

КПД тепловых двигателей.

Цикл Карно . КПД цикла Карно.

Применение тепловых  
двигателей



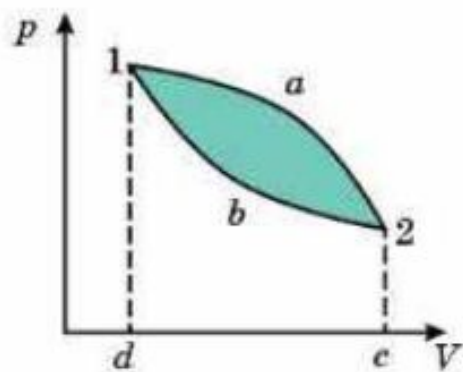
Человечество уже давно использует в своей практике двигатели — устройства, которые предназначены для совершения механической работы. В зависимости от того, какой вид энергии они превращают в механическую работу, различают тепловые, механические и электрические двигатели. Особенно широко используются *тепловые двигатели*. *Тепловыми двигателями называют машины, которые превращают внутреннюю энергию топлива в механическую работу.*

**Круговой процесс.** Конструкции тепловых двигателей многообразны, однако все они обладают одним общим свойством — *циклическостью*.

**Циклом (круговым процессом)** *называется процесс, при котором термодинамическая система, пройдя ряд промежуточных состояний, возвращается в первоначальное состояние.*

■ ■ ■

График кругового процесса представляет собой замкнутую кривую линию (рис. 39.1). Работа, совершаемая при круговом процессе, численно равна площади фигуры, охватываемой этой замкнутой кривой. Докажем справедливость этого утверждения, взяв в качестве термо-



динамической системы некоторую массу газа. Положительная работа  $A_1$ , совершаемая газом при расширении, выражается площадью фигуры  $d1a2c$ . При сжатии работа газа  $A_2$  отрицательна и выражается площадью фигуры  $d1b2c$ . Тогда работа  $A$ , совершаемая газом за цикл, равна  $A = A_1 - A_2$  и выражается площадью фигуры, ограниченной замкнутой кривой  $1a2b1$ .

■ ■ ■



Рис. 39.2

**Принцип действия теплового двигателя.** Любой тепловой двигатель должен иметь *нагреватель, рабочее тело и охладитель* (рис. 39.2). Во время цикла, совершаемого тепловым двигателем: 1) рабочее тело, в качестве которого обычно используется газ, получает количество теплоты  $Q_1$  от нагревателя; 2) за счет возросшего запаса внутренней энергии рабочее тело совершает работу  $A$ ; 3) от рабочего тела отводится количество теплоты  $Q_2$  к охладителю.

■ ■ ■

**Необходимость наличия охладителя.** Рассмотрим, чем вызвана необходимость отвода теплоты  $Q_2$  к охладителю. Для этого в качестве рабочего тела возьмем газ, находящийся под подвижным поршнем. Приводя газ в тепловой контакт с нагревателем, заставим его изотермически расширяться из состояния 1 в состояние 2 и совершить работу по поднятию поршня (рис. 39.3). Но является ли эта система двигателем? Нет, потому, что данный процесс не является циклическим. Для того, чтобы завершить цикл, необходимо вернуть газ в исходное состояние 1, сжимая его до первоначального объема.



Рис. 39.3

Если сжатие газа проводить при температуре нагревателя, то работа, совершаемая газом, будет такая же по величине, какую он совершил при расширении, но отрицательная по знаку:  $A_{2-1} = -A_{1-2}$ . В итоге мы получим *нулевую* суммарную работу за полный цикл. Следовательно, для получения отличной от нуля полезной работы в течение одного цикла, сжимать газ до первоначального состояния следует при температуре ниже, чем температура нагревателя. Вот почему в тепловом двигателе необходимо наличие второго теплового резервуара — охладителя, тепловой контакт с которым и приводит к понижению температуры газа в процессе его сжатия. Так как процесс, совершаемый рабочим веществом, является циклическим, то начальное и конечное значения его внутренней энергии одинаковы, и, следовательно,  $\Delta U = 0$ . Тогда, согласно первому закону термодинамики, суммарная работа  $A$ , совершенная тепловым двигателем за цикл, равна суммарному количеству теплоты  $Q_{\text{сум.}}$ , сообщенному двигателю во время цикла:  $A = Q_{\text{сум.}}$ . Из рисунка 39.1 видно, что  $Q_{\text{сум.}} = |Q_1| - |Q_2|$ . Величины  $Q_1$  и  $Q_2$  взяты здесь по модулю, а для того, чтобы указать их направления, перед ними использованы знаки “+” и “-”. Таким образом,  $A = |Q_1| - |Q_2|$ .

■ ■ ■

**КПД теплового двигателя.** Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют отношение суммарной работы, совершенной двигателем за один цикл к количеству теплоты, подводимой к газу в течение цикла:

$$\eta = \frac{A}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}. \quad (39.1)$$

Из формулы (39.1) видно, что КПД теплового двигателя не может быть равным 1, или 100%.



## Цикл Карно. КПД цикла Карно.



**Идеальная тепловая машина Карно.** В начале XIX в. широкое распространение получили *тепловые машины*, но КПД этих устройств был очень низким. Так, у паровых машин он был равен всего 8—9%, а у первых поршневых двигателей внутреннего сгорания 12—20%. Возник естественный вопрос: каким образом повысить КПД тепловых машин? Над этой проблемой активно работал французский физик и инженер Сади Карно (1796—1832).

Результаты своих исследований он опубликовал в 1824 г. в работе “Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу”. Карно решил построить (теоретически) идеальную тепловую машину с максимально возможным КПД. Его идеальная тепловая машина работала на идеальном газе и без потерь энергии. Цикл, по которому работала такая теоретическая машина, получил название *цикл Карно*.



Цикл Карно представляет собой замкнутый процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат, протекающий в следующей последовательности (рис. 40.1). Газ, помещенный под поршень в цилиндр с хорошо проводящим тепло дном, получает тепло от нагревателя с температурой  $T_1$  (рис. 40.2, а). Изотермически расширяясь, газ совершает работу  $A_{12}$  (рис. 40.2, б). Затем дно цилиндра делают теплоизолированным, как и стенки цилиндра (рис. 40.3, а), и газ, расширяясь адиабатно, совершает работу  $A_{23}$  (рис. 40.3, б). Температура газа при этом понижается, так как при адиабатном расширении работа ( $A > 0$ ) может совершаться только за счет уменьшения внутренней энергии газа ( $\Delta U < 0$ ). После этого теплоизолирующую подставку убирают, приводя газ в тепло-

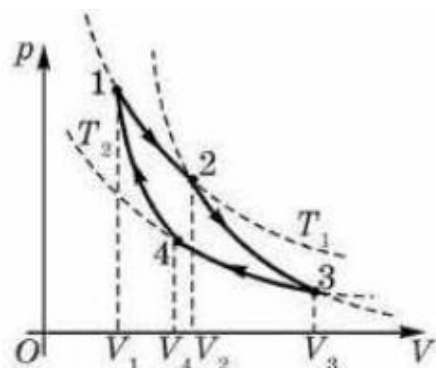


Рис. 40.1

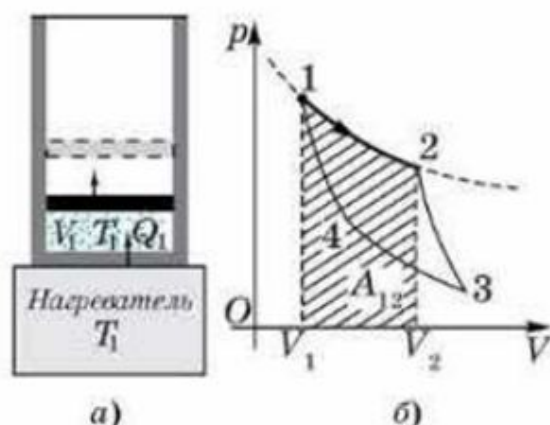


Рис. 40.2

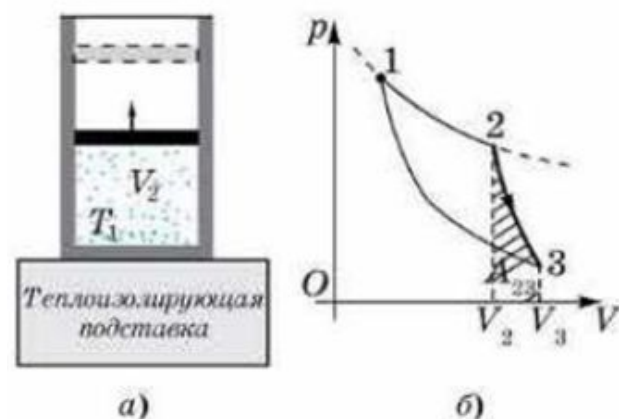


Рис. 40.3

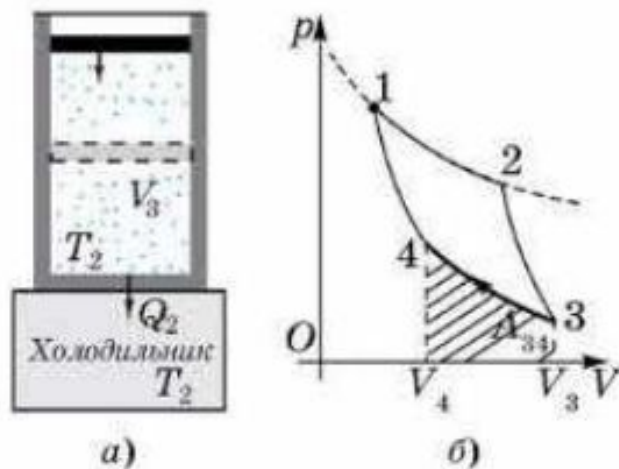


Рис. 40.4

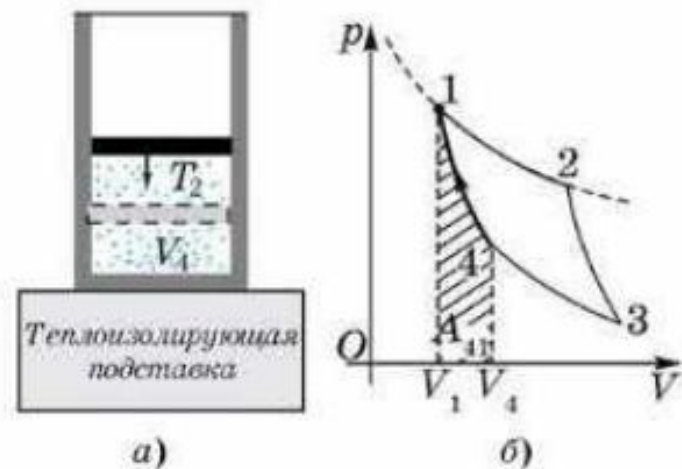


Рис. 40.5

вой контакт с охладителем, имеющим температуру  $T_2$ . Далее следует процесс изотермического сжатия газа при этой температуре, во время которого от газа отводится количество теплоты  $Q_2$  к охладителю. Сам газ при этом совершает отрицательную работу  $A_{34}$  (рис. 40.4, б). И, наконец, опять заменяя дно цилиндра теплоизолирующей подставкой (рис. 40.5, а), газ сжимают адиабатно до первоначального состояния с температурой  $T_1$ . При этом газ совершает отрицательную работу  $A_{41}$  (рис. 40.5, б).

**КПД цикла Карно.** Так как суммарная работа, совершенная газом за цикл, равна  $A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$ , а количество теплоты газ получает только на участке изотермического расширения  $Q_{12}$ , то КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно, определяется отношением  $\eta = \frac{A}{Q_{12}}$ .

Расчеты показывают, что КПД зависит лишь от соотношения между температурами нагревателя и охладителя:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (40.1)$$

Таким образом, даже для идеальной машины Карно КПД всегда меньше 1.

**Пути повышения КПД теплового двигателя.** Формула (40.1) показывает, что нужно делать для того, чтобы достичь максимально возможного КПД тепловой машины: нужно по возможности повысить температуру нагревателя и понизить температуру охладителя. Однако в попытках достижения максимального КПД мы не можем безгранично как повышать температуру нагревателя (из-за риска плавления материала), так и понижать температуру охладителя (ввиду недостижимости абсолютного нуля температуры).

## Домашнее задание:

Ответить на вопросы : 4, 6, 7, 9 - письменно

Решить задачу

1. Какой процесс называют *круговым*?
  2. Какое устройство называют *тепловым двигателем*?
  3. Какова роль охладителя в тепловом двигателе?
  4. Что такое *коэффициент полезного действия теплового двигателя*?
  5. Почему КПД теплового двигателя не может быть равным 100%?
- 
6. Из каких этапов состоит цикл Карно?
  7. Чем определяется КПД цикла Карно?
  8. Почему даже для цикла Карно невозможно достичь КПД, равного единице?
  9. Как можно повысить КПД тепловых машин?



1. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в три раза выше температуры холодильника. Нагреватель передал газу количество теплоты 42 кДж. Какую работу совершил газ?

(Ответ: 28 кДж)