

Содержание

1. Введение.
2. Задание к контрольной работе
3. Термодинамический расчет газотурбинной установки
 - 3.1 Схема ГТУ и описание ее работы
 - 3.2 Расчет термодинамических процессов ГТУ
 - 3.2.1 Данные для расчета процессов
 - 3.2.2 Расчет процесса (с-d) – адиабатное сжатие в турбокомпрессоре
 - 3.2.3 Расчет процесса (d – a) – изобарный процесс подвода теплоты в камере сгорания
 - 3.2.4 Расчет процесс (a – в) – адиабатное расширение рабочего тела (продуктов горения) в газовой турбине
 - 3.2.5 Расчет процесса (в – с) – изобарный процесс отвода теплоты
4. Термодинамический расчет паросиловой установки
 - 4.1 Описание процессов ПСУ
 - 4.2. Определим параметры пара в точках цикла
 - 4.2.1 Расчет процесса (1-2) – адиабатное расширение пара в турбине
 - 4.2.2 Расчет процесса (2-3)- изобарно-изотермический процесс конденсации пара
 - 4.2.3 Расчет процесса (3-4) – изохорный процесс повышения давления
 - 4.2.4 Расчет процесса (4-5) изобарный нагрев воды до температуры кипения
 - 4.2.5 Расчет процесса (5-6)изобарно - изотермический процесс парообразования
 - 4.2.6 Расчет процесса (6-1) - изобарный процесс перегрева пара
 - 4.2.7 Определим работу и термический КПД ПСУ
 - 4.3 Таблица параметров
5. Расчет парогазового цикла
 - 5.1 Принцип работы ПГУ

1. Введение.

Термодинамика изучает закономерности превращения энергии в разнообразных физических и химических процессах. Предметом технической термодинамики является изучение процессов взаимного превращения теплоты и работы в различных тепловых машинах. Поскольку главным элементом с точки зрения превращений энергии в таких машинах служит рабочее тело (например, пар в паровой турбине, дымовые газы в двигателе внутреннего сгорания), то представляют интерес и свойства рабочих тел.

Термодинамика не использует в явном виде известных представлений о молекулярном строении вещества и лишь привлекает их для дополнительного объяснения протекающих процессов или полученных конечных результатов. Основой термодинамики, как науки, являются два закона, полученных на основании теоретических разработок и опыта — первый и второй законы термодинамики. Первый закон термодинамики устанавливает количественную меру при переходе одного вида энергии в другой и является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии. Второй закон термодинамики имеет более ограниченный характер, и приложим к телам, имеющим конечные размеры, но состоящим из большого числа частиц — атомов и молекул. Этот закон устанавливает направление тепловых процессов (не самопроизвольных и самопроизвольных), протекающих в природе, и условия преобразования теплоты в работу.

Применяя основные законы, техническая термодинамика исследует процессы, протекающие в тепловых двигателях, и устанавливает наиболее экономичные условия их работы.

Главной проблемой сегодняшнего дня, которую надо решать немедленно на многочисленных ГРЭС и ТЭЦ России, является создание новых типов технологически оправданных энергетических установок с высоким КПД. Так как особенностью настоящего состояния объектов по выработке электроэнергии и тепла является как большой физический износ энергетического оборудования, так и моральное старение применяемых технологий перспективным в решении этой проблемы является направление, основанное на разработке и внедрении бинарных циклов типа ПГУ. Новейшие парогазовые установки, реализующие этот цикл (ПГУ) имеют КПД на 18-20% выше, чем многочисленные ТЭЦ и ГРЭС на базе ПСУ имеющих КПД 20-30%.

В этой связи в России была разработана Федеральная Целевая Программа «Энергосбережение России», которая определяет для отрасли направление энергосбережения, в числе которых предусмотрено использование бинарных ПГУ, на природном газе и на жидком топливе.

Создание бинарных ПГУ осуществляется на основе уже освоенного тепломеханического оборудования, требующего выявления наивыгоднейших условий комбинирования газовых и паровых циклов, основу которых закладывает техническая термодинамика.

Целью настоящей контрольной работы является термодинамическая оценка эффективности бинарного цикла на основе ПГУ по сравнению с циклами газотурбинных установок – ГТУ и паросиловых установок – ПСУ, которые входят в единый цикл – ПГУ.

2. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ.

Парогазовая установка (см. схему на рис. 1 методических указаний), состоящая из газовых турбин в количестве n штук и мощностью каждая N (МВт) и такого же количества «котлов–камер сгорания», работающих под наддувом центробежных компрессоров, насаженных на вал газовой турбины. Степень сжатия в центробежных компрессорах – λ . Температура воздуха на входе в компрессор – t_c °С., давление P_c (МПа). Температура горячих газов на выходе из «котла–камеры сгорания» в газовую турбину – t_a °С. Давление в пароводяном тракте котла, находящееся внутри камеры сгорания – P_1 МПа, а температура перегретого водяного пара на выходе из парогревателя – t_1 °С. Давление в конденсаторе ПСУ – P_2 МПа.

