

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕРМОДИНАМИКА.....	6
1.1. Примеры расчёта тепловых двигателей	6
1.1.1. Циклы двигателей внутреннего сгорания	6
1.2. Цикл паросиловой установки.....	11
1.3. Влажный воздух. Цикл парокомпрессионной холодильной машины	13
Расчёт цикла парокомпрессионной машины	17
2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА	18
2.1. Физические основы теории теплопередачи.....	18
2.2. Основные расчётные уравнения физического подобия для различных теплообменных поверхностей и характера движения жидкости и газа.....	21
2.2.1. Теплоотдача при свободном движении жидкости.....	21
2.2.2. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости	23
2.3. Теплообменные аппараты.....	26
2.3.1. Основные положения.....	26
2.3.2. Примеры расчётов теплообменных аппаратов.....	28
3. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ...	45
Библиографический список	47
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	48
Приставки дольных единиц измерения величин	49
Приставки кратных единиц измерения величин	49

ВВЕДЕНИЕ

Теплотехника — общетехническая дисциплина, изучающая методы и способы использования тепловой энергии и базирующаяся на двух теоретических основах: термодинамике и тепломассообмене.

Термодинамика — наука, изучающая процессы взаимного преобразования тепловой энергии в механическую работу и принципы действия машин и аппаратов, где происходят эти процессы.

Тепломассообмен — наука, изучающая перенос тепловой энергии в пространство. Включает в себя три вида теплообмена: теплопроводность, конвективный теплообмен и тепловое излучение.

Теплопередача — сложный теплообмен (комбинация нескольких видов теплообмена), а именно процесс переноса тепловой энергии от одной жидкой или газообразной среды к другой через разделяющую стенку.

1. ТЕРМОДИНАМИКА

1.1. Примеры расчёта тепловых двигателей

1.1.1. Циклы двигателей внутреннего сгорания

Теоретический цикл работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) включает в себя процессы: 1–2. Сжатие рабочего тела; 2–3–4. Подвод теплоты (изохорный или изобарический); 4–5. Расширение рабочего тела; 5–1. Отвод теплоты (изохорный) — рис. 1.1–1.3.

Пример расчёта.

Рассчитать термодинамические циклы ДВС для следующих случаев:

1. С подводом теплоты по изохоре (цикл Н. Отта).
2. С подводом теплоты по изобаре (цикл Р. Дизеля).
3. Со смешанным подводом теплоты (по изохоре и изобаре) — цикл Г. Тринклера.

Исходные значения характеристик циклов

Для каждого цикла определить термический КПД двигателя.

Параметры в точке 1 на графике: $t_1 = 13^\circ\text{C}$; $P_{\text{изб}} = 10$ кПа; $P_1 = P_{\text{изб}} + B = 110$ кПа; $B = 100$ кПа.

Параметры в точке 5 на графике: $P_5 = 2P_1 = 220$ кПа.

Степень сжатия $\varepsilon = V_1/V_2$: ц. Отта $\varepsilon = 6$; ц. Дизеля и ц. Тринклера $\varepsilon = 22$.

Степень повышения давления в камере сгорания ДВС $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$.

$\lambda = 2,3$ ц. Отта и ц. Тринклера,

для ц. Дизеля принять $\lambda = 1$.

Степень предварительного расширения у ц. Дизеля

$$\rho_d = \frac{V_4}{V_3} = 3,6.$$

Степень предварительного расширения у ц. Тринклера

$$\rho_T = 0,5\rho_d = \frac{V_4}{V_3} = 1,8.$$

Для ц. Отто $\rho_o = 1$, так как $V_4 = V_3$.

Рассчитать расход топлива в килограммах для автомобиля, в котором установлены двигатели, работающие по трём вариантам цикла, а именно:

- 1) Н. Отта;
- 2) Р. Дизеля;
- 3) Г. Тринклера.

