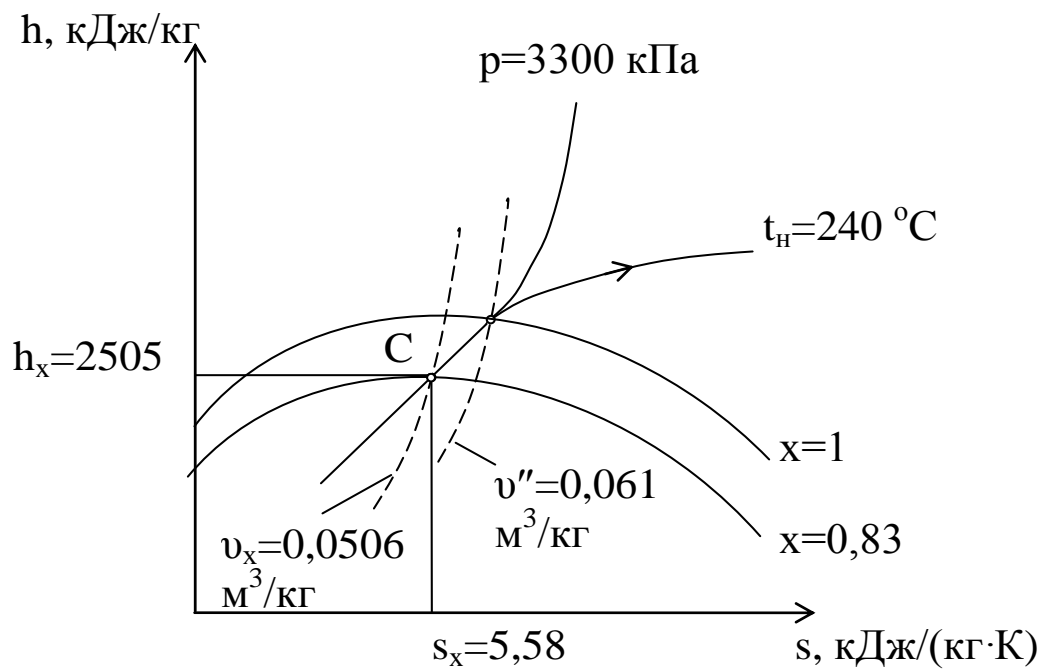


Рис.4.3. Состояние влажного насыщенного пара в h - s диаграмме

Задание 5

5. Исходные данные.

На заводской теплоэлектростанции (ТЭЦ) установлена паровая турбина с противодавлением, которая приводит во вращение электрический генератор. Давление пара на входе в турбину равно $p_1 = 60 + 2 \cdot Z_1 + Z_5 = 60 + 2 \cdot 12 + 28 = 112$ бар = 11200 кПа, температура $t_1 = 400 + 10(Z_1 + Z_2) = 400 + 10(12 + 6) = 580$ °С, а на выходе из турбины давление отработавшего пара равно $p_{2п} = 1,4 + 0,1 \cdot Z_1 = 1,4 + 0,1 \cdot 12 = 2,6$ бар = 260 кПа.

Тепло отработавшего в турбине пара используется для нужд теплоснабжения. Потребитель тепла возвращает в котельную конденсат при температуре $t_n = f(p_{2п})$. К.п.д. электрического генератора $\eta_r = 0,98$; механический к.п.д. турбины $\eta_m = 0,98$; относительный внутренний к.п.д. турбины $\eta_{oi} = 0,85$; к.п.д. трубопроводов $\eta_{тр} = 0,98$; температура питательной воды равна t_n °С. Часовой расход пара через турбину $D = 100 + Z_1 + 5 \cdot Z_4 = 100 + 12 + 5 \cdot 4 = 132$ т/ч, коэффициент полезного действия парогенератора $\eta_{кА}^{бр} = 0,90$ и низшая теплота сгорания топлива $Q_n^p = 29310$ кДж/кг.

Требуется определить: мощность электрического генератора N_r кВт; количество тепла, затрачиваемого на выработку электроэнергии $Q_{эл}$, кВт; количество тепла, передаваемого тепловым потребителям Q_t , кВт; часовой расход топлива B кг/ч; коэффициент использования теплоты топлива на ТЭЦ.