Рассчитать:

1) – параметры пара и газа в узловых точках соответственно цикла паросиловой ПСУ и газотурбинной ГТУ установок;

- изменение внутренней энергии, количество теплоты и количество работы применительно к термодинамическим процессам циклов паросиловой и газотурбинной установок;

- термический КПД газотурбинного, пароводяного и парогазового циклов.

2) Построить схему ПГУ и дать подробное описание принципа ее работы и назначение элементов.

3) Построить цикл ГТУ в диаграмме Т-S и ПСУ в диаграммах I-S
В задаче принять теплоемкость газа постоянной и равной теплоемкости воздуха.

Исходные данные для расчета

№ варианта	Кол-во ГТУ в ПГУ, шт.	Мощность ГТУ, МВт $N_{ГТУ}$	Степень сжатия в компрессоре ГТУ, λ	Т-ра воздуха на входе в компрессор, °С t_c
81	2	18	4,9	21

Т-ра газа на входе в газовую турбину, °С t_a	Давление в пароводяном тракте котла ПСУ P_1 , МПа	Т-ра перегретого водяного пара на входе в газовую турбину t_1 , °С	Давление в конденсаторе торе ПСУ P_2 , МПа
810	2,1	480	0,01

3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

3.1 Схема ГТУ и описание ее работы

Изобразим схему газотурбинной установки

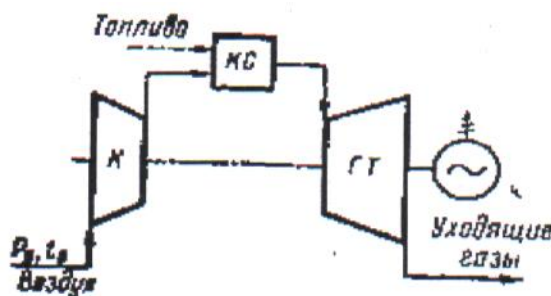


Рис 1 Схема газотурбинной установки

Где К – компрессор
КС – камера сгорания
ГТ – газовая турбина

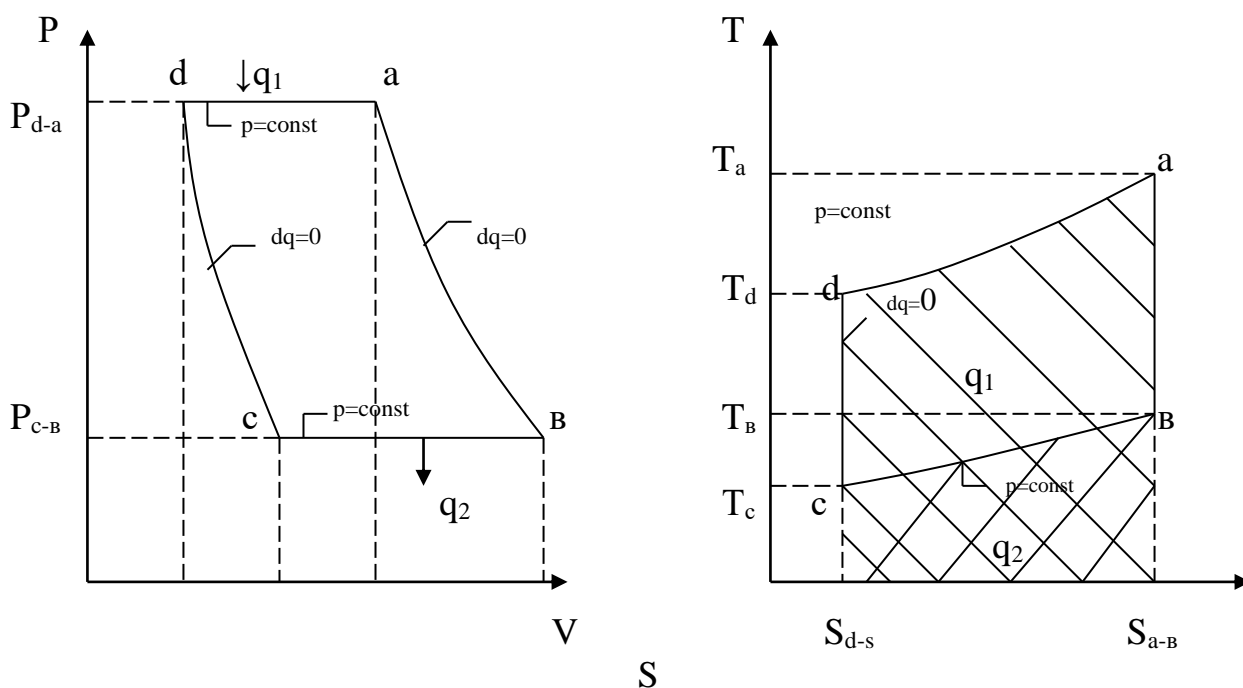


Рис. 2. Цикл ГТУ

Газотурбинная установка ГТУ представляет собой тепловой двигатель, состоящий в простейшем случае (рис.2) из воздушного компрессора К,

камеры сгорания КС и газовой турбины ГТ, приводящей обычно в движение электрический генератор.

