

Задание:

- Повторить теорию;
- Выполнить практическую работу;
- Оформить отчёт (должен содержать тему, цель, вариант, выполненное задание, в верхнем колонтитуле группа и фамилия студента);
- По вопросам обращаться 072-1098278 или hvastov@rambler.ru
- Фотоотчёт работы прислать в течении 3 дней со дня получения задания на hvastov@rambler.ru
- Выполненную работу предоставить по окончании дистанционного обучения.

Практическая работа № 4

Тема: Работа газа. КПД тепловой машины

Цель: научиться применять первый закон термодинамики при решении задач.

Краткая теория

Если рассматривать все тела, участвующие в процессе, и учитывать изменение и механической и внутренней энергии всех тел, то в итоге получим, что полная энергия — величина постоянная. Это закон сохранения полной энергии. В термодинамике он носит название *первого начала* и формулируется следующим образом: теплота, сообщенная газу, идет на изменение его внутренней энергии и на работу, совершаемую газом против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A$$

Устройства, превращающие энергию топлива в механическую энергию, называются тепловыми двигателями.

КПД теплового двигателя – важнейшая его характеристика. ТД подчиняется первому закону термодинамики и конечно же второму закону термодинамики (передача тепла происходит от более нагретого тела к менее нагретому).

Коэффициентом полезного действия называют отношение полезной работы, совершенной данным двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя. КПД выражают в процентах. $\eta = \frac{A}{Q_n} \cdot 100\%$ $\eta = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} \cdot 100\%$

Q_n – теплота, полученная от нагревателя, Дж Q_x - теплота, отданная холодильнику, Дж

Этот КПД является реальным, т.е. как раз эту формулу и используют для характеристики реальных тепловых двигателей.

В 19 веке в результате работ по теплотехнике французский инженер Сади Карно предложил другой способ для определения (через термодинамическую температуру):

$$\eta = \frac{T_H - T_x}{T_H} \cdot 100\% \text{ – термодинамическая температура нагревателя, К}$$

T_x - термодинамическая температура холодильника, К.

И этот коэффициент полезного действия получил название максимального

Главное значение этой формулы состоит в том, что *любая реальная тепловая машина, работающая с нагревателем, имеющим температуру T_H , и холодильником с температурой T_x , не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины. Не существует теплового двигателя, у которого КПД = 100% или 1.*

Примеры решения задач

1. При изотермическом расширении идеальным газом совершена работа 15 кДж. Какое количество теплоты сообщено газу?

Дано:

$$A = 15 \text{ кДж} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

$$T = \text{const}$$

Найти: Q ?

Решение:

При изотермическом процессе ($T = \text{const}$) внутренняя энергия газа не меняется, то есть

$\Delta U = 0$. Тогда газ совершает механическую работу за счет сообщенного ему количества теплоты: $Q = A$. Таким образом, газу сообщено количество теплоты, равное

$$Q = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 15 \text{ кДж}$$

Ответ: $Q = 15 \text{ кДж}$.

2. В закрытом баллоне находится газ. При охлаждении его внутренняя энергия уменьшилась на 500 кДж. Какое количество теплоты отдал газ? Совершил ли он работу?

Дано:

$$\Delta U = 500 \text{ Дж}$$

Найти: Q ? A ?

Решение:

Газ находится в закрытом баллоне, следовательно, объем газа не меняется, то есть $V = \text{const}$ и $\Delta U = 0$.

Газ работу не совершает, т. к. $A = p\Delta V$ $A = 0$.

Тогда при изменении внутренней энергии газ отдает количество теплоты, равное $Q = 500 \text{ Дж}$ (знак « \leftarrow » показывает, что газ выделяет количество теплоты).

Ответ: $Q = 500 \text{ Дж}$; $A = 0$.

3. Вычислите увеличение внутренней энергии кислорода массой 0,5 кг при изохорном повышении его температуры на 15 °С.

Дано:

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$V = \text{const}$$

$$\Delta t = 15 \text{ C}$$

$$\Delta T = 15^\circ\text{K}$$

$$C_p = 920 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{K}$$

Найти: ΔU ?

Решение:

Согласно первому закону термодинамики: $\Delta U = Q + A$ Работа газа $A = p \Delta V = 0$, т. к. $V = \text{const}$, $\Delta U = 0$. То есть $\Delta U = Q$ - внутренняя энергия газа увеличилась за счет получения количества теплоты.

Количество теплоты, полученное кислородом:

$$Q = C_p m \Delta T$$

где C_p - удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении (находят из таблиц).

Следовательно, $\Delta U = C_p \cdot m \cdot \Delta T$;

$$\Delta U = 920 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{K} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 15^\circ\text{K} = 6900 \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta U = 6900 \text{ Дж} = 6,9 \text{ кДж.}$

4. В теплоизолированном цилиндре с поршнем находится азот массой 0,3 кг при температуре 20 °С. Азот, расширяясь, совершает работу 6705 Дж. Определите изменение внутренней энергии азота и его температуру после расширения.

Дано:

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$V = \text{const}$$

$$A' = 6705 \text{ Дж}$$

$$C_v = 745 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{K}$$

Найти: ΔU ?

T_2 ?

Решение:

Расширение азота происходит в теплоизолированном цилиндре, поэтому $Q = 0$ нет теплообмена с окружающей средой и первый закон термодинамики примет вид: $\Delta U = A = A'$, где A - работа внешних сил, A' - работа системы.

Следовательно, внутренняя энергия газа при расширении уменьшается на 6705 Дж, т. е. $\Delta U = 6705 \text{ Дж}$. Так как мерой изменения внутренней энергии является количество теплоты, то $\Delta U = C_v \cdot m \cdot \Delta T = C_v \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$

$$\Delta U = C_v \cdot m \cdot T_2 - C_v \cdot m \cdot T_1$$

$$T_2 =$$

Ответ: $\Delta U = - 6705 \text{ Дж} ; T_2 = 263 \text{ }^\circ\text{K}; t_2 = 10 \text{ C}$

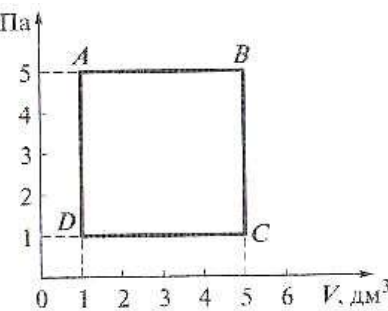
Задания для практической работе

Вариант 1.

1. В стальном баллоне находится гелий массой 0.5 кг при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$. Как изменится внутренняя энергия гелия, если его температура повысится до 30°C .
2. Вычислите увеличение внутренней энергии кислорода массой 0.5 кг при изохорном повышении его температуры на 15°C .
3. При изотермическом расширении идеальным газом совершена работа 15 кДж. Какое количество теплоты сообщено газу?
4. 0.2 кг азота нагревают при постоянном давлении от 20 до 80°C . Какое количество теплоты поглощается при этом? Какое количество теплоты поглощается при этом? Какую работу производит газ? Удельная теплоемкость азота при постоянном давлении $C = 108 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$.
5. Водород массой $m = 4 \text{ г}$, занимая первоначальный объем $V_1 = 0.1 \text{ м}^3$, расширяется до объема $V_2 = 1 \text{ м}^3$. Определите: 1) A_1 – работу газа при изобарном процессе; 2) A_2 – работу газа при изотермическом процессе. Начальная температура газа $T_1 = 300 \text{ К}$.
6. Найти КПД теплового двигателя, если газ получает от нагревателя 200 Дж теплоты и отдает холодильнику 135 Дж.
7. Чему равен КПД теплового двигателя, если температура нагревателя 800°C , а температура холодильника 25°C ?
8. Оцените максимальное значение КПД, которое может иметь тепловая машина с температурой нагревателя 727°C и температурой холодильника 27°C .
9. Каков КПД теплового двигателя, если рабочее тело, получив от нагревателя количество теплоты 1,6 МДж, совершило работу 400 кДж? Какое количество теплоты передано холодильнику?
10. Чему равен КПД идеального теплового двигателя, если температура нагревателя 500°C , а температура холодильника 20°C ?

Вариант 2.

1. Определите работу A , совершаемую газом за один цикл, состоящий из двух изобар и двух изохор.



2. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 400 моль, на 300°K ему сообщили количество теплоты 5.4 МДж.

Определите работу газа и приращение его внутренней энергии.

3. В закрытом баллоне находится газ. При охлаждении его внутренняя энергия уменьшилась на 500 Дж. Какое количество теплоты отдал газ? Совершил ли он работу?

4. В теплоизолированном цилиндре с поршнем находится азот массой 0.3 кг при температуре 20°C . Азот, расширяясь, совершает работу 6705 Дж. Определить изменение внутренней энергии азота и его температуру после расширения ($C_v = 745 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$).

5. Углекислый газ массой $m = 20 \text{ г}$ нагрет от температуры $T_1 = 290 \text{ K}$ до температуры $T_2 = 300 \text{ K}$ при постоянном давлении. Определите: 1) A – работу, которую совершил газ при расширении; 2) ΔU – изменение его внутренней энергии.

6. КПД идеальной машины 60%, температура нагревателя 480°C . Какова температура холодильника? Какая часть теплоты, получаемой от нагревателя, уходит в холодильник?

7. Тепловой двигатель совершает за цикл работу 100 Дж. Какое количество теплоты получено при этом от нагревателя, если КПД равен 20%?

8. Чему равен максимальный КПД идеального теплового двигателя, если температура нагревателя 455°C , а температура холодильника 273°C ?

9. Определите КПД теплового двигателя, если количество теплоты, полученное от нагревателя за цикл, равно 500 Дж, а количество теплоты, отданное холодильнику за цикл, составляет 400 Дж.

10. Температуры нагревателя и холодильника идеальной тепловой машины соответственно равны 380K и 280K. Во сколько раз увеличится КПД машины, если температуру нагревателя увеличить на 200K?