МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

За темою - Аналіз термодинамічного циклу Карно

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО
Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8_____

СХВАЛЕНО
Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу ХНУВС
Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО
Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол від 10.08.2022 № 1

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст першої категорії, Москалик В.М.

Рецензенти:
1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

План лекції:

1. Величина загальної роботи двигуна.
2. Величина корисної роботи двигуна.
3. Коефіцієнт корисних дій.
4. Шляхи підвищення ефективності теплового двигуна.

Література:

Основна:

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика: навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.

2. Трофімова Т.І. Курс фізики; 11-е изд., стер.: навчальний посібник для ВНЗ/ Т.І. Трофімова. – К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.

Допоміжна:

3. Курс фізики: навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.

4. Дмітрієва В. Ф. Основи фізики ; 2-е вид. исп. и доп. : навчальний посібник для студентів вишів/ В. Ф. Дмітрієва, В. Л. Прокофьєв. –К. :Вища школа, 2001. – 527 с.

5. Волков О. Ф. Курс фізики; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 224 с.

6. Волков О. Ф. Курс фізики; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.

7. Збірник задач з фізики: навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Середа В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124 с.

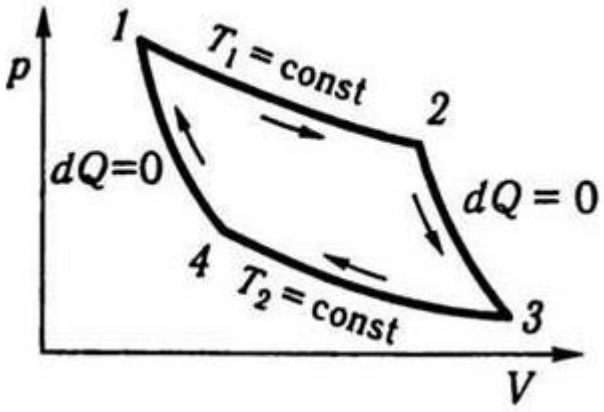
Текст лекції

Саді Карно, вивчаючи проблему можливого підвищення ККД теплових машин, показав, що найбільший ККД теплової машини не залежить від природи тіла і повністю визначається граничними температурами, в яких машина виконує цикл.

Знайдемо ККД машини, в якій ідеальний газ здійснює цикл, обмежений двома адіабатами і двома ізотермами (цикл Карно) (рис. 7.5). Під час першої, ізотермічної стадії розширення (крива 1—2) нагрівник віддає, а ідеальний газ — робоче тіло — дістає теплоту Q_1, що дорівнює роботі розширення газу від об'єму V_1 до об'єму V_2:

$$Q_1 = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}, \qquad (7.16)$$

де n — число молів газу. В другій, адіабатичній стадії розширення (крива 2—3) робота виконується за рахунок зменшення внутрішньої енергії газу, тобто внаслідок зниження температури газу від температури нагрівника до температури холодильника. При цьому газ не дістає і не віддає теплоти.



Потім ідеальний газ стискається ізотермічно від об'єму V_3 до об'єму V_4. На це стиснення газу (крива 3—4) має затратитися робота, яка внаслідок ізотермічності процесу повністю перетвориться в теплоту, що газ віддає холодильнику:

$$Q_2 = nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}. \qquad (7.17)$$

Цикл завершується адіабатичним стисненням газу до початкового об'єму V_1; при цьому затрачена робота йде на підвищення температури газу до початкового значення, тобто до температури нагрівника.

Отже, за повний цикл газ дістає теплоту Q_1 і віддає Q_2.

Оскільки в кінці циклу газ повертається у свій початковий стан і, отже, внутрішня енергія, яка визначається станом системи, набуває свого початкового значення, різниця теплот $Q_1 - Q_2$ дорівнюватиме роботі A, виконаній газом за цикл.

За визначенням, ККД є відношенням цієї роботи до кількості теплоти, яку дістало робоче тіло від нагрівника:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (7.18)$$

Якщо використати співвідношення (7.16) і (7.17) та взяти до уваги, що

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_4}{V_3},$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (7.19)$$

Тобто ККД циклу Карно для ідеальної теплової машини дорівнює різниці температур нагрівника й холодильника до абсолютної температури нагрівника.