Представить схему ТЭЦ и дать краткое описание. Наглядно изобразить цикл ТЭЦ в p - v и T - s диаграммах.

5.1. Порядок выполнения задания.

5.1.1. На рис. 5.1 представлена схема ТЭЦ (паросиловой установки для выработки электрической и тепловой энергии).

5.1.2. Зная давление и температуру пара на входе в противодавленческую турбину p_1 и t_1 и давление пара за турбиной $p_{2п}$ по i - s диаграмме водяного пара (рис.5.2), находим энтальпию i_1 (кДж/кг) и энтропию s (кДж/(кг·К)) перегретого пара (точка 1); затем, полагая, что в турбине пар расширяется по адиабате 1-2п ($s = \text{const}$) до давления $p_{2п}$, находим в точке 2п энтальпию $i_{2п}$

(кДж/кг), степень сухости пара $x_{2п}$ и температуру кипения t_n ($^{\circ}\text{C}$).
Величину температуры t_n можно точно определить по таблице 5.1 в зависимости от давления $p_{2п}=260$ кПа, $t_n=128,73$ $^{\circ}\text{C}$.

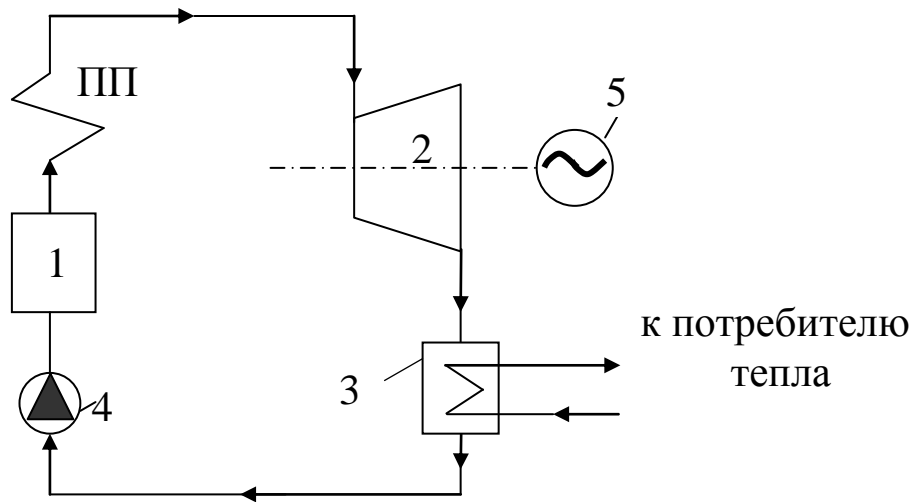


Рис. 5.1. Схема ТЭЦ:

1 – парогенератор; ПП – пароперегреватель; 2 – противодавленческая паровая турбина; 3 – тепловая нагрузка (потребитель тепла); 4 – питательный насос; 5 – электрогенератор

