

Значения P_H и v'' при температуре воздуха t берутся из таблицы водяного пара, ϕ – по данным психрометра, P – по барометру.

Влагосодержание – представляет собой отношение массы пара к массе сухого воздуха:

$$d = M_{\Pi} / M_B, \quad (6.14)$$

где: M_{Π} , M_B – соответственно массы пара и сухого воздуха во влажном воздухе.

Связь между влагосодержанием с относительной влажностью:

$$d = 0,622 \phi \cdot P_H / (P - \phi \cdot P_H). \quad (6.15)$$

Газовая постоянная:

$$R = 8314/M = 8314/(28,95 - 10,934 \cdot \mu \cdot P_H/P). \quad (6.16)$$

Объем влажного воздуха, приходящегося на 1 кг сухого воздуха:

$$V_{ВЛВ} = R \cdot T/P. \quad (6.17)$$

Удельный объем влажного воздуха:

$$v = V_{ВЛВ}/(1 + d). \quad (6.17)$$

Удельная массовая теплоемкость паровоздушной смеси:

$$c_{см} = c_B + d \cdot c_{\Pi}. \quad (6.18)$$

Тема 7. Термодинамические циклы.

7.1. Циклы паротурбинных установок (ПТУ).

Паротурбинная установка является основой современных тепловых и атомных электростанций. Рабочим телом в таких установках является пар какой-либо жидкости (водяной пар). Основным циклом в паротурбинной установке является цикл Ренкина. Принципиальная схема ПТУ показана на рис.7.1 и процесс получения работы происходит в следующем образом. В паровом котле (1) и в перегревателе (2) теплота горения топлива передается воде. Полученный пар поступает в турбину (3), где происходит преобразование теплоты в механическую работу, а затем в электрическую энергию в электрогенераторе (4). Отработанный пар поступает в конденсатор (5), где отдает теплоту охлаждающей воде. Полученный конденсат насосом (6) отправляется в питательный бак (7), откуда питательным насосом (8) сжимается до давления, равного в котле, и подается через подогреватель (9) в паровой котел (1).

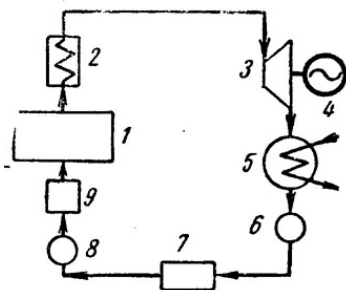


Рис. 7.1.

Рассмотрим цикл Ренкина на насыщенном паре. Схема установки отличается от предыдущей схемы тем, что в данном случае будет отсутствовать перегреватель. Поэтому на турбину будет поступать насыщенный пар. На рис.7.2,а изображен цикл Ренкина в TS-диаграмме.

Процессы:

3-1 – подвод теплоты от источника в воде q_1 , состоит из двух процессов: 3-3' - кипение воды в котле;
 3'-1 – испарение воды в пар при постоянном давлении;
 1-2 – в турбине пар расширяется адиабатически;
 2-2' - пар конденсируется и отдает тепло q_2 охлаждающей воде;
 2'-3 – конденсат адиабатически сжимается.

Термический к.п.д. цикла Ренкина определяется по уравнению:

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1 \cdot (7.1)$$

Так как: $q_1 = h_1 - h_3$; $q_2 = h_2 - h_2'$,

то

$$\eta_t = [(h_1 - h_2) - (h_3 - h_2')] / (h_1 - h_3) = l / q_1. (7.2)$$

Полезная работа цикла равна разности работ турбины и насоса:

$$l = l_T - l_H ,$$

где: $l_T = h_1 - h_2$, $l_H = h_3 - h_2'$.

В основном $l_T \gg l_H$, тогда считая $h_3 = h_2'$, можно записать:

$$\eta_t = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_3) \cdot (7.3)$$

Теоретическую мощность турбины рассчитывают по формуле:

$$N_T = (h_1 - h_2) \cdot D / 3600 , [Вт] (7.4)$$

где: $D = 3600 \cdot m$ – часовой расход, [кг/ч]

m – секундный расход, [кг/с]

Цикл Ренкина на перегретом паре применяется для увеличения термического к.п.д. цикла ПТУ. Для этого перед турбиной ставят перегреватель 2 (Рис.7.1), который увеличивает температуру и давление пара. При этом возрастает средняя температура подвода теплоты в цикле. Диаграмма цикла показана на рис.7.2,б Формулы расчета l , η_t , N_T остаются без изменений.