ККД теплових машин, що працюють за циклом Карно з одними і тими самими нагрівником і холодильником, однакові й не залежать від робочої речовини та конструкції машини, яка здійснює цикл. ККД теплових машин у разі необоротних процесів завжди менший від ККД у разі оборотних процесів.

Основними елементами теплової установки є нагрівник, циліндр з робочою речовиною (пара) і холодильник. Часто роль холодильника виконує навколишнє середовище, зокрема повітря. ККД парових машин дуже низький. Для його збільшення підвищують температуру нагрівника (котла) і знижують температуру холодильника, використовуючи тепловідбираюче тіло. Так досягають збільшення різниці $T_1 - T_2$, а отже, і ККД, що видно зі співвідношення (7.19). Наприклад, знайдемо максимальний ККД парової машини, що працює за циклом Карно, якщо температура пари становить 500 К, температура холодильника — 300 К:

$$\eta = \frac{500 - 300}{500} = 0,4,$$

тобто в оптимальному випадку ККД теплової машини дорівнюватиме 40 %.

Зауважимо, що звичайні парові машини за цих температур пари й холодильника мають менший ККД — близько 20 %. Пояснюється це тим, що парові машини, як і всі інші теплові машини, не працюють за циклом Карно, а

також тим, що в усіх звичайних машинах відбуваються необоротні процеси. Проте загальною особливістю роботи теплових машин є те, що частина енергії, яку дістає робоче тіло від нагрівника, обов'язково віддається холодильнику. Якщо механічна енергія рухомих тіл (поршня) при всіх перетвореннях повністю переходить у внутрішню енергію тіла (газу, пари), то внутрішня енергія лише частково перетворюється в енергію руху механізмів. Хаотичний рух молекул не може бути таким, щоб усі молекули одночасно передали тілу (поршню) весь запас кінетичної енергії. Якщо навіть припустити, що це стало можливим, то частина внутрішньої енергії залишиться у вигляді потенціальної за наявності взаємодії між частинками. Внутрішня енергія тіл не може повністю перетворюватись у механічну енергію рухомих механізмів. Якщо два тіла мають різні температури і $T_1 > T_2$, то теплота передаватиметься від першого до другого тіла, а при $T_1 = T_2$ настане теплова рівновага. Чи може теплота сама по собі передаватися від другого до першого тіла тоді, коли температура другого тіла нижча від температури першого? Такий процес не суперечив би першому принципу, але суперечив би другому.

У. Томсон дав таке формулювання другого принципу термодинаміки: неможливий коловий процес, єдиним результатом якого було б виконання роботи тільки за рахунок охолодження теплового резервуара.

Під тепловим резервуаром розуміють тіло або систему тіл, що перебувають у стані термодинамічної рівноваги і мають певний запас внутрішньої енергії. Сам тепловий резервуар не виконує макроскопічної роботи, він може тільки віддавати внутрішню енергію іншому тілу або системі тіл. Якщо така система виконує роботу за рахунок внутрішньої енергії теплового резервуара, то в термодинаміці її називають робочим тілом. За У. Томсоном, неможливий коловий процес, єдиним результатом якого було б виконання роботи за рахунок зменшення внутрішньої енергії теплового резервуара.

М. Планк сформулював другий принцип термодинаміки так: неможливо побудувати періодично діючу машину, єдиним результатом якої було б підняття вантажу за рахунок охолодження теплового резервуара.

Вказівка на періодичність дії машини у формулюванні М. Планка істотна так само, як істотний у формулюванні У. Томсона той факт, що процес має бути коловим. Формулювання М. Планка відрізняється від формулювання У. Томсона лише за формою. В обох випадках розглядається коловий процес, єдиним результатом якого є виконання роботи за рахунок охолодження теплового резервуара.

Інше формулювання другого принципу термодинаміки дав 1850 р. Р. Клаузіус: теплота не може сама по собі переходити від тіла менш нагрітого до тіла більш нагрітого. Під теплотою тут слід розуміти внутрішню енергію тіла. Зміст формулювання Р. Клаузіуса полягає в тому, що немає жодного способу, яким можна було б відібрати теплоту від менш нагрітого тіла і цілком передати її більш нагрітому, до того ж так, щоб у природі не відбулося жодних змін.