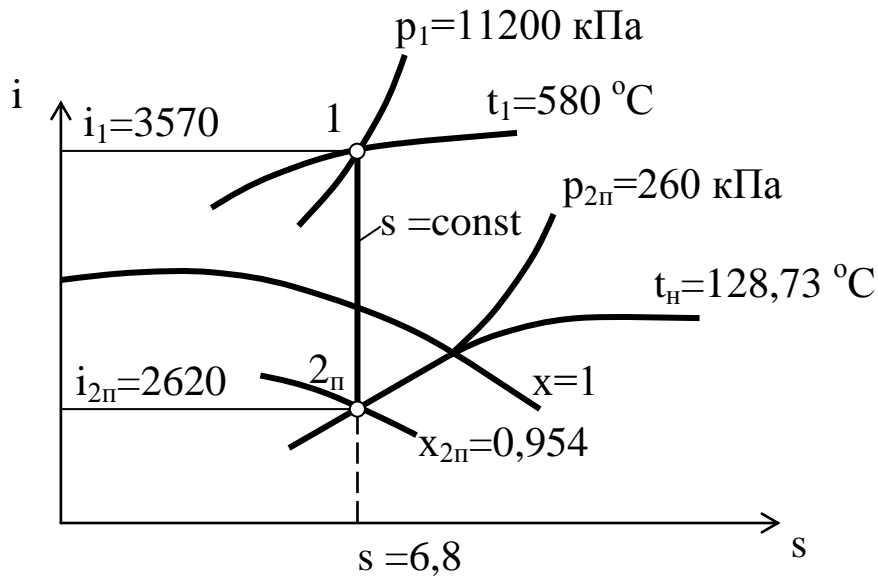


Рис. 5.2. Процесс расширения пара в паровой турбине ТЭЦ

Таблица 5.1 – Зависимость температуры кипения воды t_n от давления

кПа	р,	°С	t_n ,	кПа	р,	°С	t_n ,
4,0		8	28,9	190		62	118,
5,0			32,9	200		23	120,
170		17	115,	210		78	121,
180		93	116,	220		27	123,
							124,
							71
							126,
							09
							127,
							43
							128,
							73

5.1.3. Определяем энтальпию конденсата при температуре t_n

$$i'_{2п} = 4,19 \cdot t_n = 4,19 \cdot 128,73 = 539,4 \text{ кДж/кг},$$

где $i'_{2п}$ – энтальпия конденсата, кДж/кг.

5.1.4. Определяем действительную энтальпию отработавшего в турбине пара:

$$i_{2д} = i_1 - (i_1 - i_{2п}) \cdot \eta_{oi} = 3570 - (3570 - 2620) \cdot 0,85 = 2762,5 \text{ кДж/кг},$$

где $i_{2д}$ – действительная энтальпия отработавшего в турбине пара, кДж/кг;

$\eta_{oi} = 0,85$ – относительный внутренний к.п.д. турбины.

5.1.5. Определяем секундный расход пара через турбину:

$$D' = D/3,6 = 132/3,6 = 36,667 \text{ кг/с,}$$

где D' – секундный расход пара через турбину, кг/с;

D – производительность парогенератора, т/ч.

5.1.6. Находим мощность электрического генератора:

$$N_{\Gamma} = D' \cdot (i_1 - i_{2д}) \cdot \eta_m \cdot \eta_{\Gamma} = 36,667 \cdot (3570 - 2762,5) \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 28436,1 \text{ кВт,}$$

где N_{Γ} – мощность электрического генератора, кВт;

$\eta_m = 0,98$ – механический к.п.д. турбины;

$\eta_{\Gamma} = 0,98$ – к.п.д. электрогенератора.

5.1.7. Определяем количество тепла, затрачиваемого на выработку электрической энергии:

$$Q_{\text{эл}} = D' \cdot (i_1 - i_{2д}) = 36,667 \cdot (3570 - 2762,5) = 29608,6 \text{ кВт,}$$

где $Q_{\text{эл}}$ – количество тепла, затрачиваемого на выработку электрической энергии, кВт.

5.1.8. Определяем количество тепла, передаваемого тепловым потребителям

$$Q_{\Gamma} = D' \cdot (i_{2д} - i'_{2п}) = 36,667 \cdot (2762,5 - 539,4) = 81514,4 \text{ кВт,}$$

где Q_{Γ} – количество тепла, передаваемого тепловым потребителям.

5.1.9. Находим часовой расход топлива на ТЭЦ:

$$B = 3600 \cdot (Q_{\text{эл}} + Q_{\Gamma}) / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кА}}^{\text{бр}} \cdot \eta_{\text{тр}}) = \\ = 3600 \cdot (29608,6 + 81514,4) / (29310 \cdot 0,9 \cdot 0,98) = 15474,7 \text{ кг/ч,}$$

где B – часовой расход топлива на ТЭЦ, кг/ч;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг;

$\eta_{\text{кА}}^{\text{бр}}$ – к.п.д. парогенератора брутто;

$\eta_{\text{тр}} = 0,98$ – к.п.д. трубопроводов.

5.1.10. Определяем коэффициент использования теплоты топлива на ТЭЦ:

$$K = 3600 \cdot (N_{\Gamma} + Q_{\Gamma}) / (B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}) = \\ = 3600 \cdot (28436,1 + 81514,4) / (15474,7 \cdot 29310) = 0,873,$$

где K – коэффициент использования теплоты топлива на ТЭЦ.

5.1.11. Наглядно изображаем цикл ТЭЦ в p - v и T - s диаграммах (рис.5.3 и 5.4).