Принцип работы такой газотурбинной установки следующий: холодный воздух с параметрами окружающей среды сжимается в компрессоре К и подается в камеру сгорания КС. В нее же подается соответствующее количество топлива. Образовавшиеся продукты сгорания заданной температуры направляются из камеры сгорания в газовую турбину ГТ. Адиабатически расширяясь в турбине, продукты сгорания понижают свою температуру и выбрасываются в атмосферу. Выработанная в газовой турбине кинетическая энергия вращения ротора турбины с помощью генератора превращается в электрическую.

В расчетном ГТУ процессы подачи воздуха, горение топлива и истечение газов непрерывны.

Процессы происходящие в ГТУ

с – d – адиабатное сжатие воздуха в турбокомпрессоре;

d – a – изобарный процесс подвода теплоты q_1 , что соответствует сгоранию топлива в камере горения;

a – b – адиабатное расширение рабочего тела (продукты горения) в газовой турбине;

b – c – изобарный процесс отвода теплоты q_2 , что соответствует выходу газа в окружающую среду.

3.2 Расчет термодинамических процессов ГТУ

3.2.1 Данные для расчета процессов

$P_c = 0,1 \cdot 10^6$ Па - начальное давление в точке “с”

$T_c = 294$ К - температура в точке “с”

т.к. $\lambda = \frac{v_c}{v_d}$ - степень сжатия в компрессоре

3.2.2 Расчет процесса (с-d) – адиабатное сжатие в турбокомпрессоре.

В задании к контрольной работе сказано, что теплоемкость газа принять постоянной и равной теплоемкости воздуха

По справочнику (Н.Л. Стаскевич и др. Справочник по газоснабжению и использованию газа. –Л.: недра, 1990 г.) Определим параметры воздуха.

$R = 281,5$ Дж / кг · К – газовая постоянная

$C_p = 1,008$ кДж / кг · К – изобарная теплоемкость

$C_v = 0,7182$ кДж / кг · К – изохорная теплоемкость

Определим удельный объем воздуха в точке “с” из выражения:

$$P_c \cdot v_c = RT_c,$$

$$v_c = \frac{R \cdot T_c}{P_c} = \frac{281,5 \cdot 294}{0,1 \cdot 10^6} = 0,828 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Рассчитываем параметры в точке “d”

Определим удельный объем воздуха в точке “с” из выражения:

$$\lambda = \frac{v_c}{v_d}, \text{ Выразим удельный расход в точке “d”}$$

$$v_d = \frac{v_c}{\lambda} = \frac{0.828}{4,9} = 0.169 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Давление в точке “d” определим из выражения

$$\left(\frac{v_c}{v_d}\right)^k = \frac{P_d}{P_c}, \text{ Выразим давление в точке “d”}$$

$$P_d = P_c \cdot \left(\frac{v_c}{v_d}\right)^k = 0.1 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.828}{0.169}\right)^{1.4} = 0.93 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Определим температуру в точке “d” из выражения:

$$\left(\frac{v_c}{v_d}\right)^{k-1} = \frac{T_d}{T_c}, \text{ Выразим значение температуры “d”}$$

где $K=1,4$ – показатель адиабаты для двухатомного газа (по условию КР).

Вычислим температуру T_d подставив числовые значения

$$T_d = T_c \cdot \left(\frac{v_c}{v_d}\right)^{k-1} = 294 \cdot \left(\frac{0.828}{0.169}\right)^{1.4-1} = 555,1 \text{ К}$$

Работу в процесса c-d находим из выражения:

$$\ell_{c-d} = C_v \cdot (T_c - T_d),$$

где C_v – теплоемкость в изохорном процессе (по справочнику)

T_c, T_d - температуры начала и конца процесса

$$\ell_{c-d} = 0,7182 \cdot (294 - 555,1) = -187,5 \text{ кДж/кг}$$

Изменение внутренней энергии в адиабатном процессе есть величина обратная совершенной работе, согласно 1-му закону термодинамики.

$$\Delta U = q - \ell$$

$$\Delta U = 187,5 \text{ кДж/кг}$$

Количество теплоты в адиабатном процессе, и изменение энтропии равно нулю

$$\Delta S = 0 : q = 0$$

3.2.3 Расчет процесса (d – a) – изобарный процесс подвода теплоты в камере сгорания

$T_a = 810 + 273 = 1083 \text{ К}$ - температура в точке “a”

$P_d = P_a = 0,93 \cdot 10^6 \text{ Па}$ - давление в точке “a” и в точке “d”

Удельный объем в точке “a” найдем из выражения

$$\frac{v_d}{v_a} = \frac{T_d}{T_a}, \text{ выразим удельный объем в точке “a”}$$

$$v_a = v_d \cdot \frac{T_a}{T_d} = 0.169 \cdot \frac{1083}{555,1} = 0.330 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Определим тепло подведенное в камере сгорания из выражения:

$$q_{d-a} = C_p \cdot (T_a - T_d),$$

где C_p - изобарная теплоемкость (по справочнику).

