

Тема: Теплові машини. Холодильна машина

Якщо звернутися до історії фізики та машинобудування, то можна з'ясувати, що тепловий двигун з'явився на початку XVIII ст. У Росії він був запропонований І. І. Ползуновим (1765). Запатентував універсальний паровий двигун у 1784 р. Дж. Уатт. Революційною працею з підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) теплових двигунів вважають працю С. Карно «Роздуми про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу», що була видана у 1824 р. У ній Карно запропонував цикл ідеальної теплової машини.

Тепловий двигун — це пристрій, який перетворює внутрішню енергію палива у механічну.

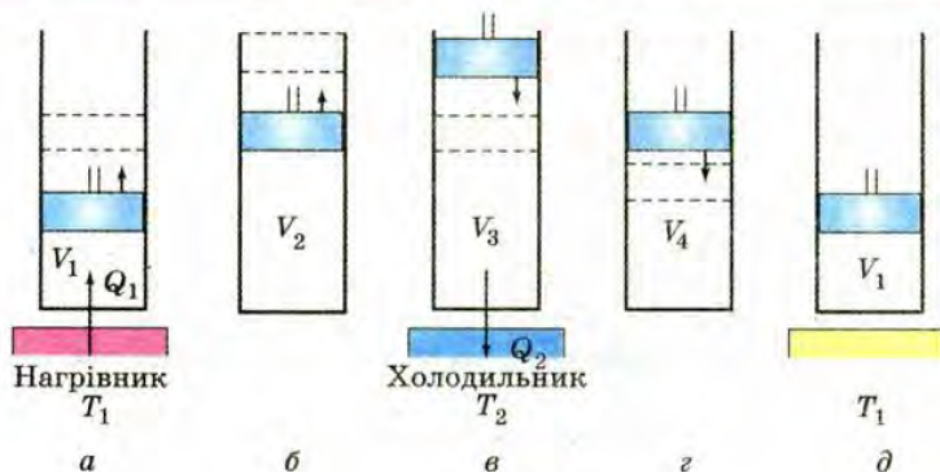
Енергія, яка виділяється під час згоряння палива, через теплообмін передається газу. Газ, розширюючись, виконує роботу проти зовнішніх сил і надає руху механізму (мал. 231).



Мал. 231

Нехай ідеальний газ об'ємом V_1 міститься у закритому циліндрі з поршнем (мал. 232) під тиском p_1 . Поставимо циліндр на нагрівник, температура якого T_1 підтримується сталою (мал. 232, а). Ми будемо спостерігати ізотермічний процес, що супроводжується зміною об'єму і тиску газу відповідно V_2 , p_2 та виконанням роботи A_1 за рахунок кількості теплоти Q_1 , одержаної від нагрівника. Відповідно до графіка в системі координат pV процес відобразимо ізотермою 1—2 (мал. 233).

Припустимо, що далі газ буде розширюватися адіабатно, тобто без теплообміну з навколишнім середовищем. Газ виконає додатну роботу розширення A_2 за рахунок внутрішньої енергії, змінивши стан з об'ємом V_2 і тиском p_2 на стан з об'ємом V_3 і тиском p_3 (мал. 232, б). При цьому буде відбуватися охолодження, яке супроводжується зміною температури від T_1 до T_2 . На графіку (мал. 233) цьому процесу буде відповідати адіабата 2—3.



Мал. 232

Після цього поставимо циліндр на холодильник, температура якого T_2 підтримується сталою. Будемо спостерігати ізотермічний процес, при якому газ зі стану з об'ємом V_3 і тиском p_3 буде переходити до стану з об'ємом V_4 і тиском p_4 (мал. 232, в). При стисканні газу зовнішні сили виконують від'ємну роботу ($-A_3$), і щоб температура газу не змінилася, вона повинна відповідати кількості теплоти, відданої холодильнику $Q_2 = A_3$. На графіку цей процес відповідатиме ізотермі 3—4 (мал. 233). Проте стан V_4 , p_4 добиратимемо так, щоб подальше адіабатне стискання газу при досягненні температури T_1 привело до замикання циклу, тобто до об'єму V_1 .

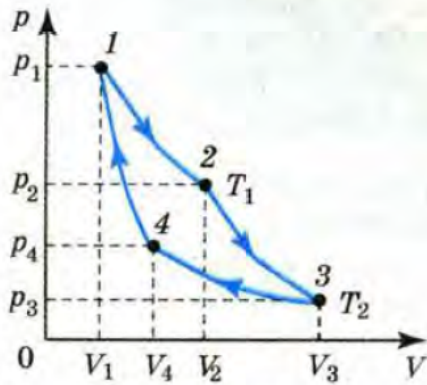
Нарешті в точці V_4 , p_4 знову без теплообміну (мал. 232, г) за допомогою адіабатного стискання повернемо газ у вихідний стан (мал. 232, а), приводячи до збільшення його внутрішньої енергії і підвищення температури до T_1 . На графіку цьому процесу відповідає адіабата 4—1 (мал. 233).

Цикл, який ми отримали, складається з двох ізотермічних і двох адіабатних процесів; він дістав назву циклу Карно і становить один цикл роботи ідеальної теплової машини. Під час розширення робоче тіло виконує роботу, а під час стискання роботу над тілом виконують зовнішні сили. Після кожного циклу робоче тіло повертається у вихідний стан.