Масса автомобиля $m = 3000$ кг;

подъём дороги $h = 330$ м;

длина пути $S = 13$ км;

сила трения качения $F_{\text{тр}} = 0,02 \cdot mg = 588$ Н;

теплоту сгорания топлива для всех типов двигателей принять:

$$Q_p^H = 42\,000 \text{ кДж/кг};$$

работа, совершаемая двигателем автомобиля,

$$A = F_{\text{тр}}S + mgh = 588 \cdot 13\,000 + 3000 \cdot 9,8 \cdot 330 = 17\,346\,000 \text{ Дж};$$

расход топлива

$$B = A / (\eta_t \eta_m Q_p^H), \text{ кг,}$$

где $\eta_m = 0,8$ механический КПД двигателя.

Изобразить цикл в $P-V$ координатах (индикаторная диаграмма) в масштабе для ДВС, работающего по трём вариантам, то есть по циклам Н. Отто, Р. Дизеля, Г. Тринклера.

Определить значения параметров рабочего тела $P_i; T_i$; во всех узловых точках цикла.

Процессы сжатия и расширения (рабочий ход) принять адиабатными, т.е. $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$ или $T_1 V_1^{n-1} = T_2 V_2^{n-1}$, где инд. 1 — начало, а инд. 2 — окончание процесса.

В любой точке цикла справедливо уравнение состояния идеального газа:

$$PV = RT/\mu,$$

где $R = 8,314 \text{ кДж/кгК}$; $\mu = 29$.

Цикл Отто:

Термический КПД

$k = 1,4$ — показатель адиабаты

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{6^{1,4-1}} = 0,52.$$

Расход топлива

$$B = A / (\eta_t \eta_m Q_p^H) = 17\,346\,000 / (0,52 \cdot 0,8 \cdot 42\,000\,000) = 0,999 \text{ кг.}$$

Цикл Дизеля:

Термический КПД

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho_d^k - 1}{k(\rho_d - 1)\epsilon^{k-1}} = 1 - \frac{3,6^{1,4} - 1}{1,4 \cdot (3,6 - 1) \cdot 22^{1,4-1}} = 0,61.$$

Расход топлива

$$B = A / (\eta_t \eta_m Q_p^H) = 17\,346\,000 / (0,61 \cdot 0,8 \cdot 42\,000\,000) = 0,85 \text{ кг.}$$

Цикл Тринклера:

Термический КПД

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho_T^k - 1}{((\lambda - 1) + \lambda k(\rho_T - 1))\epsilon^{k-1}} = 1 - \frac{2,3 \cdot 1,8^{1,4} - 1}{(1,3 + 2,3 \cdot 1,4 \cdot 0,8) \cdot 22^{1,4-1}} = 0,68.$$

Расход топлива

$$B = A / (\eta_t \eta_m Q_p^H) = 17\,346\,000 / (0,68 \cdot 0,8 \cdot 42\,000\,000) = 0,7 \text{ кг.}$$

Расчёт параметров рабочего тела во всех точках цикла для трёх вариантов и построение в масштабе индикаторных диаграмм в $P-V$ координатах.

Цикл Отто:

Процесс 1-2: так как $PV^n = \text{const} \Rightarrow P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$, $n = k$.

Показатель адиабаты:

$k = 1,3$ — для многоатомных газов;

$k = 1,4$ — для двухатомных газов.

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = P_1 \epsilon^k = 110 \cdot 6^{1,4} = 1027 \text{ кПа},$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{\mu P_1} = \frac{8,314 \cdot 286}{29 \cdot 110} = 0,82 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\epsilon} = \frac{0,82}{6} = 0,14 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1},$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\epsilon^{n-1}} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{k-1} = 489,6 \text{ К}.$$