Вычислим тепло подведенное в камере сгорания

$$q_{d-a} = 1,008 \cdot (1083 - 555,1) = 532,1 \text{ кДж/кг}$$

Определим работу процесса из выражения:

$$\ell_{d-a} = R \cdot (T_a - T_d), \text{ кДж/кг}$$

$$\ell_{d-a} = 0,2815 \cdot (1083 - 555,1) = 148,6 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta U = q - \ell = 532,1 - 148,6 = 383,5 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение энтропии по формуле:

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T_a}{T_d} = 1,008 \cdot \ln \frac{1083}{555,1} = 0,673 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

3.2.4 Расчет процесс (а – в) – адиабатное расширение рабочего тела (продуктов горения) в газовой турбине;

$P_b = P_c = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$ - давление в точке “в”

Определим температуру в точке “в” из выражения:

$$\frac{T_v}{T_a} = \left(\frac{P_v}{P_a} \right)^{\frac{K-1}{K}} \Rightarrow T_v = T_a \cdot \left(\frac{P_v}{P_a} \right)^{\frac{K-1}{K}}$$

Вычислим температуру в точке “в”

$$T_v = 1083 \cdot \left(\frac{0,1 \cdot 10^6}{0,93 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 573 \text{ К}$$

Определим удельный объем в точке “в” из выражения:

$$\nu_v = \frac{R \cdot T_v}{P_v} = \frac{281,5 \cdot 573}{0,1 \cdot 10^6} = 1,61 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Определим работу процесса (а-в) из выражения:

$$\ell_{a-b} = C_v \cdot (T_a - T_v), \text{ кДж/кг}$$

$$\ell_{a-b} = 0,7182 \cdot (1083 - 573) = 366,3 \text{ кДж/кг}$$

Изменение внутренней энергии в адиабатном процессе есть величина обратная совершенной работе

$$\Delta U = - 366,3 \text{ кДж/кг}$$

Количество теплоты в адиабатном процессе, и изменение энтропии равно нулю

$$\Delta S = 0 : q = 0$$

3.2.5 Расчет процесса (в – с) – изобарный процесс отвода теплоты

Значение термодинамических параметров в точках “в” и “с” найдено при рассмотрении других процессов, поэтому нам необходимо найти тепло, работу и изменение внутренней энергии в процессе.

Определим отведенное тепло из выражения:

$$q_{b-c} = C_p \cdot (T_c - T_b),$$

где C_p - изобарная теплоемкость (по справочнику).

T_c, T_b - температуры начала и конца процесса

Вычислим отведенное тепло в процессе:

$$q_{b-c} = 1,008 \cdot (294 - 573) = - 281,2 \text{ кДж/кг}$$

Вычислим работу процесса из выражения:

$$\ell_{b-c} = R \cdot (T_c - T_b), \text{ кДж/кг}$$

$$\ell_{b-c} = 0.2815 \cdot (294 - 573) = -78,5 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение внутренней энергии из выражения:

$$\Delta U = q - \ell = -281,2 + 78,5 = -202,7 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение энтропии

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T_c}{T_b} = 1.008 \cdot \ln \frac{294}{573} = -0,673 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим термический КПД ГТУ

$$\eta_t = \frac{\ell_{a-b} - \ell_{c-d}}{q_{d-a}} = \frac{366,3 - 187,5}{532,1} = 0,336$$

Изобразим цикл в координатах P-V и T-S в масштабе величин, для этого вычислим промежуточные значения величин в точках

Построение диаграммы T-S

Для процесса (c-d) $\Delta S = 0$

Для процесс (d – a) – необходимо найти промежуточные точки

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{600}{555,1} = 0,078 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{700}{600} = 0,155 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{800}{700} = 0,135 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{900}{800} = 0,119 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{1000}{900} = 0,106 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Для процесса (a-b) $\Delta S = 0$

Для процесс (b – c) – необходимо найти промежуточные точки

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{294}{300} = -0,02 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{300}{400} = -0,29 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{400}{450} = -0,119 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{450}{500} = -0,106 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta S = C_p \cdot \ln \frac{T}{T} = 1.008 \cdot \ln \frac{500}{573} = -0,137 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

К

Построения диаграммы P-V

Для процесса сжатия (c-d), определим промежуточные параметры по формуле :

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Где P_1 -начальное давление, Па

P_2 - промежуточное давление, Па

g_1 - начальный удельный объем, м³/кг

g_2 - промежуточный удельный объем, м³/кг

$$P_1 = 0.1 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.828}{0.7} \right)^{1.4} = 0.127 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad P_2 = 0.127 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.7}{0.6} \right)^{1.4} = 0.158 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_1 = 0.158 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.6}{0.5} \right)^{1.4} = 0.204 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad P_1 = 0.204 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.5}{0.4} \right)^{1.4} = 0.278 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_1 = 0.278 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.4}{0.3} \right)^{1.4} = 0.415 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Для процесс (d – a) – давление процесса не меняется

Для процесса (a-b) определим промежуточные параметры

$$P_1 = 0.93 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.330}{0.5} \right)^{1.4} = 0.52 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad P_1 = 0.502 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.5}{0.7} \right)^{1.4} = 0.313 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_1 = 0.313 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.7}{1.0} \right)^{1.4} = 0.19 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad P_1 = 0.19 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1.0}{1.2} \right)^{1.4} = 0.147 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_1 = 0.147 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1.2}{1.4} \right)^{1.4} = 0.118 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

На основании полученных данных строим диаграммы.

4, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

4.1 Описание процессов ПСУ

Принципиальная схема паротурбинной установки показана на рис.3, ее работа осуществляется следующим образом.

При сгорании топлива в топке парогенератора 1 образуются газообразные продукты сгорания, теплота которых передается затем воде и пару через металлическую стенку труб. Вода подогревается до кипения и переходит в сухой насыщенный пар, который при движении через пароперегреватель 2 перегревается. Перегретый пар направляется в паровую турбину 3, где его теплота переходит в механическую работу вращения ротора турбины. В электрическом генераторе, сидящем на одном валу с турбиной, механическая работа переходит в электрическую энергию

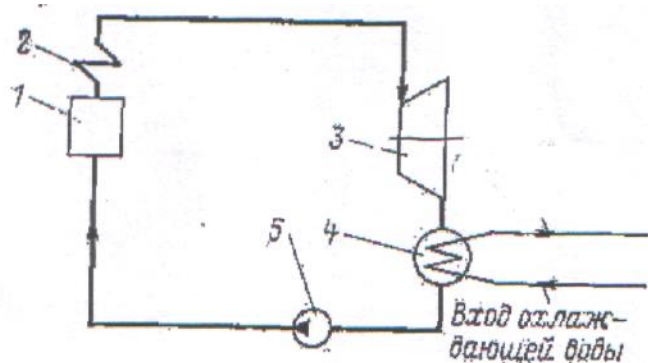


Рис 3 Принципиальная схема паротурбинной установки

Где 1 - парогенератора 4 - конденсатор
 2 - пароперегреватель 5 - насосом
 3 - паровая турбина

После турбины отработавший пар с низким давлением поступает в конденсатор 4, через который прокачивается охлаждающая вода. В конденсаторе пар отдает теплоту воде и конденсируется. Конденсат откачивается насосом 5, снова подается в парогенератор и цикл повторяется.

На рис. 4 изображен теоретический цикл Ренкина для 1 кг перегретого пара в координатах p - q .

Вследствие малой сжимаемости воды процесс в насосе в координатах p - q изображается изохорой 3-4 причем точка -4 находится левее нижней пограничной кривой. Работа повышения давления воды в насосе изображается площадкой 3-7-8-4 которая заштрихована.

Изобарный процесс 4-5-6-1 осуществляется в парогенераторе, причем участок 4-5 соответствует подогреву воды до кипения, участок 5-6 - парообразованию и участок 6-1- перегреву пара в пароперегревателе.

Процесс 1-2 есть адиабатное расширение пара в турбине. Величина располагаемого адиабатного теплопадения этого процесса, равная разности энтальпий $\Delta i = i_1 - i_2$, без учёта энергии затрачиваемой на работу насосной установки в процессе 3-4, определяет количество работы, вырабатываемой ПСУ т.е $\Delta i = l = i_1 - i_2$

Изобарно-изотермический процесс 2-3 протекает в конденсаторе, где отработавший пар полностью конденсируется; состояние конденсата определяется точкой 3, которая находится на нижней пограничной кривой и соответствует точке i'_2 .

