

Лекция 3

Анализ термодинамических процессов идеальных газов

Первый закон термодинамики описывает распределение подведенной тепловой энергии. Часть теплоты расходуется на повышение внутренней энергии рабочего тела, вторая часть используется на совершение работы. Как показывает практика, распределение тепловой энергии зависит от условий и характера термодинамического процесса перехода из состояния в точке 1 (P_1, V_1, T_1) в состояние в точке 2 (P_2, V_2, T_2).

Основными процессами, представляющие особое значение при разработке и анализе термодинамических циклов, способных к превращению тепловой энергии в механическую работу, являются процессы заранее установленного характера. Такие процессы являются частным случаем из существующих процессов и упрощают методику анализа их эффективности и рабочего цикла тепловой машины в целом.

К таким процессам относятся:

- изохорный процесс с подводом или отводом тепловой энергии при постоянном объеме;

- изобарный процесс с подводом или отводом теплоты при постоянном давлении;

- изотермический процесс перехода при сохранении постоянной температуры рабочего тела;

- адиабатный процесс, протекающий за счет использования внутренней энергии и при отсутствии теплообмена с внешней средой, $q_{1-2} = 0$.

Термодинамические процессы, не имеющие ярко выраженного характера, называются политропными. Характерным признаком для политропного процесса принято постоянное значение теплоемкости рабочего тела в процессе. Исследование и анализ процессов заключается в установлении внутренней взаимосвязи между параметрами состояния, в определении основных изменений и распределения энергетических составляющих процесса:

1 Устанавливается математическая зависимость описания термодинамического процесса. Уравнение термодинамического процесса.

2 Устанавливается взаимосвязь между основными параметрами состояния рабочего тела при переходе из состояния в точке 1 (P_1, V_1, T_1) в состояние в точке 2 (P_2, V_2, T_2).

3 Определяется изменение внутренней энергии в результате перехода и реализации процесса.

4 Определяется работа, которая совершалась бы при реализации такого процесса.

5 Определяется количество теплоты участвующего в рассматриваемом процессе.

6 Определяется изменение энтальпии при совершении процесса перехода.

7 Определяется изменение энтропии при совершении процесса перехода.

Процессы рассматриваются как обратимые.

Изохорный процесс. Это термодинамический процесс, протекающий без изменения объема, занимаемого рабочим телом. Уравнение $V = const$, ($dv = 0$).

Графическое изображение изохорного процесса в координатах P-V представлено на рисунке 2.

Из уравнения Клайперона $Pv = RT$, при условии $v = const$ и $R = const$, получаем выражение определяющее взаимосвязь параметров. Давление P изменяется прямо пропорционально повышению или понижению температуры. Отношение $\frac{P}{T} = \frac{R}{v} = const$ величина постоянная.

Рассматривая начальное и конечное состояние рабочего тела при изохорном подводе или отводе теплоты $P_1v_1 = RT_1$ и $P_2v_2 = RT_2$ и выполнив небольшое преобразование получим зависимость параметров процессе перехода

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} .$$

Это соотношение называют именем автора, его установившего, законом Шарля. Давление в объеме размещения газа, при условиях изохорного процесса, $V = const$, изменяется прямо пропорционально повышению или снижению температуры газа при подводе или отводе теплоты.

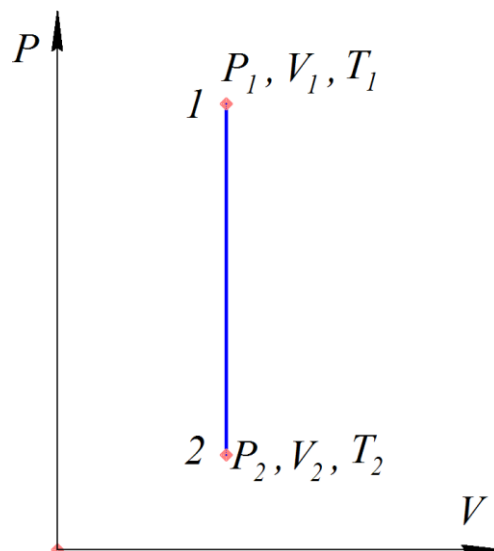


Рисунок 2 – Изохорный процесс

Изменение внутренней энергии определится согласно общему для всех процессов выражения

