



**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие №4

Термодинамические процессы

5 марта
2016



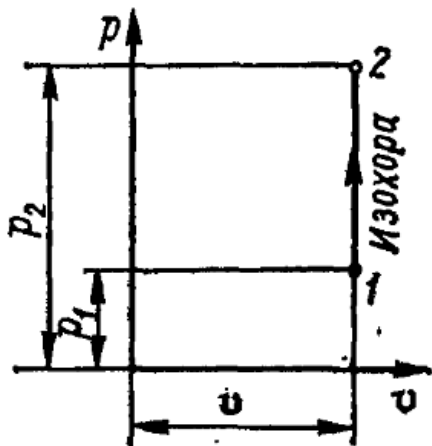
Процессы идеальных газов:

- 1) *Изохорный*, происходящий при постоянном объеме газа ($V=const$);
- 2) *Изобарный*, происходящий при постоянном давлении ($p=const$);
- 3) *Изотермический*, происходящий при постоянной температуре ($T=const$);
- 4) *Адиабатный*, происходящий без подвода или отвода теплоты т.е. протекающий без теплообмена с окружающей средой ($q=0$);
- 5) *Политропный* – обобщенный процесс изменения всех параметров рабочего тела, для которого четыре предыдущих являются частными случаями.



Для изучения этих процессов необходимо определить:

- 1) Уравнение процесса, которое устанавливает закономерность изменения состояния рабочего тела;
- 2) Графическое изображение процесса в диаграммах;
- 3) Связь, существующую между параметрами в процессе;
- 4) Изменение внутренней энергии рабочего тела в процессе;
- 5) Работу, совершаемую рабочим телом в процессе;
- 6) Теплоту, участвующую в процессе.



Изохорный процесс

- 1) Уравнение изохорного процесса: $V = \text{const}$;
- 2) Графически в $V - p$ -диаграмме с изохорный процесс изображается линией, параллельной оси давлений. Линия изохорного процесса в диаграмме состояния называется изохорой.
- 3) Для процесса 1 – 2, изображенного на рисунке, уравнение состояния газа в точках 1 и 2 имеет вид:

$$p_1 v_1 = RT_1; \quad p_2 v_2 = RT_2.$$



Связь между параметрами в изохорном процессе:

$$p_1/p_2 = T_1/T_2.$$

Закон Шарля (характеризует соотношение между параметрами при $V=\text{const}$): *в изохорном процессе отношение абсолютных давлений прямо пропорционально отношению абсолютных температур.*

4) Для вычисления **изменения внутренней энергии** газа рассмотрим процесс изохорного подвода теплоты к 1 кг идеального газа.

Для 1 кг рабочего тела:

$$du = c_v dT;$$

Для произвольной массы вещества:

$$dU = mc_v dT.$$



Для идеальных газов интегрирование представленных выше уравнений приводит к следующим выражениям:

$$u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v dT = c_v (T_2 - T_1);$$

$$U_2 - U_1 = m \int_1^2 c_v dT = mc_v (T_2 - T_1).$$

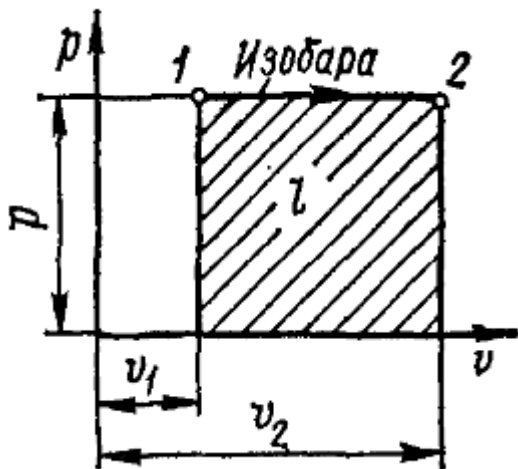
5) Т.к. в изохорном процессе нет изменения объёма, то, следовательно, и **работа изменения объёма не совершается**.

6) Количество теплоты, подведенной к рабочему телу в данном процессе, равно изменению внутренней энергии:

Для 1 кг рабочего тела:

Для произвольной массы вещества:

$$u_2 - u_1 = q_{1-2} = c_v (T_2 - T_1) \quad Q_{1-2} = c_v m (T_2 - T_1)$$



Изобарный процесс

- 1) Уравнение изобарного процесса:
 $p = \text{const}$;
- 2) Графически изобарный процесс в $V - p$ -диаграмме изображается линией, параллельной оси объемов. Линия изобарного процесса называется изобарой.
- 3) Связь между параметрами в изобарном процессе определим из уравнения состояния идеального газа для начальной и конечной точек процесса:

$$p_1 v_1 = RT_1; \quad p_1 v_2 = RT_2$$



Связь между параметрами:

$$v_1/v_2 = T_1/T_2$$

Выражение является **законом Гей-Люссака**: в *изобарном процессе* отношение удельных объемов идеального газа прямо пропорционально отношению его абсолютных температур.

4) Изменение внутренней энергии газа:

$$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1); U_2 - U_1 = c_v m (T_2 - T_1)$$

5) В изобарном процессе происходит изменение объема рабочего тела, следовательно, совершается работа.

Для 1 кг рабочего тела при $p = \text{const}$ формула имеет вид:

$$l_{1-2} = p (v_2 - v_1) = p v_2 - p v_1$$



При замене в предыдущем уравнении pV_2 через RT_2 , а pV_1 через RT_1 имеем:

$$l_{1-2} = R (T_2 - T_1)$$

Из этих уравнений можно более наглядно представить физический смысл ранее введенной газовой постоянной R :

$$R = l_{1-2}/(T_2 - T_1)$$

т.е. газовая постоянная – это работа, которую совершает 1 кг газа при изменении его температуры на 1 градус в процессе при постоянном давлении.

Для произвольной массы газа m формула принимает вид:

$$L_{1-2} = p (V_2 - V_1) = Rm (T_2 - T_1)$$

где V_1, V_2 – объем m кг газа в начале и в конце процесса.



б) **Теплоту процесса**, можно записать воспользовавшись первым законом термодинамики:

$$q_{1-2} = (u_2 - u_1) + l_{1-2} = c_v (T_2 - T_1) + R (T_2 - T_1) = \\ = (c_v + R) (T_2 - T_1).$$

Из уравнения Майера следует, что

$$c_p - c_v = R$$

Тогда выражение для определения количества теплоты для 1 кг газа примет вид:

$$q_{1-2} = c_p (T_2 - T_1)$$

Для произвольной массы газа:

$$Q_{1-2} = c_p m (T_2 - T_1)$$



Задача №1

Газ при давлении $p_1 = 1$ МПа и температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ нагревается при постоянном объеме до $t_2 = 300^\circ\text{C}$. Найти конечное давление газа.



Задача №2

В закрытом сосуде емкостью $V = 0,3 \text{ м}^3$ содержится $2,75 \text{ кг}$ воздуха при давлении $p_1 = 0,8 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 25^\circ \text{С}$. Определить давление и удельный объем после охлаждения воздуха до 0°С .



Задача №3

В закрытом сосуде заключен газ при разрежении $p_1 = 6667$ Па и температуре $t_1 = 70^\circ$ С. Показание барометра — $101\,325$ Па. До какой температуры нужно охладить газ, чтобы разрежение стало $p_2 = 13\,332$ Па?



Задача №4

В закрытом сосуде емкостью $V = 0,6 \text{ м}^3$ содержится воздух при давлении $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 20^\circ \text{ С}$. В результате охлаждения сосуда воздух, содержащийся в нем, теряет 105 кДж . Принимая теплоемкость воздуха постоянной, определить, какое давление и какая температура устанавливаются после этого в сосуде.



Задача №5

Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м^3 воздуха при постоянном избыточном давлении $p = 0,2 \text{ МПа}$ от $t_1 = 100^\circ \text{ С}$ до $t_2 = 500^\circ \text{ С}$? Какую работу при этом совершит воздух? Давление атмосферы принять равным 101325 Па .



Задача №6

Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 2000 м^3 воздуха при постоянном давлении $p = 0,5 \text{ МПа}$ от $t_1 = 150^\circ\text{C}$ до $t_2 = 600^\circ\text{C}$. Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.



Задача №7

2 м^3 воздуха с начальной температурой $t_1 = 15^\circ \text{ С}$ расширяются при постоянном давлении до 3 м^3 вследствие сообщения газу 837 кДж теплоты. Определить конечную температуру, давление газа в процессе и работу расширения.