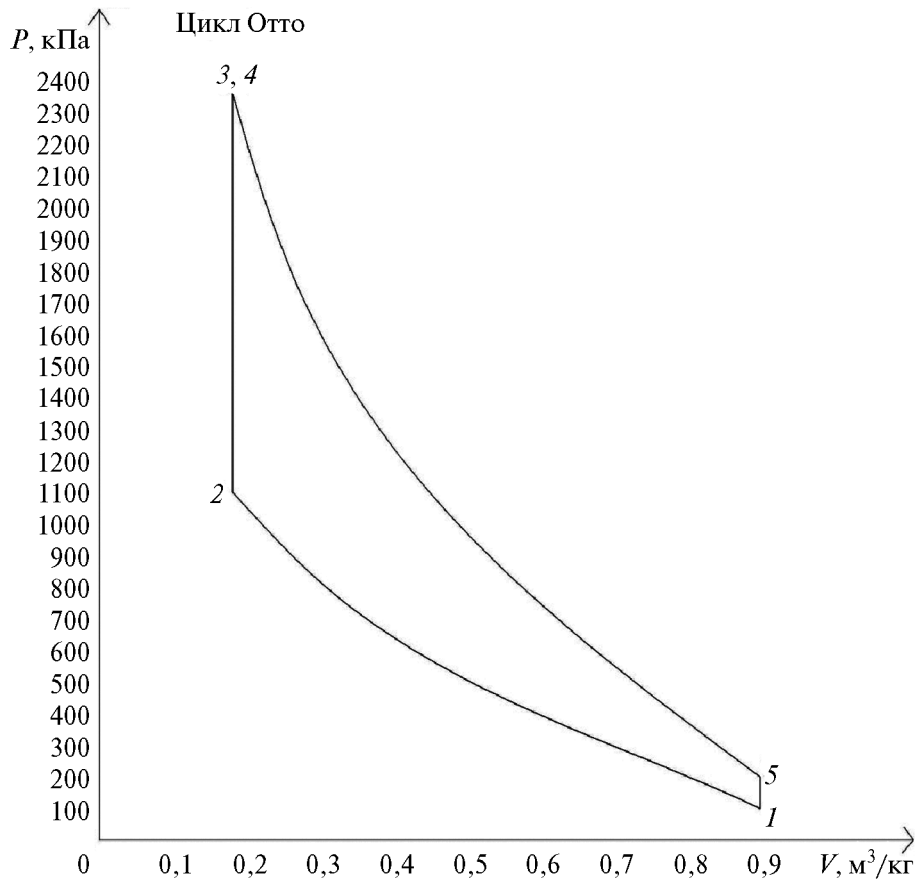


Рис. 1.1. Индикаторная диаграмма двигателя, работающего по циклу Отто (с подводом теплоты при $V = \text{const}$)

Процесс 2–3(4): так как $\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_{3,4}}{T_{3,4}} \Rightarrow \frac{T_{3,4}}{T_2} = \frac{P_{3,4}}{P_2}$, где $\frac{P_{3,4}}{P_2} = \lambda$,

$$T_{3,4} = T_2 \lambda = 489,6 \cdot 2,3 = 1126,08 \text{ К},$$

$$P_{3,4} = P_2 \lambda = 1027 \cdot 2,3 = 2362,1 \text{ кПа},$$

$$V_2 = V_{3,4} = 0,14 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процесс 3(4)–5: так как $\frac{P}{T} = \text{const}$,

$$V_1 = V_5 = 0,82 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$P_5 = 220 \text{ кПа},$$

$$T_5 = T_1 \cdot \lambda = 286 \cdot 2,3 = 657,8 \text{ К}.$$

Цикл Дизеля:

Процесс 1–2, 3: так как $PV^n = \text{const} \Rightarrow P_1 V_1^n = P_{2,3} V_{2,3}^n$,

$$P_{2,3} = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{2,3}} \right)^n = P_1 \epsilon^n = 110 \cdot 22^{1,4} = 5560 \text{ кПа},$$

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_{2,3}} \Rightarrow V_{2,3} = \frac{V_1}{\epsilon} = \frac{0,82}{22} = 0,037 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1},$$

$$\frac{T_1}{T_{2,3}} = \frac{1}{\epsilon^{n-1}} \Rightarrow T_{2,3} = T_1 \cdot \epsilon^{k-1} = 722,9 \text{ К}.$$