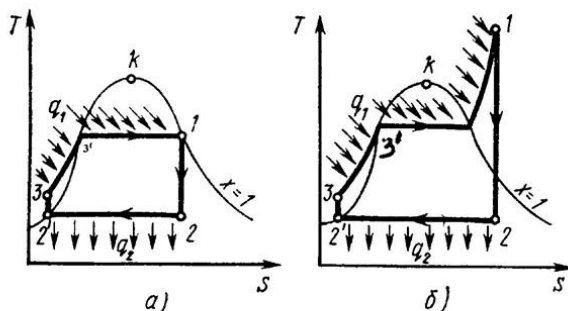


Рис. 7.2. Цикл Ренкина на насыщенном (а) и перегретом (б) паре

7.2. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания подразделяют на три группы:

- с подводом теплоты при постоянном объеме (карбюраторные ДВС);
- с подводом теплоты при постоянном давлении (компрессорные дизели);
- со смешанным подводом теплоты при постоянном объеме (безкомпрессорные дизели);

Основными характеристиками или параметрами любого цикла теплового двигателя являются следующие безразмерные величины:

степень сжатия (отношение удельных объемов рабочего тела в начале и конце сжатия)

$$\varepsilon = v_1 / v_2, \quad (7.5)$$

степень повышения давления (отношение давлений в конце и в начале изохорного процесса подвода теплоты)

$$\lambda = P_3 / P_2, \quad (7.6)$$

степень предварительного расширения или степень изобарного расширения (отношение удельных объемов в конце и в начале изохорного процесса подвода теплоты)

$$\rho = v_3 / v_2. \quad (7.7)$$

1). Рассмотрим цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме на примере четырехтактного двигателя.

Диаграмма реального двигателя представлена на рис.7.3.

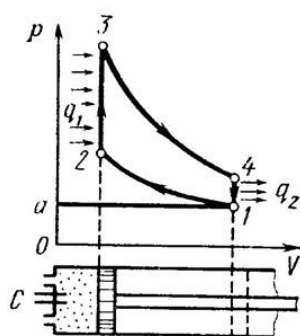


Рис. 7.3. Цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме

а-1 (1 такт) – в цилиндр через всасывающий клапан поступает смесь воздуха и паров горючего (нетермодинамичемкий процесс);

1-2 (2 такт) – адиабатное сжатие (повышается температура);

2-3 – сгорание горючей смеси, давление быстро возрастает при постоянном объеме (подвод теплоты q_1);

3-4 (3 такт) – адиабатное расширение (рабочий процесс, совершается полезная работа);

4-а – открывается выхлопной клапан и отработанные газы покидают цилиндр давление цилиндра падает (отводится тепло q_2).

1-а (4 такт) – выталкивание оставшихся в цилиндре газов.

Затем процесс повторяется.

Описанный процесс является необратимым (наличие трения, химической реакции в рабочем теле, конечные скорости поршня, теплообмен при конечной разности температур и т.п.).

Для анализа теории тепловых машин термодинамика рассматривает идеальные циклы обратимые циклы. Диаграмма идеального процесса двигателя внутреннего сгорания показана на рис.7.4.

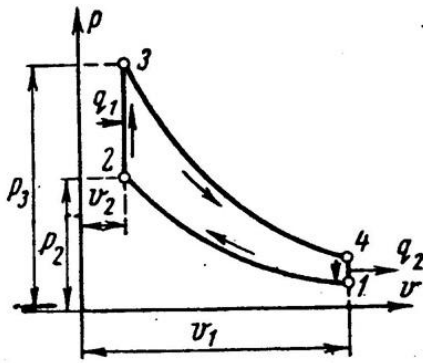


Рис. 7.4.

Из этой диаграммы выводится формула для термического к.п.д. цикла с подводом теплоты при постоянном объеме, который имеет следующий вид:

$$\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^\gamma, \quad (7.8)$$

где: ε – степень сжатия (основной показатель работы двигателя, чем выше ε , тем выше экономичность ДВС);

γ – показатель адиабаты.

2). Идеальный цикл ДВС со смещанным подводом теплоты при постоянном объеме (безкомпрессорные дизели). Диаграмма цикла показана на рис.7.5.

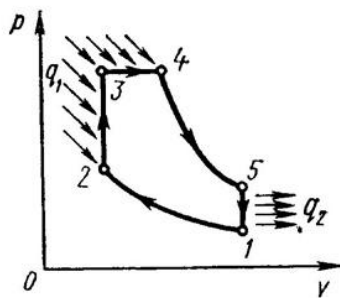


Рис. 7.5. Цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты

1-2 - чистый воздух с температурой T_1 сжимается до температуры T_2 , которая больше температуры воспламенения топлива. В этот момент в цилиндр через форсунки под давлением впрыскивается топливо.