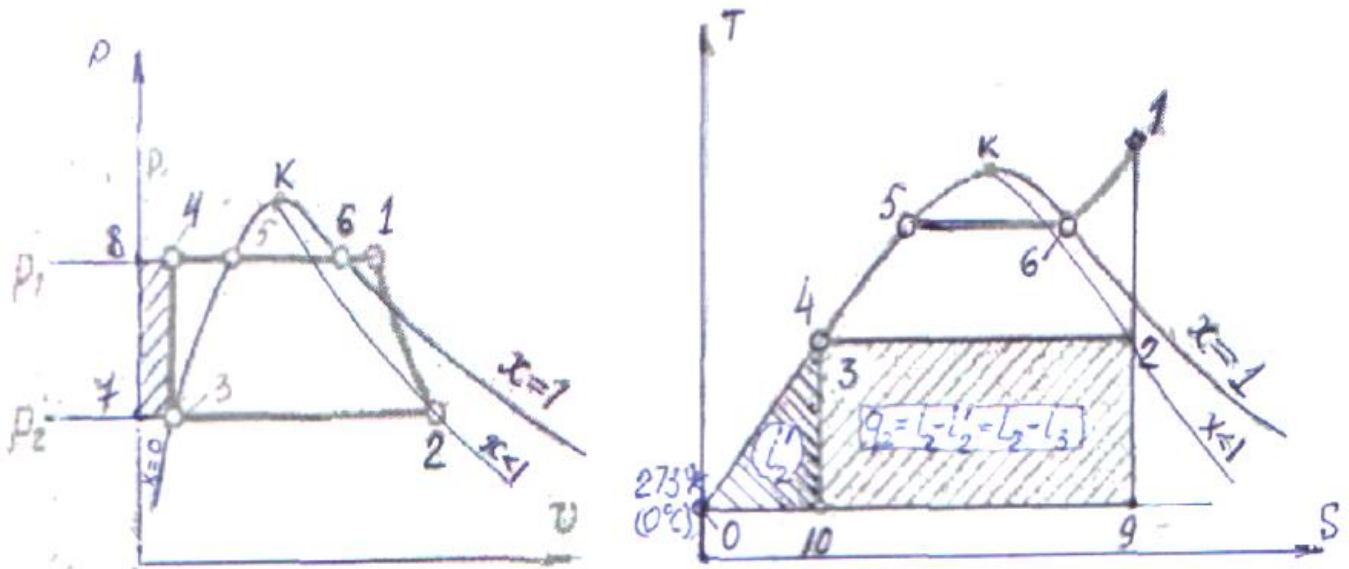


Рис. 4. Цикл Ренкина для перегретого пара в p - v и T - S диаграмме.

На рис 4 изображен цикл ПСУ в координатах T - S ; Здесь точка 3 совмещена с точкой 4, так как при повышении давления воды в насосе ее температура и энтропия практически не изменяются, а изобара подогрева воды совпадает с нижней пограничной кривой. В этой диаграмме отдельные площади изображают: пл. 1-9-0-5-1 — энтальпию перегретого пара i_1 в состоянии 1; пл. 2-9-0-4-2 — энтальпию отработавшего пара i_2 (на входе в конденсатор) состояния 2; 3-10-0-3 — энтальпию конденсата состояния 3 после конденсатора — $i_3 = i'_2$.

4.2. Определим параметры пара в точках цикла

Исходные данные для расчета:

$P_1 = 2.1$ МПа — давление в парогенераторе

$t_1 = 480$ °С — температура перегретого пара после пароперегревателя

$P_2 = 0.01$ МПа — давление пара в конденсаторе

4.2.1 Расчет процесса (1-2) — адиабатное расширение пара в турбине

Определим параметры в точках используя диаграмму I - S :

Точку 1 находим на пересечении изобары с давлением 2,1 МПа и изотермы с температурой 480 °С в области перегретого пара. На оси абсцисс снимаем показания значений энтальпии, а на оси ординат значения энтропии. Т.к. процесс 1-2 адиабатный то точку 2 находим опустив вертикальную прямую при $S = \text{const}$ до пересечения с изобарой P_2 в

области влажного пара. Аналогично находим и остальные точки которые попадают в область диаграммы, точки которые выходят за видимую область стандартной диаграммы находим по таблицам для сухого и насыщенного пара на линии насыщения.

точка 1 (перегретый пар)

$$P_1=2,1 \text{ МПа}, t_1=480 \text{ }^\circ\text{C}, v_1=0,165 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_1=3430 \text{ кДж/кг}, S_1=7,37 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

точка 2 (пар влажный) $x=0,896$

$$P_2=0,01 \text{ МПа}, t_2=45,83 \text{ }^\circ\text{C}, v_2=14 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_2=2330 \text{ кДж/кг}, S_2=7,37 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим работу процесса 1-2 (процесс адиабатный) из выражения:

$$\ell_{1-2} = (i_1 - P_1 \cdot v_1) - (i_2 - P_2 \cdot v_2) = (3430 - 0,165 \cdot 2,1 \cdot 10^3) - (2330 - 14 \cdot 0,01 \cdot 10^3) =$$

$$893,5 \text{ кДж/кг}$$

Изменение внутренней энергии в адиабатном процессе есть величина обратная совершенной работе, согласно 1-му закону термодинамики.

$$\Delta U = q - \ell, \text{ т.к. } q = 0$$

$$\Delta U = - 893,5 \text{ кДж/кг}$$

4.2.2 Расчет процесса (2-3)- изобарно-изотермический процесс конденсации пара

Определим параметры в точках используя диаграмму $I - S$, и таблицы воды на линии насыщения

точка 3 (жидкость)

$$P_3=0,01 \text{ МПа}, t_3=45,83 \text{ }^\circ\text{C}, v_3=0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_3=191,84 \text{ кДж/кг}, S_3=0,6493 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим отводимое тепло по выражению :

$$q = i_3 - i_2 = 191,84 - 2330 = - 2138,16 \text{ кДж/кг}$$

Определим работу процесса из выражения

$$\ell_{2-3} = P \cdot (v_3 - v_2) = 0,01 \cdot 10^3 \cdot (0,001 - 14) = -134 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение внутренней энергии

$$\Delta U = q - \ell = -2138,16 + 134 = - 2004,16 \text{ кДж/кг}$$

4.2.3 Расчет процесса (3-4) – изохорный процесс повышения давления

Параметры в точках определяем по таблицам воды и сухого насыщенного пара на линии насыщения