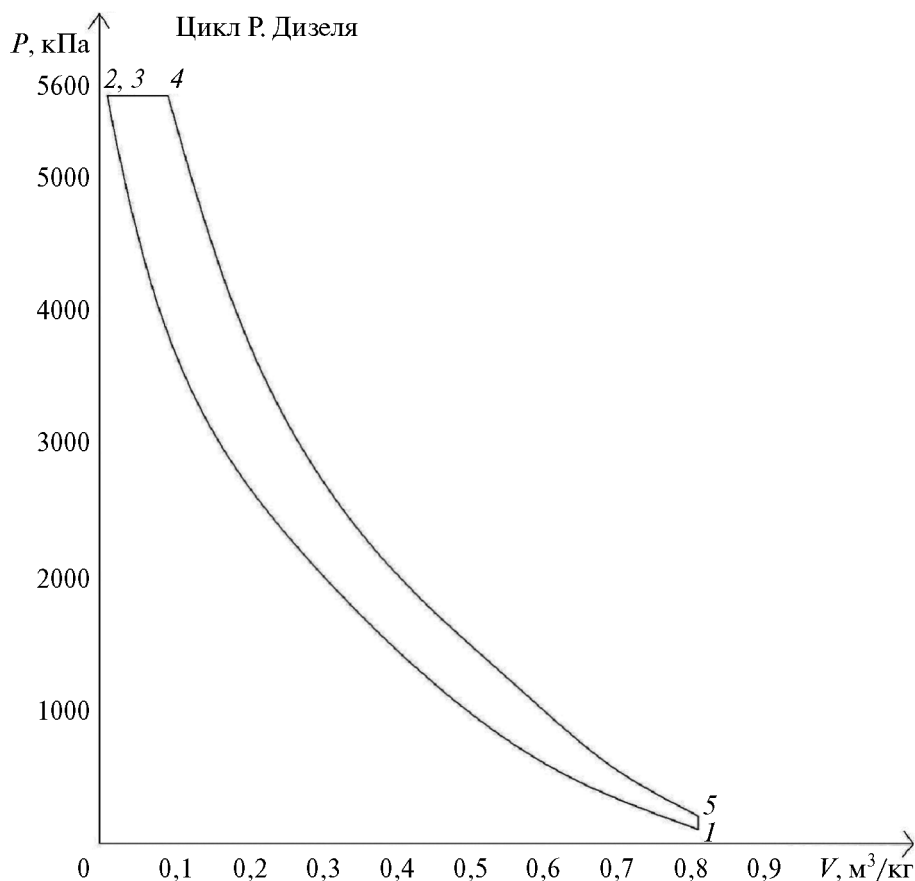


Рис. 1.2. Индикаторная диаграмма двигателя, работающего по циклу Дизеля (с подводом теплоты при $P = \text{const}$)

Процесс 2, 3–4: так как $\frac{V}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{V_{2,3}}{T_{2,3}} = \frac{V_4}{T_4} \Rightarrow \frac{T_4}{T_{2,3}} = \frac{V_4}{V_{2,3}} = \rho_d$,

$$T_4 = T_{2,3}\rho_d = 722,9 \cdot 3,6 = 2602,44 \text{ К},$$

$$V_4 = \rho_d V_{2,3} = 3,6 \cdot 0,037 = 0,1332 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процесс 4–5: $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \Rightarrow \frac{P_5}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^n$,

$$V_1 = V_5 = 0,82 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$P_5 = 220 \text{ кПа},$$

$$P_5 V_5 = \frac{RT_5}{\mu},$$

$$T_5 = 220 \cdot 0,82 \cdot 29 / 8,314 = 629 \text{ К}.$$

Цикл Тринклера:

Процесс 1–2: так как $PV^n = \text{const} \Rightarrow P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$,

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = P_1 \varepsilon^n = 110 \cdot 22^{1,4} = 5560 \text{ кПа},$$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon} = \frac{0,82}{22} = 0,037 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{n-1}} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} = 722,9 \text{ К}.$$