Закон збереження й перетворення енергії для циклу Карно полягає у тому, що енергія, одержана робочим тілом від навколишнього середовища, дорівнює енергії, яку тіло віддало навколишньому середовищу. Навколишнє середовище віддає кількість теплоти Q_1 під час розширення робочого тіла і виконує роботу $A_3 + A_4$ на стискання. Робоче тіло виконало роботу $A_1 + A_2$ під час розширення і віддало кількість теплоти Q_2 під час стискання. $Q_1 + A_3 + A_4 = Q_2 + A_1 + A_2$, або, враховуючи, що $A_1 = A_4$,

$$A_1 - A_3 = Q_1 - Q_2.$$

Різниця робіт $A_1 - A_3$ є корисною роботою, що виконує робоче тіло внаслідок даного циклічного процесу. Вона дорівнює різниці кількостей теплоти, підведеної під час розширення газу і відведеної під час його стискання.



Мал. 233

Для характеристики ефективності циклу перетворення внутрішньої енергії у механічну, а значить, і теплової машини, вводиться коефіцієнт корисної дії (ККД) циклу, або машини. Він визначається відношенням роботи $A_1 - A_3$, що використовується у даному циклі, до роботи A_1 , яку можна було б одержати внаслідок повного перетворення у неї всієї кількості теплоти Q_1 , підведеної до газу:

$$\eta = \frac{A_1 - A_3}{A_1}, \quad (5.10)$$

або, враховуючи попередню рівність, маємо

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (5.11)$$

За умови ідеального процесу перетворення внутрішньої енергії в механічну, найвищий тепловий ККД матиме вигляд

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (5.12)$$

де T_1 — максимальна температура робочого тіла (газу, пари), T_2 — мінімальна температура, за якої робоче тіло віддає частину внутрішньої енергії холодильнику. Оскільки T_2 — температура холодильника або відпрацьованих продуктів горіння — не може дорівнювати абсолютному нулю, то максимальний тепловий ККД машини не може дорівнювати одиниці (100 %).

Проте машину можна примусити працювати і за оборотним циклом Карно, коли внаслідок виконаної роботи від системи віднімається деяка кількість теплоти. У цьому разі охолодження досягається за рахунок виконання роботи, теплота примусово переходить від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, а теплова машина перетворюється на холодильну машину.

За оборотним циклом від поршня з нижчою температурою T_2 (мал. 232, в) відбирається кількість теплоти Q_2 і віддається поршню з вищою температурою T_1 (мал. 232, а) кількість теплоти Q_1 . Для кругового процесу $Q = A$, але є умова:

$$Q = Q_2 - Q_1 < 0, \text{ тому } A < 0 \text{ і } Q_2 - Q_1 = A', \text{ або } Q_1 = Q_2 + A',$$

тобто кількість теплоти Q_1 , віддана системою джерелу теплоти з вищою температурою T_1 , більша за кількість теплоти Q_2 , одержаної від джерела теплоти з нижчою температурою T_2 на значення роботи A' , виконаної над системою. Таким чином, без виконання роботи не можна відбирати теплоту від менш нагрітого тіла і віддавати її більш нагрітому.

Ефективність роботи холодильної машини характеризують **холодильним коефіцієнтом**, який визначається відношенням кількості теплоти Q_2 , отриманої від поршня з нижчою температурою, до роботи A' , яка витрачається на приведення холодильної машини в дію:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (5.13)$$



Мал. 234

Прикладом найбільш поширеної холодильної машини є домашній холодильник (мал. 234). Робочу систему холодильника заповнюють рідиною, яка легко випаровується (фреон, аміак та ін.), її називають *холодоагентом*.

Таким чином, згідно з дослідом про певну спрямованість теплопередавання: **теплота сама по собі переходить завжди від гарячих тіл до холодних**.

Природно, що внаслідок перебігу фізичних процесів навколишній світ зазнає певних змін. Наприклад, унаслідок механічної взаємодії змінюються координати тіл або їх швидкості. Термодинамічні процеси супроводжуються змінами станів системи, яка характеризується певними макро- і мікропараметрами.

Ці зміни, як правило, такі, що не допускають можливості довільного повернення системи у початковий стан. Тому довільні **природні процеси є необоротними**. Оборотними вони стають унаслідок сторонніх впливів або складних процесів, які компенсують ці зміни.

Напрямок перебігу теплових процесів встановлює **другий закон термодинаміки**, який уперше сформулював німецький учений Р. Клаузіус у 1850 р.: **у природі неможливий процес, під час якого теплота довільно переходила б від менш нагрітих до більш нагрітих тіл**.

Пізніше У. Томсон (лорд Кельвін) дав інше формулювання другого закону термоди-

наміки: **неможливо здійснити такий періодичний процес, єдиним результатом якого буде виконання роботи за рахунок теплоти, відібраної у нагрівника**. Отже, другий закон термодинаміки доповнює закон збереження і перетворення енергії у теплових процесах можливим напрямом їх довільного перебігу в природі та заперечує можливість створення вічного двигуна.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке цикл Карно? З яких процесів він складається?
2. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії ідеальної теплової машини? Яке максимальне його значення можуть мати реальні теплові машини?
3. Який принцип дії теплової машини? Які обов'язкові складові частини вона має?
4. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії теплової машини? Чи може він бути більшим за одиницю?
5. Розкажіть, за яким принципом працює холодильна машина. У чому її відмінність від теплової машини?
6. Що характеризує ефективність холодильної машини?