точка 4 (жидкость)

$$P_4=2,1 \text{ МПа}, t_4=45,83 \text{ }^\circ\text{C}, v_4=0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_4=191,84 \text{ кДж/кг}, S_4=0,6493 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим тепло процесса по формуле

$$q = \Delta U = (i_4 - P_4 \cdot v_4) - (i_3 - P_3 \cdot v_3) = (191,84 - 0,001 \cdot 2,1 \cdot 10^3) - (191,84 - 0,001 \cdot 0,01 \cdot 10^3) = -2,09 \text{ кДж/кг}$$

4.2.4 Расчет процесса (4-5) изобарный нагрев воды до температуры кипения

точка 5 (жидкость)

$$P_5=2,1 \text{ МПа}, t_5=214,43 \text{ }^\circ\text{C}, v_5=0,00096 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_5=917,8 \text{ кДж/кг}, S_5=2,4652 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим подводимое тепло по выражению

$$q = i_5 - i_4 = 917,9 - 191,84 = 725,96 \text{ кДж/кг}$$

Определим работу процесса из выражения

$$\ell_{4-5} = P \cdot (v_5 - v_4) = 2,1 \cdot 10^3 \cdot (0,00096 - 0,001) = -0,080 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение внутренней энергии

$$\Delta U = q - \ell = 725,96 + 0,8 = 726,04 \text{ кДж/кг}$$

4.2.5 Расчет процесса (5-6) изобарно - изотермический процесс парообразования

точка 6 (сухой насыщенный пар) $x=1,0$

$$P_6=2,1 \text{ МПа}, t_6=214,43 \text{ }^\circ\text{C}, v_6=0,095 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$i_6=2795 \text{ кДж/кг}, S_6=6,33 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$$

Определим подводимое тепло по выражению

$$q = i_6 - i_5 = 2795 - 917,8 = 1877,2 \text{ кДж/кг}$$

Определим работу процесса из выражения

$$\ell_{5-6} = P \cdot (v_6 - v_5) = 2,1 \cdot 10^3 \cdot (0,095 - 0,00096) = 179,34 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение внутренней энергии

$$\Delta U = q - \ell = 1877,2 - 179,34 = 1697,86 \text{ кДж/кг}$$

4.2.6 Расчет процесса (6-1) - изобарный процесс перегрева пара

Определим подводимое тепло по выражению

$$q = i_1 - i_6 = 3430 - 2795 = 635 \text{ кДж/кг}$$

Определим работу процесса из выражения

$$\ell_{6-1} = P \cdot (v_1 - v_6) = 2,1 \cdot 10^3 \cdot (0,165 - 0,095) = 147 \text{ кДж/кг}$$

Определим изменение внутренней энергии

$$\Delta U = q - \ell = 635 - 147 = 488 \text{ кДж/кг}$$

4.2.7 Определим работу и термический КПД ПСУ

Определим работу паросиловой установки

$$\ell_{1-2} = i_1 - i_2 = 3430 - 2330 = 1100 \text{ кДж/кг}$$

Определим тепло в ПСУ по формуле

$$q_{1-5} = i_1 - i_4 = 3430 - 191,84 = 3238,16 \text{ кДж/кг}$$

Вычислим термический КПД ПСУ

$$\eta_{\text{псу}} = \frac{\ell_{1-2}}{q_{1-4}} = \frac{1100}{3238,16} = 0,34$$

4.3 Таблица параметров

точка параметр	1	2	3	4	5	6
P, МПа	2,1	0,01	0,01	2,1	2,1	2,1
t, °C	480	45,83	45,83	45,83	214,43	214,43
V, м ³ /кг	0,165	14	0,001	0,001	0,00096	0,095
i, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	3430	2330	191,84	191,84	918,7	2795
S, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	7,37	7,37	0,6493	0,6493	2,4652	6,33
x	перегр пар	0,896	0	0	0	1,0

Построим диаграмму I – S по значениям в точках



5 Расчет парогазового цикла

5.1 Принцип работы ПГУ

Принципиальная схема установки показана на рис.6, работа ее протекает следующим образом. Наружный воздух поступает в турбокомпрессор а сжимается до 0.5—0.6 МПа и подается в топку ВПГ куда поступает также жидкое или газообразное топливо, которое сгорает там при постоянном давлении.

Теплота сгорания топлива частично расходуется на испарение воды и перегрев пара в паровом котле 1, а частично на получение горячих продуктов сгорания (как в камере сгорания газовой турбины). За пароперегревателем 2 парогенератора температура газов снижается до 700-900°С и при давлении 0,5-0,6 МПа покидают ВПГ и направляются в газовую турбину- в . После расширения в ней до атмосферного давления отработанные в проточной части турбины газы направляются в теплообменник 8 , охлаждаются там водой после конденсатора 5 и с температурой окружающей среды выбрасываются в атмосферу.

Выработанный в высоконапорном парогенераторе перегретый пар поступает в паровую турбину 3 , расширяется и совершает полезную работу. Отработанный пар поступает в конденсатор 5 , где полностью конденсируется. Насосом 7 конденсат прокачивается через газовый теплообменник 8 , нагревается до температуры насыщения и в виде питательной воды подаётся снова в парогенератор 1 .