Процесс 2–3: так как $\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \Rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda = 2,3$,

$$P_3 = P_2 \lambda = 5560 \cdot 2,3 = 12\,788 \text{ кПа},$$

$$T_3 = T_2 / \lambda = 722,9 / 2,3 = 314,3 \text{ К}.$$

Процесс 3–4: так как $\frac{V}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4} \Rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3} = \rho_d = 0,9$,

$$T_4 = T_3 \rho_d = 314,3 \cdot 1,8 = 565,74 \text{ К},$$

$$V_4 = \rho_d V_3 = 1,8 \cdot 0,037 = 0,0666 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процесс 4–5:

$$V_1 = V_5 = 0,82 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$P_5 = 220 \text{ кПа},$$

$$P_5 V_5 = \frac{RT_5}{\mu},$$

$$T_5 = 220 \cdot 0,82 \cdot 29 / 8,314 = 629 \text{ К}.$$

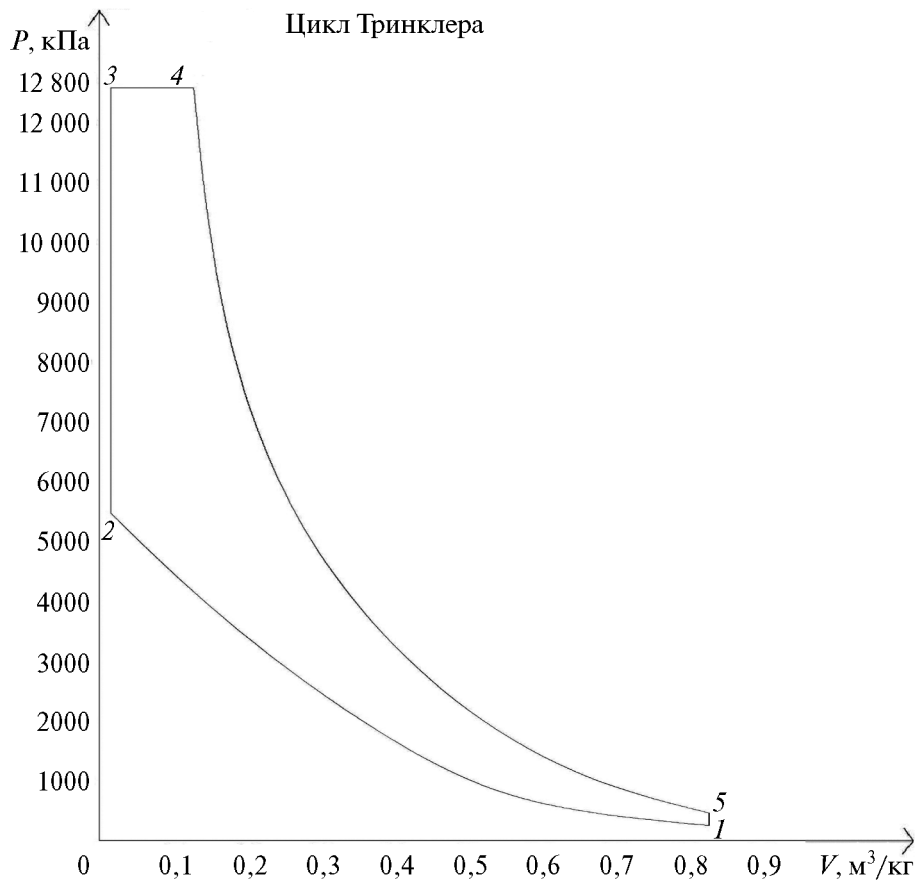


Рис. 1.3. Индикаторная диаграмма двигателя, работающего по циклу Тринклера (со смешанным подводом теплоты при $V = \text{const}$ и при $P = \text{const}$)

Примечание. Процессы, показанные на рис. 1.1–1.3, в реальности могут отличаться, так как носят политропный характер.

1.2. Цикл паросиловой установки

Пример выполнения расчётного задания.