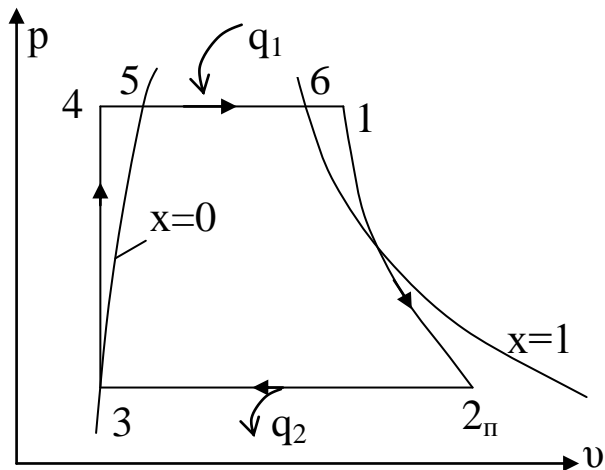


Рис. 5.3. Цикл ТЭЦ в p - v диаграмме

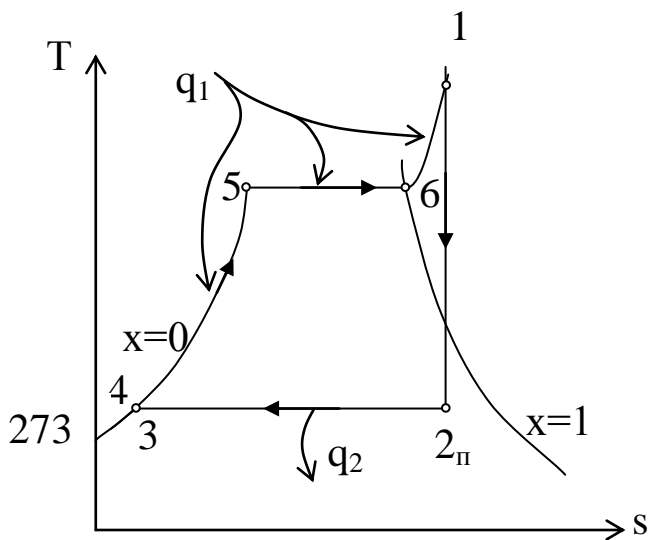


Рис. 5.4. Цикл ТЭЦ в T - s диаграмме

Задание 6

6. Исходные данные.

Электрический генератор приводится во вращение конденсационной паровой турбиной.

Давление пара на входе в турбину равно $p_1 = 60 + 2Z_1 + Z_5 = 60 + 2 \cdot 12 + 28 = 112$ бар = 11200 кПа, температура $t_1 = 400 + 10(Z_1 + Z_2) = 400 + 10(12 + 6) = 580$ °С, а на выходе из турбины давление отработавшего пара равно $p_{2к} = 5$ кПа. Паросиловая установка работает по циклу Ренкина (цикл КЭС).

К.п.д. электрического генератора равен $\eta_{\Gamma} = 0,98$; механический к.п.д. турбины $\eta_{\text{м}} = 0,98$; относительный внутренний к.п.д. турбины $\eta_{\text{oi}} = 0,85$; к.п.д. трубопроводов $\eta_{\text{тр}} = 0,98$; температура питательной воды $t_{\text{н}} = 32,9$ °С. Секундный расход пара через турбину Д' (кг/с),

коэффициент полезного действия парогенератора $\eta_{КА}^{бр}$ и низшую теплоту сгорания топлива Q_H^P (кДж/кг) взять из предыдущей задачи.

Требуется определить: мощность электрического генератора N_r кВт; количество тепла, затрачиваемого на выработку электроэнергии $Q_{эл}$, кВт, часовой расход топлива B кг/ч; коэффициент использования теплоты топлива на КЭС; термический к.п.д. цикла КЭС η_t ; удельный расход условного топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии.

Представить схему КЭС и дать краткое описание. Изобразить цикл КЭС в $p-v$ и $T-s$ диаграммах.

6.1. Порядок выполнения задания

6.1.1. На рис. 6.1 представлена схема паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина (схема КЭС).

6.1.2. Зная давление и температуру пара на входе в конденсационную турбину p_1 и t_1 и давление пара за турбиной $p_{2к}=5$ кПа по $i-s$ диаграмме водяного пара находим энтальпию i_1 (кДж/кг) и энтропию s (кДж/(кг·К)) перегретого пара (точка 1 на рис.6.2).