2-3 – горючая смесь самовоспламеняется и к рабочему телу подводится тепло q_1' , давление повышается до P_3 .

3-4 – поршень перемещается обратно, поступление и сгорание топлива продолжается при постоянном давлении и подводится тепло q_1'' .

4-5 – поршень продолжает перемещаться в нижнюю мертвую точку, давление падает (адиабатное расширение);

5-1 – процесс отвода теплоты q_2 при постоянном объеме (через выпускной клапан покидают отработанные газы).

Термический к.п.д. цикла определяется по формуле:

$$\eta_t = \lambda - (\lambda \cdot \rho^\gamma - 1) / \varepsilon^{\gamma-1} \cdot [(\lambda - 1) + \gamma \cdot \lambda \cdot (\rho - 1)]. \quad (7.9)$$

Цикл двигателей с подводом теплоты при постоянном давлении широкое применение не нашли, так как у этих циклов очень большой коэффициент сжатия.

7.3. Циклы газотурбинных установок (ГТУ).

Основными недостатками поршневых двигателей внутреннего сгорания являются ограниченность их мощности и невозможность адиабатного расширения рабочего тела до атмосферного давления, которые отсутствуют в газотурбинных установках. ГТУ рабочим телом являются продукты сгорания жидкого или газообразного топлива.

На рис.7.6 дана схема простейшей газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении. Топливным насосом 5 и компрессором 4 топливо и воздух через форсунки 6 и 7 поступают в камеру сгорания 1. Из камеры продукты сгорания направляются в комбинированные сопла 2, где они расширяются, и поступают на лопатки газовой турбины 3.

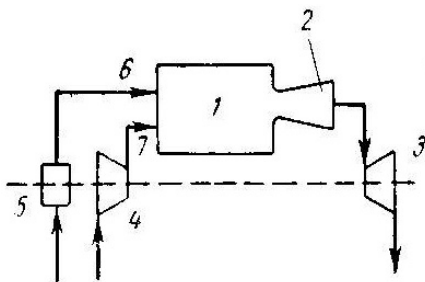


Рис. 7.6.

На рис.7.7 и рис.7.8 представлены идеальный цикл ГТУ на PV и TS диаграммах.

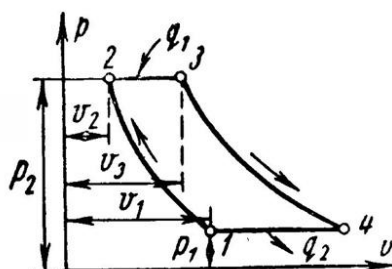


Рис. 7.7.

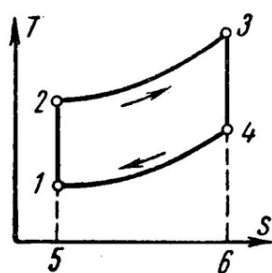


Рис. 7.8.

1-2 - адиабатное сжатие до давления P_2 ;

2-3 – подвод теплоты q_1 при постоянном давлении P_2 (сгорание топлива);

3-4 – адиабатное расширение до первоначального давления P_1 ;

4-1 – охлаждение рабочего тела при постоянном давлении P_1 (отвод теплоты q_2);

Характеристиками цикла являются:

степень повышения давления - $\lambda = P_2 / P_1$;

степень изобарного расширения - $\rho = v_3 / v_2$.

Работа турбины:

$$l_T = h_3 - h_4 . \quad (7.10)$$

Работа компрессора:

$$l_n = h_2 - h_1 . (7.11)$$

Полезная работа ГТУ равна разности работ турбины и компрессора:

$$L_{ГТУ} = l_t - l_k . (7.12)$$

Термический к.п.д. цикла ГТУ имеет вид:

$$\eta_t = 1 - 1/\lambda^{(\gamma-1)/\gamma} . (7.13)$$

Теоретическая мощность газовой турбины, компрессора и установки (ГТУ):

$$N_t = l_t \cdot D/3600 = (h_3 - h_4) \cdot D/3600 , (7.14)$$

$$N_k = l_k \cdot D/3600 = (h_2 - h_1) \cdot D/3600 , (7.15)$$

$$N_{ГТУ} = l_{ГТУ} \cdot D/3600 = [(h_3 - h_4) (h_2 - h_1)] \cdot D/3600 . (7.16)$$

Действительный цикл ГТУ отличается от теоретического наличием потерь на трение и вихреобразование в турбине и компрессоре. Эффективными методами повышения экономичности газотурбинных установок являются: регенерация теплоты, ступенчатое сжатие и расширение рабочего тела и пр.