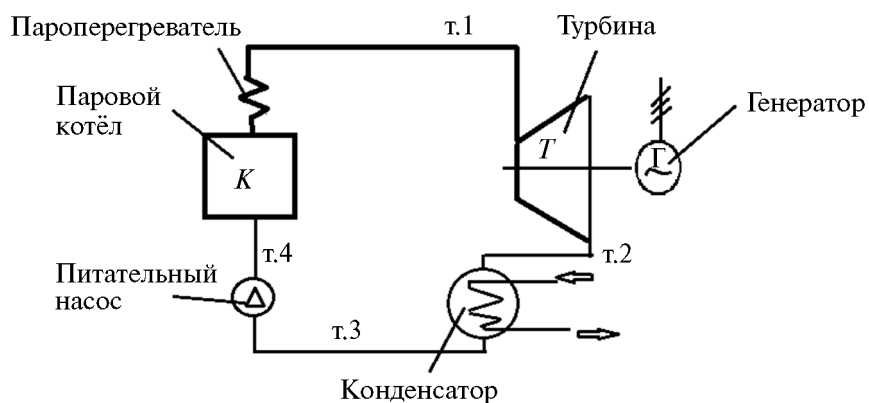


Рис. 1.4. Схема паросиловой установки

Паросиловая установка (рис. 1.4) работает по циклу Ренкина с параметрами пара перед турбиной P_1 и t_1 , давление в конденсаторе P_2 . Мощность на валу генератора N_e . Необратимые процессы в турбине приводят к увеличению энтропии пара на $\Delta S = 0,25$, кДж/(К · кг).

Требуется определить:

- термический КПД паросиловой установки η_r ;
- расход пара через турбину D , кг/ч;
- расход топлива (газа) для получения паровом котле B , м³/ч, если КПД котла — $\eta_k = 0,9$, $P_1 = 46$ бар, $t_1 = 436$ °С, $P_2 = 0,18$ бар, $N = 101\,300$ кВт.

Для расчёта используем i - S -диаграмму водяного пара (рис. 1.5).