Подогрев воды по изобаре 4-5 происходит за счёт теплоты отработавших газов газовой турбины в, охлаждение которых происходит по изобаре в – с в газовой водяном подогревателе 8 . Воздух и продукты сгорания можно в первом приближении считать идеальным 2^x атомным газом.

- | | | | |
|----|-------------------------|---|---------------------|
| 3 | паровая турбина | c | камера сгорания ВПГ |
| 4 | электрогенератор | d | электрогенератор |
| 5 | конденсатор | | |
| 6 | водоём (река, озеро) | | |
| 7 | питательный насос | | |
| 8 | теплообменник газ- вода | | |
| 9 | горелка (форсунка) | | |
| 10 | воздух | | |

5.2 Определение КПД парогазового цикла

Определяем кратность газа

$$m = \frac{D_{\text{вс}}}{G_{45}}, [\text{кг/кг}]$$

где $D_{\text{вс}}$ [кг/с] – количество газа, проходящее через 1 сек. через теплообменник;

G_{45} [кг/с] – количество воды проходящее за 1 сек. через тот же теплообменник;

$$G_{\text{в}} \cdot C_{\text{п}} \cdot (t_5 - t_4) = D_{\text{г}} \cdot C_{\text{п}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{с}})$$

Количество газа через турбины можно определить по формуле

$$D_{\text{г}} = \frac{N \cdot n}{\ell_{\text{ав}}}, \text{ подставим значение}$$

$$D_{\text{г}} = \frac{18000 \cdot 2}{366,3} = 98,3 \text{ кг/с}$$

Определим расход воды через теплообменник

$$G_{\text{в}} = \frac{D_{\text{г}} \cdot C_{\text{п}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{с}})}{C_{\text{п}} \cdot (t_5 - t_4)}, \text{ подставим значения величин}$$

$$G_{\text{в}} = \frac{98,3 \cdot 1,008 \cdot (573 - 294)}{4,19 \cdot (214,43 - 45,83)} = 40,79 \text{ кг/с}$$

Вычислим кратность газа

$$m = \frac{D_{\text{г}}}{G_{\text{в}}} = \frac{98,3}{40,79} = 2,41$$

Вычислим термический КПД ПСУ

$$\eta_{\text{ПСУ}} = \frac{\ell_{1-2}}{q_{1-4}} = \frac{1100}{3430 - 191,84} = 0,34$$

Определим работы и количество тепла в цикле ПГУ

$$\ell_{\text{ГТУ}}^{\text{эф}} = (\ell_{\text{ГТУ}} - \ell_{\text{КОМ}}) \cdot m = (\ell_{\text{а-в}} - \ell_{\text{с-д}}) \cdot m$$

$$\ell_{\text{ПСУ}} = 1100 \text{ кДж/кг}$$

Вычислим $\ell_{\text{ГТУ}}^{\text{эф}}$, подставив значения

$$\ell_{\text{ГТУ}}^{\text{эф}} = (366,3 - 185,9) \cdot 2,486 = 448,5 \text{ кДж/кг}$$

Работа в цикле ПГУ будет равна

$$\ell^{ПГУ} = \ell_{ГТУ}^{эф} + \ell_{ПСУ} = 448,5 + 1100 = 1548,5 \text{ кДж/кг}$$

Определим количество тепла в ПГУ

$$q_{1ГТУ} = q_{d-a} \cdot m = 537,6 \cdot 2,486 = 1336,5 \text{ кДж/кг}$$

$$q_{1ПСУ} = 2511,3 \text{ кДж/кг}$$

Вычислим общее тепло ПГУ

$$q_1^{ПГУ} = q_{1ГТУ} + q_{1ПСУ} = 1336,5 + 2511,3 = 3847,8 \text{ кДж/кг}$$

Вычислим термический КПД ГТУ

$$\eta_t = \frac{\ell_{ГТУ}^{эф}}{q_{1ГТУ}} = \frac{448,5}{1336,5} = 0,366$$

Вычислим термический КПД ПГУ

$$\eta_{ПГУ} = \frac{\ell^{ПГУ}}{q_1^{ПГУ}} = \frac{1548,5}{3847,8} = 0,402$$

Вычислим улучшение термического КПД между $\eta_{ПГУ}$ и $\eta_{ПСУ}$

$$\Delta\eta = \frac{\eta_{ПГУ} - \eta_{ПСУ}}{\eta_{ПСУ}} = \frac{0,402 - 0,34}{0,34} = 0,184$$

Определим расход топлива

$$B = \frac{N \cdot n}{\eta_{ПГУ} \cdot Q_m^H} = \frac{18 \cdot 10^6 \cdot 2}{0,402 \cdot 41454 \cdot 10^3} = 2,16 \text{ кг/с}$$

Где Q_m^H - низшая теплота сгорания топлива, принимает газ мазут М 40 с теплотой сгорания равной 41454 кДж/кг.

Расчет цикла ПГУ можно считать законченным.

Вывод: При вводе в паросиловую установку газовой турбины произошло улучшение термического КПД на 18,4 %, на такой же процент произойдет годовая экономия топлива.