Затем, полагая, что в турбине пар расширяется по адиабате 1-2к ($s=\text{const}$) до давления $p_{2к}$, находим в точке 2к энтальпию $i_{2к}$ (кДж/кг) и степень сухости пара $x_{2к}$, а температуру кипения воды при давлении $p_{2к}=5$ кПа находим по табл. 5.1 ($t_H=32,9$ °С).

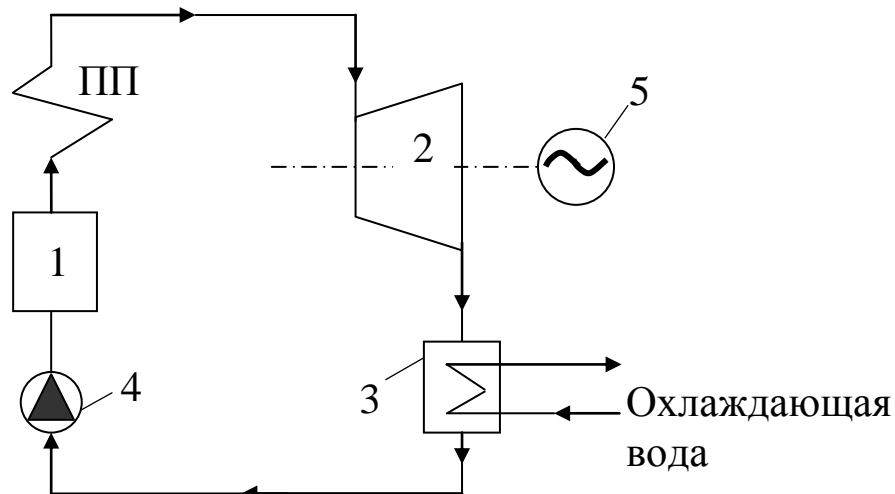


Рис. 6.1. Схема конденсационной электростанции(КЭС):
 1 – парогенератор; ПП-пароперегреватель; 2 – конденсационная паровая турбина; 3 – конденсатор; 4 – питательный насос; 5 – электрогенератор

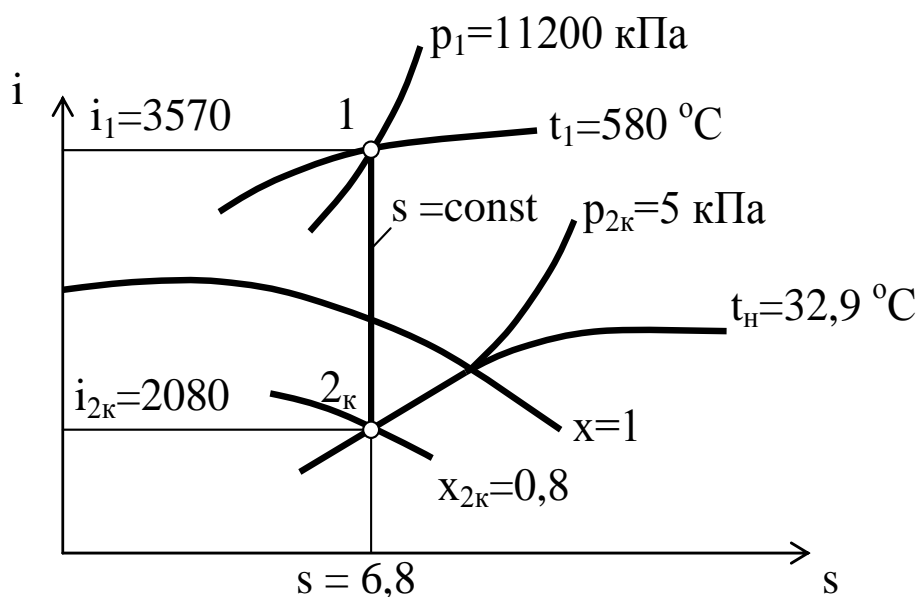


Рис. 6.2. Процесс расширения пара в конденсационной паровой турбине

6.1.3. Находим энтальпию конденсата при температуре t_n , °С:

$$i'_{2к} = 4,19 \cdot t_n = 4,19 \cdot 32,9 = 137,9 \text{ кДж/кг,}$$

6.1.4. Определяем мощность электрического генератора:

$$N_{Г} = D' \cdot (i_1 - i_{2к}) \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_{Г} = 36,667 \cdot (3570 - 2080) \cdot 0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 44599,8 \text{ кВт}$$

где $N_{Г}$ – мощность электрического генератора, кВт;

$\eta_{oi}=0,85$ – относительный внутренний к.п.д. турбины;

$\eta_m=0,98$ – механический к.п.д. турбины;

$\eta_r=0,98$ – к.п.д. электрогенератора;

D' – секундный расход пара через турбину (берем из задания 5), кг/с.

6.1.5. Определяем количество тепла, затрачиваемого на выработку электроэнергии на КЭС:

$$Q_{эл}=D' (i_1 - i'_{2к})=36,667(3570 - 137,9)=125844,8 \text{ кВт},$$

где $Q_{эл}$ – количество тепла, затрачиваемого на выработку электро-энергии на КЭС, кВт;

$i'_{2к}$ – энтальпия конденсата, кДж/кг.

6.1.6. Находим часовой расход топлива на КЭС:

$$B=3600 \cdot Q_{эл} / (Q_n^p \cdot \eta_{ка}^{бр} \cdot \eta_{тр})=3600 \cdot 125844,8 / (29310 \cdot 0,9 \cdot 0,98)=17524,8 \text{ кг/ч},$$

где B – часовой расход топлива на КЭС, кг/ч;

Q_n^p – низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг;

$\eta_{ка}^{бр}$ – к.п.д. парогенератора брутто (берем из задания 5);

$\eta_{тр}=0,98$ – к.п.д. трубопроводов.

6.1.7. Определяем коэффициент использования теплоты топлива на КЭС:

$$K=3600 \cdot N_r / (B \cdot Q_n^p)=3600 \cdot 44599,8 / (17524,8 \cdot 29310)=0,3126,$$

где K – коэффициент использования теплоты топлива на КЭС.

6.1.8. Вычисляем термический к.п.д. цикла КЭС:

$$\eta_t=(i_1 - i_{2к}) / (i_1 - i'_{2к}) = (3570 - 2080) / (3570 - 137,9)=0,4341.$$

6.1.9. Определяем удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии:

$$b=123 / (\eta_{ка}^{бр} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_r) = 123 / (0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,4341 \cdot 0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,98)=393,53 \text{ г/(кВт·ч)},$$

где b – удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии, г/(кВт·ч).

6.1.10. Наглядно изображаем цикл КЭС в p-v и T-s диаграммах (рис. 6.3 и 6.4).

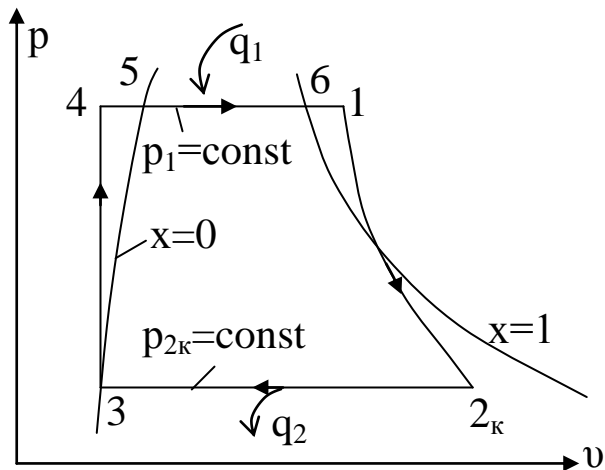


Рис. 6.3. Цикл КЭС в p - v диаграмме

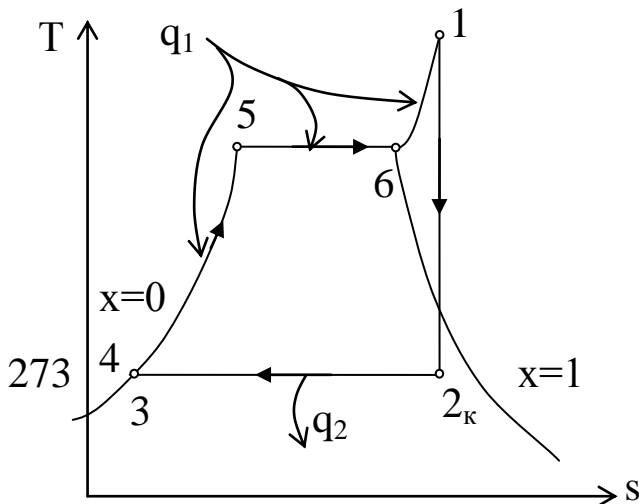


Рис. 6.4. Цикл КЭС в T - s диаграмме

Задание 7

7. Исходные данные.