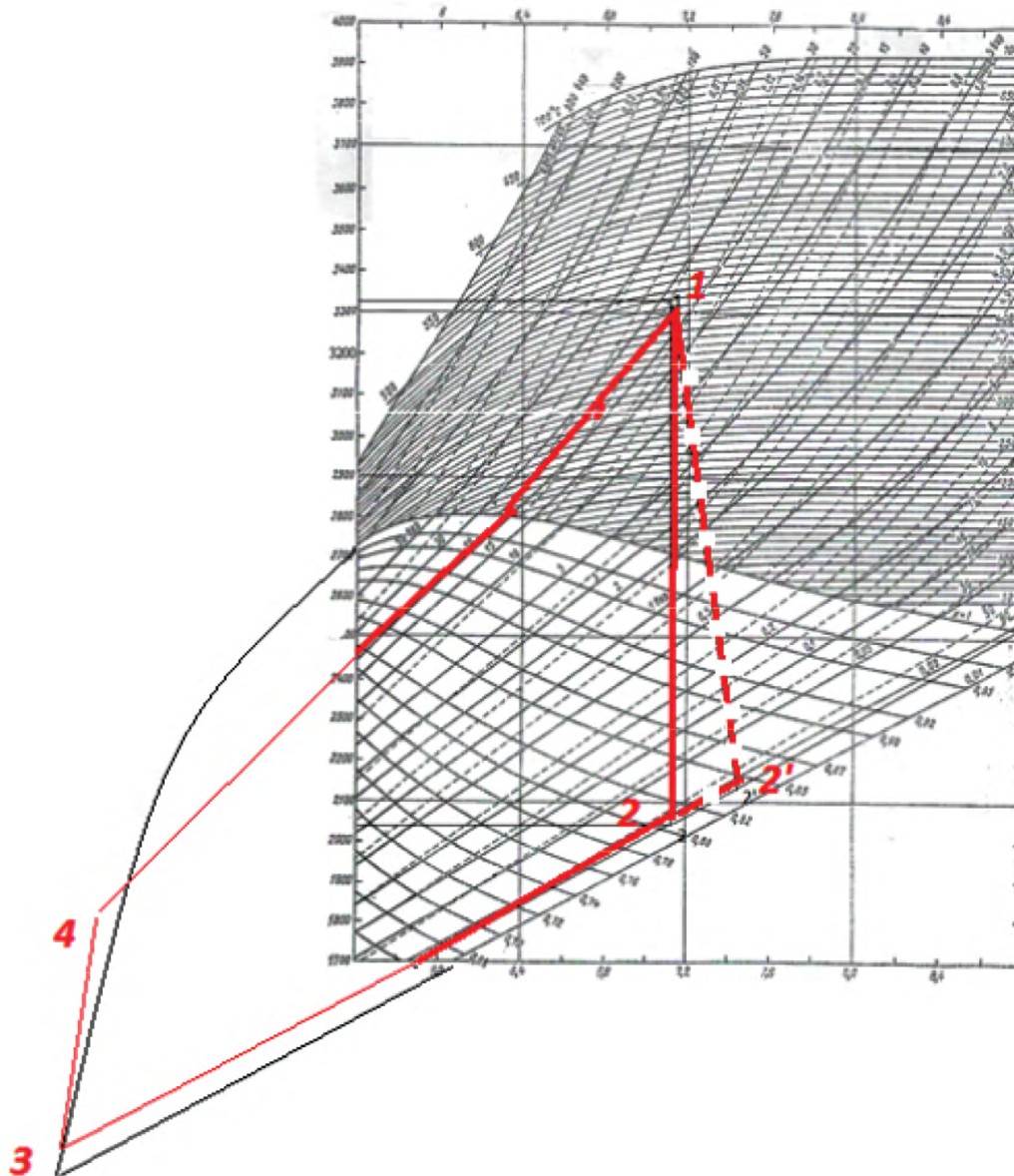


Рис. 1.5. Изображение цикла Ренкина в H - S -диаграмме водяного пара

Энтальпии пара до и после турбины.

$$h_1 = 3330 \text{ Дж/кг,}$$

$$h_2 = 2150 \text{ Дж/кг,}$$

$$h_{2'} = 2125 \text{ Дж/кг,}$$

$$h_3 = Ct_3 = 4,2 \cdot 20 = 84 \text{ Дж/кг},$$

$$t_3 = t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Термический КПД

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} = \frac{3330 - 2150}{3330 - 84} = 0,36,$$

$$Q_{4-1} = \frac{N}{\eta_t \eta_{oi} \eta_k} = \frac{101\,300}{0,36 \cdot 1,02 \cdot 0,9} = 306\,523,8 \text{ кВт}.$$

Относительный индикаторный КПД

$$\eta_{oi} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2} = \frac{3330 - 2200}{3330 - 2150} = 0,95.$$

Расход топлива (газа)

$$B = \frac{N_e \cdot 3600}{Q_H^P \cdot \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_k} = \frac{101\,300 \cdot 3600}{32\,000 \cdot 0,36 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 3448,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Где низшая рабочая теплота сгорания газа

$$Q_H^P = 32\,000 \text{ кДж/м}^3.$$

Удельный расход пара, кг/кДж:

$$d = \frac{1}{(h_1 - h_2)} = \frac{1}{(3330 - 2150)} = 0,00085.$$

Расход пара

$$D_c = d \cdot N_e = 0,00085 \cdot 101\,300 = 85,8 \text{ кг/с},$$

или

$$D_{\text{час}} = D_c \cdot 3,600 = 309 \text{ т/ч}.$$

1.3. Влажный воздух. Цикл парокомпрессионной холодильной машины

Пример варианта расчётного задания.

В спортивном помещении размером $a \times b \times h$ работает центральный кондиционер, который охлаждает приточный воздух температурой t_1 и относительной влажностью ϕ_1 . Кратность воздухообмена в помещении K_B , 1/ч. Внутренний воздух должен иметь параметры t_3 , ϕ_3 .

Через наружные световые ограждения поступает теплота в количестве $Q_H = q_n ah / 1000$, кВт, где $q_n = 100 \text{ Вт/м}^2$.

Внутренние источники теплоты: спортсмены в количестве n_q .

Удельное тепловыделение от людей $q_q = 300 \text{ Вт/чел}$.

$$Q_{\text{вн}} = q_q n_q / 1000, \text{ кВт}.$$

Требуется рассчитать систему кондиционирования на основе парокомпрессионной холодильной машины рис. 1.6. Для расчётов использовать $i-d$ -диаграмму влажного воздуха (рис. 1.7) и $P-h$ -диаграмму фреона R-22 (рис. 1.8).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru