

План занятия:

1. Термодинамические процессы
2. Политропный процесс
3. Задачи

1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Основное уравнение для термодинамических процессов представляет собой математическую зависимость между тремя величинами: внешняя теплота (подводимая извне или отводимая от рабочего тела), изменение внутренней энергии и внешняя работа газа¹:

$$dq = c_v dT + pdv, \quad (1)$$

или в интегральной форме:

$$q_{1-2} = \Delta u + l, \quad (2)$$

где: q_{1-2} - **теплота** подведённая к газу (отведенная от газа) в термодинамическом процессе
 $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$ - **изменение внутренней энергии** газа в термодинамическом процессе,

$$l = \int_{v_1}^{v_2} pdv - \quad (3)$$

внешняя работа, совершаемая газом (над газом внешней средой) в термодинамическом процессе.

2. ПОЛИТРОПНЫЙ ПРОЦЕСС

Все известные элементарные термодинамических процессы (изобарный, изохорный, изотермический, адиабатный) являются частным случаем более общего процесса, который принято называть **политропным**.

Основное свойство политропного процесса имеет вид $pv^n = \text{const}$ и зависимость между параметрами газа в процессе следующая:

$$\begin{aligned} p_1 v_1^n &= p_2 v_2^n; \\ T_1 v_1^{n-1} &= T_2 v_2^{n-1}; \\ T_1^n p_1^{1-n} &= T_2^n p_2^{1-n} \end{aligned} \quad (4)$$

Теплота подводимая к газу или отводимая от газа в политропном процессе²:

$$q = c_\varphi (T_2 - T_1), \quad (5)$$

¹ Все сформулированные законы записаны для 1 кг рабочего тела. Все энергетические характеристики, входящие в эти законы (теплота, работа, внутренняя энергия, теплоёмкость), принято называть удельными, однако здесь для простоты это слово опущено.

² Теплоту подводимую к газу принято считать положительной, а отводимую отрицательной.

где: $c_\varphi = c_v \frac{n-k}{n-1}$ - теплоёмкость газа в политропном процессе, n - показатель политропы,
 $k = c_p/c_v$ - показатель адиабаты.

Распределение теплоты подводимой к газу или отводимой от газа в политропном процессе между внутренней энергией и работой величина постоянная:

$$\varphi = \frac{\Delta u}{q} = 1 - \frac{l}{q} = \text{const}, \quad (6)$$

отсюда: $c_\varphi = c_v/\varphi$, $n = (c_\varphi - c_p)/(c_\varphi - c_v)$.

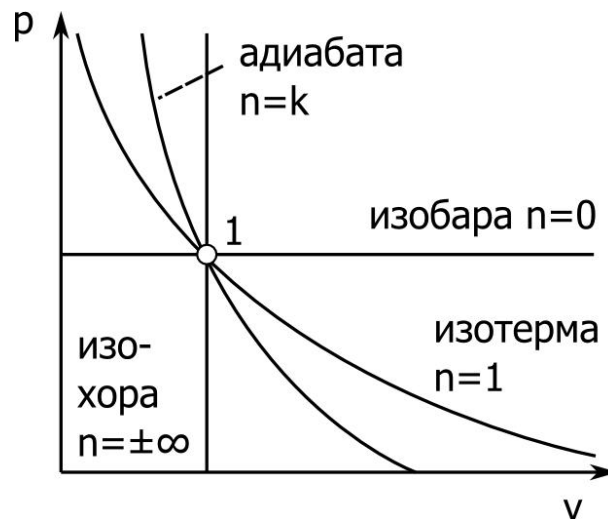
Работа в политропном процессе может быть определена по формулам (3) и (4)³:

$$l = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1} \quad (7)$$

Общие замечания.

Для более ясного представления о процессах, происходящих с газом, рекомендуется изображать эти процессы на pV -диаграмме, где нанесены основные процессы, как это представлено на рисунке.

Во всех задачах, в которых не оговорены особые условия, расчет следует вести для воздуха со следующими характеристиками: давление - $p = 101325$ Па; показатель адиабаты - $k = 1,4$; теплоёмкость при постоянном давлении - $c_p = 1005$ Дж/(кг·град), газовая постоянная - $R = 287$ Дж/(кг·град); молекулярная масса - $\mu = 29$ кг/кмоль.



Все кривые в правой части диаграммы характеризуют процессы, проходящие с расширением газа, а процессы в левой части - со сжатием газа. Все изучаемые политропные процессы в зависимости от их расположения по отношению к основным процессам можно разделить на 3 группы.

1. $0 < n < 1$. Эти политропные процессы расположены между изобарой и изотермой и протекание их можно определить следующими характеристиками:

³ Работу расширения, совершаемую газом над внешней средой, принято считать положительной, а работу сжатия, совершаемую внешней средой над газом, принято считать отрицательной.

а) расширение газа; все процессы на этом участке проходят с повышением температуры и, следовательно, с увеличением внутренней энергии газа; газ производит работу.

б) сжатие газа; на сжатие газа затрачивается работа; температура газа понижается и внутренняя энергия его уменьшается.

2. $1 < n < k$. Эти процессы располагаются между изотермой и адиабатой:

а) расширение газа; работа газа совершается частично за счет теплоты, подведенной извне, частично за счет внутренней энергии газа

б) сжатие газа; в процессе сжатия частично увеличивается внутренняя энергия газа и теплота должна частично отводиться в окружающую среду.

3. $k < n < \infty$. Эти процессы расположены между адиабатой и изохорой.

а) расширение газа; работа газа все время уменьшается, приближаясь к 0; количество отводимой теплоты возрастает вследствие убыли внутренней энергии, и поэтому температура газа понижается быстрее;

б) сжатие газа; несмотря на то, что работа сжатия газа уменьшается, температура его увеличивается по мере приближения значений n к ∞ , так как количество теплоты, подводимой извне, все увеличивается; увеличение внутренней энергии газа происходит за счет суммарной теплоты, подводимой извне, и эквивалентной работы сжатия.

Кроме того:

Так как изотермы по мере удаления от начала координат характеризуют все более высокие температуры, то все процессы, идущие от начальной точки вверх и вправо от изотермы, проходят с повышением температуры газа, т. е. с увеличением его внутренней энергии. Процессы, идущие от начальной точки вниз и влево, проходят с понижением температуры газа и, следовательно, с уменьшением его внутренней энергии. Таким образом, изотерма является границей процессов, проходящих с увеличением и уменьшением внутренней энергии газа.

Если рассматривать адиабату как границу процессов, то можно убедиться, что все процессы, проходящие вверх и вправо от адиабаты, идут с подводом извне теплоты, а, идущие вниз и влево, - с отводом теплоты в окружающую среду.

3. ЗАДАЧИ

Задача №1

В процессе расширения газа 50% подведенной теплоты превращается в работу, 50% идет на увеличение внутренней энергии. Где на pV -диаграмме расположен этот процесс? Чему равен показатель политропы? Что происходит с газом при расширении? Чему равна теплоемкость процесса?

Задача №2

В процессе газ отдает 200 кДж теплоты, из которых 80 кДж взято из внутренней энергии. Определить показатель политропы и описать происходящий с газом процесс.

Задача №3

От газа отводится 100 кДж теплоты; внутренняя энергия его увеличивается на 200 кДж. Что это за процесс? Какова работа газа? Чему равна теплоемкость?

Задача №4

В политропном процессе давление газа уменьшилось с 10 до 2 ат, а объем его увеличился в 4 раза. Определить показатель политропы и описать физические явления в этом процессе.

Задача №5

В политропном процессе температура газа увеличилась в 4 раза, а объем уменьшился в 3 раза. Чему равен показатель политропы? Где на pV -диаграмме расположен этот процесс? Что происходит в процессе с газом? Как изменилось давление в процессе?

Задача №6

В цилиндре дизеля воздух с начальными параметрами $t_1 = 47^\circ\text{C}$ и $p = 1$ ат сжимается по политропе $n = 1,36$. Сжатие идет до достижения воздухом температуры $t_2 = 700^\circ\text{C}$, несколько превышающей температуру самовоспламенения топлива. Определить конечное давление воздуха и необходимую степень сжатия $\varepsilon = v_1/v_2$; вычислить работу сжатия.

Задача №7

Начальное состояние 10 кг воздуха определяется температурой 27°C и давлением 1,2 бар. Воздух изобарно нагревается до 327°C . Определить работу газа, изменение внутренней энергии, энтальпии и количество подведенной теплоты.

Задача №8

1 кг воздуха в воздушном двигателе расширяется от 10 до 1 ат. Расширение может произойти: изотермно, адиабатно и по политропе $n = 1,2$. Сравнить работы расширения и определить конечные параметры воздуха по этим трем процессам; начальная температура воздуха 227°C . Представить процессы на pV -диаграмме.

Задача №9

Процесс сжатия 10 кг воздуха $t_1 = 127^\circ\text{C}$ и $p_1 = 5$ бар происходит по политропе с показателем $n = -2$; объем газа уменьшается в 2 раза. Определить изменение давления и температуры; объяснить физические явления, происходящие при этом процессе.

Задача №10

К 10 кг воздуха в изохорном процессе подведено 1885 кДж теплоты, а затем в изобарном сжатии объем уменьшен в 2,5 раза. Начальная температура воздуха 17°C , а давление 0,8 ат. Рассчитать процессы, происходящие с воздухом, и представить их на pV -диаграмме.