Медный провод круглого сечения диаметром $d=Z_1=12$ мм охлаждается конвекцией и тепловым излучением, находясь в неограниченном воздушном пространстве.

Провод обдувается поперечным потоком воздуха со скоростью $w=2,0+0,2 \cdot Z_1=2,0+0,2 \cdot 12=4,4$ м/с. Температура потока воздуха $t_f=10+Z_3=10+5=15$ °С. Степень черноты поверхности провода $\epsilon = 0,6$. Удельное электрическое сопротивление меди равно $\rho=1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Определить допустимую силу тока, протекающего по проводу, при условии, что температура поверхности провода не

должна превышать $t_w=70+Z_2=70+6=76\text{ }^\circ\text{C}$.

7.1. Порядок выполнения расчета.

7.1.1. Расчетная схема обдува провода представлена на рис.7.1.

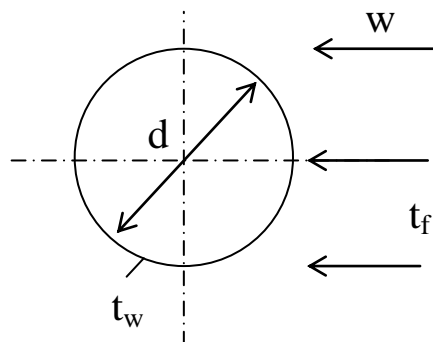


Рис.7.1. Расчетная схема обдува провода

7.1.2. Определяем поверхность провода длиной $\ell=1\text{ м}$:

$$F = \pi \cdot d \cdot \ell = 3,14 \cdot 0,012 \cdot 1 = 0,03768\text{ м}^2,$$

где d – диаметр провода, м.

7.1.3. Определяем электрическое сопротивление провода длиной $\ell=1\text{ м}$:

$$R = \frac{\ell \cdot \rho}{s} = \frac{1 \cdot \rho}{0,785 \cdot d^2} = 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} / (0,785 \cdot 0,012^2) = 1,5039 \cdot 10^{-4}\text{ Ом},$$

7.1.4. При температуре $t_f=15\text{ }^\circ\text{C}$ по таблице 2 находим для воздуха: коэффициент кинематической вязкости $\nu_f=1,461 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ и коэффициент теплопроводности $\lambda_f=0,0255\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Таблица 2

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\nu_f, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda_f, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\nu_f, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda_f, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
10	1,41 $6 \cdot 10^{-5}$	0,02 51	20	1,50 $6 \cdot 10^{-5}$	0,02 59

7.1.5. Вычисляем критерий Рейнольдса:

$$Re_f = \frac{w \cdot d}{\nu_f} = 4,4 \cdot 0,012 / (1,461 \cdot 10^{-5}) = 3614,$$

где w – скорость воздуха, м/с;

d – диаметр провода, м;

ν_f – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$.

7.1.6. Если $Re_f < 1000$, то критерий Нуссельта находится по уравнению:

$$Nu_f = 0,43 \cdot Re_f^{0,5};$$

$$\text{если } Re_f > 1000, \text{ то } Nu_f = 0,216 \cdot Re_f^{0,6} = 0,216 \cdot 3614^{0,6} = 29,461.$$

7.1.7. Так как $Nu_f = \alpha \cdot d / \lambda_f$, то отсюда находим коэффициент теплоотдачи конвекцией α , Вт/(м²·К):

$$\alpha = Nu_f \cdot \lambda_f / d = 29,461 \cdot 0,0255 / 0,012 = 62,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

7.1.8. Определяем тепло, отводимое от провода конвекцией:

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot (t_w - t_f) = 62,6 \cdot 0,03768 (76 - 15) = 143,88 \text{ Вт}.$$

7.1.9. Определяем тепло отводимое от провода тепловым излучением:

$$Q_l = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F \cdot [(2,73 + 0,01 \cdot t_w)^4 - (2,73 + 0,01 \cdot t_f)^4] = \\ = 0,6 \cdot 5,67 \cdot 0,03768 \cdot [(2,73 + 0,01 \cdot 76)^4 - (2,73 + 0,01 \cdot 15)^4] = 10,2 \text{ Вт},$$

где ε – степень черноты поверхности провода;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

7.1.10. Так как тепло, выделяемое при прохождении по проводу тока силой I , равно $Q = I^2 \cdot R = Q_k + Q_l$, то отсюда находим:

$$I = (Q/R)^{0,5} = [(Q_k + Q_l)/R]^{0,5} = [(143,88 + 10,2) / 1,5039 \cdot 10^{-4}]^{0,5} = 1012,2$$

А.

Примерный перечень вопросов для подготовки к текущему контролю знаний

1. Энергетика и её значение в народном хозяйстве. Предмет технической термодинамики.
2. Рабочее тело и его параметры.
3. Уравнение состояния идеального газа.
4. Уравнение состояния реального газа.
5. p - v диаграмма.
6. Работа газа.
7. Теплота газа.
8. Теплоёмкость газа.
9. Внутренняя энергия газа.
10. Энтальпия и энтропия газа.
11. T - S диаграмма.
12. Первый закон термодинамики.
13. Второй закон термодинамики.
14. Смеси идеальных газов.
15. Изохорный газовый процесс.
16. Изотермический газовый процесс.
17. Изобарный газовый процесс.
18. Адиабатный газовый процесс.
19. Политропный газовый процесс.
20. Графики основных процессов в T - S диаграмме.
21. Понятие о прямом цикле.
22. Понятие об обратном цикле.
23. Водяной пар. Общие понятия.
24. p - v диаграмма водяного пара.
25. T - s диаграмма водяного пара.
26. i - s диаграмма водяного пара.
27. Определение параметров пара по i - s диаграмме.
28. Сжатие газа в поршневом компрессоре.
29. Сжатие газа в центробежных компрессорах.
30. Действительная индикаторная диаграмма карбюраторного ДВС.
31. Схема карбюраторного ДВС. Теоретический цикл карбюраторного ДВС.

32. Схема и действительная индикаторная диаграмма безкомпрессорного дизельного ДВС.
33. Теоретический цикл безкомпрессорного дизельного ДВС.
34. Цикл ГТУ без регенерации.
35. Схема и цикл ГТУ с регенерацией.
36. Схема и основной цикл (Цикл Ренкина) паросиловой установки (КЭС).
37. Схема и цикл паротурбинной установки с промежуточным перегревом пара.
38. Схема и цикл паротурбинной установки с регенеративным подогревом питательной воды.
39. Схема и цикл ТЭЦ.
40. Схема и цикл парогазовой установки.
41. Схема и цикл установки с МГД – генератором.
42. Схема и цикл одноконтурной АЭС.
43. Схема двухконтурной АЭС.
44. Схема трехконтурной АЭС.
45. Виды топлив.
46. Состав твердых и жидких топлив.
47. Состав газообразного топлива.
48. Классификация топлив. Условное топливо.
49. Горение топлив. Теоретически необходимое количество воздуха для горения.
50. Состав продуктов горения топлив.
51. Слоевые топки.
52. Камерные топки.
53. Схема парогенератора.
54. Тепловой баланс парогенератора.
55. Теплопроводность. Общие понятия.
56. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок.
57. Конвективный теплообмен. Общие понятия.
58. Теплообмен при свободном движении жидкости.
59. Гидроэнергетические установки.
60. Возобновляемые источники энергии.

Библиографический список

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики.- М.: ИНФРА - М, 2006.- 278 с.
2. Теплотехника: [Текст]: учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: БАСТЕТ, 2010. - 328 с.
3. Техническая термодинамика и теплотехника: [Текст]: учебное пособие / под ред. А. А. Захаровой. - 2-е изд., испр. - М.: Академия, 2008. - 272 с.
4. Селин В. В. Техническая термодинамика [Текст] : учебное пособие / В.В. Селин, В. М. Фокин. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. - 132 с.
5. Примеры и задачи по тепломассообмену [Текст] : [учебное пособие] / В. С. Логинов [и др.]. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань , 2011. - 256 с.