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v \cdot (T_2 - T_1).$$

Внешняя работа газа при отсутствии перемещения и изменения объема равна нулю.

$$l_{1-2} = \int_1^2 p dv = 0$$

Количество подведенной теплоты Q равно

$$q = \Delta u = c_v \cdot (T_2 - T_1).$$

Изменение энтальпии i равно

$$i_2 - i_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1) = (c_v + R) \cdot (T_2 - T_1).$$

Изменение энтропии ΔS определяем из общего выражения для определения изменения энтропии

$$dS = c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dv}{v}, \quad \text{или}$$

$$S_2 - S_1 = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

При $V_2 = V_1$, получим

$$S_2 - S_1 = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Полученные результаты в полном объеме позволяют характеризовать процесс.

Изобарный процесс. Представляет собой термодинамический процесс подвода или отвода теплоты при постоянном давлении. Уравнение процесса $P = const$. Соответственно, соотношение параметров определяем из анализа уравнений начального и конечного состояния газа, при условии сохранения постоянного давления.

Графическое изображение изохорного процесса в координатах P-V представлено на рисунке 3.

Из уравнения Клайперона $Pv = RT$ при условии $P = const$, получаем выражение определяющее взаимосвязь параметров

$$\frac{v}{T} = \frac{R}{P} = const.$$

Рассматривая начальное и конечное состояние рабочего тела при изобарном подводе или отводе теплоты $P_1v_1 = RT_1$ и $P_2v_2 = RT_2$ и выполнив небольшое преобразование при условии $P_1 = P_2$, получим зависимость параметров переходного изобарного процесса 1-2

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

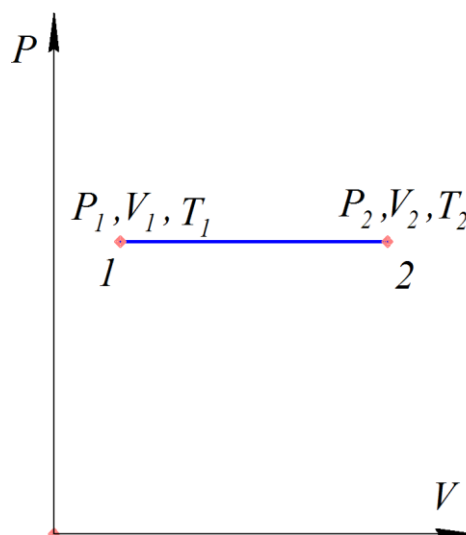


Рисунок 3 – Изобарный процесс

В изобарном процессе объемное состояние определенного количества газа увеличивается прямо пропорционально повышению температуры, при подводе теплоты и объемное состояние уменьшается (сокращается) прямо пропорционально снижению температуры, при отводе теплоты.

Процесс изобарного расширения происходит только с дополнительным подводом теплоты, и температура растет пропорционально увеличению объемного состояния.

При протекании изобарного процесса сжатия (с уменьшением объема), идет процесс отвода теплоты с понижением температуры пропорционально уменьшению объемного состояния.

Изменение внутренней энергии определится согласно общему для всех процессов выражения

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v \cdot (T_2 - T_1).$$

Внешняя работа газа определится согласно общему уравнению из выражения

$$l_{1-2} = P \int_1^2 dv = P \cdot (v_2 - v_1) = RT_2 - RT_1 = R \cdot (T_2 - T_1)$$

Количество подведенной теплоты q равно

$$q_{1-2} = \Delta u + l = c_v \cdot (T_2 - T_1) + R \cdot (T_2 - T_1) = c_p \cdot (T_2 - T_1).$$

Изменение энтальпии i равно

$$i_2 - i_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1) = (c_v + R) \cdot (T_2 - T_1) = q_{1-2}.$$

Изменение энтропии ΔS определяем из общего выражения для определения изменения энтропии

$$dS = c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dv}{v}, \quad \text{или}$$

$$S_2 - S_1 = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Полученные результаты в полном объеме позволяют характеризовать процесс.