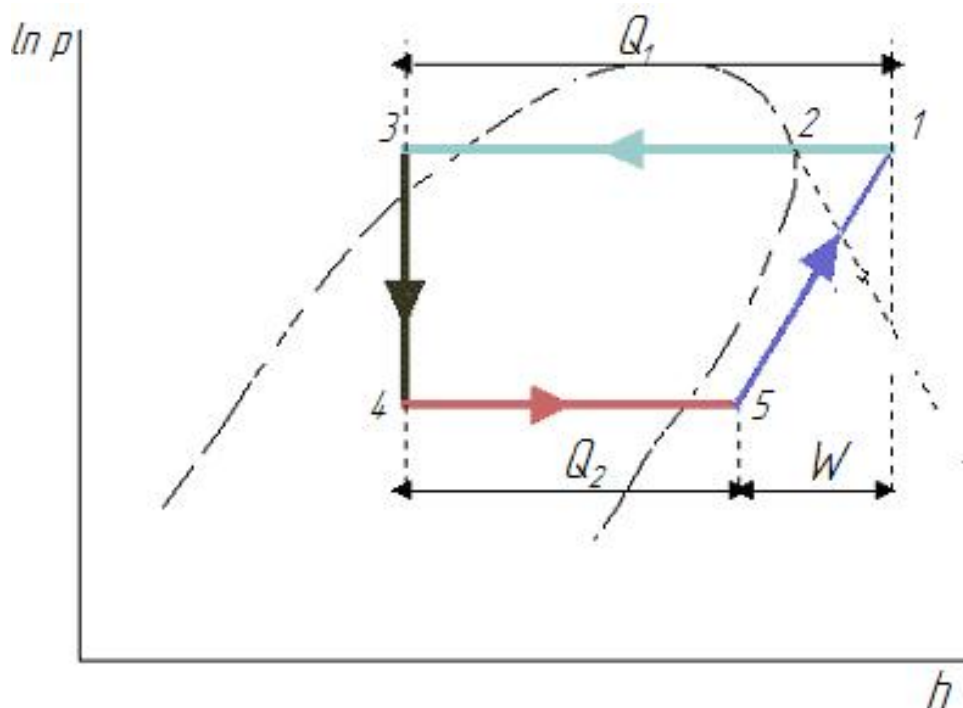


Міністерство освіти і науки України
Мирогощанський аграрний фаховий коледж



Методичні
рекомендації
з дисципліни
«Основи теплотехніки і гідравліки»

Тема: Перший закон термодинаміки

Тема: Перший закон термодинаміки

План лекції:

1. Зміст закону і його формулювання.
2. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
3. Принцип еквівалентності теплоти і роботи.
4. Внутрішня енергія та її властивості.
5. Робота газу, її визначення і графічне зображення в PV -координатах.
6. Ентальпія газу.

Мета: зрозуміти зміст першого закону термодинаміки та вивчити його формулювання; дослідити роботу газу та її визначення і графічне зображення в PV -координатах.

Матеріальне забезпечення: методичні рекомендації до вивчення даної теми, плакати, підручник.

Використана література:

1. Черняк О.В., Рибчинська Г.Б. **Основи теплотехніки і гідравліки**. - Київ: Вища школа, 1982р.-223с.
2. Драганов Б.Х., Бессараб О.С. **Теплотехніка**. - Київ: Фірма «ІНОКС», 2005.- 400с.
3. Дідур В.А., Стручаєв М.І. **Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві**. - К.:Аграрна освіта, 2008.-233с.
4. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О., **Основи теплотехніки і гідравліки**: Навчальний посібник /За ред. Б.Х. Драганова. - Київ.: Аграрна освіта, 2010. – 495 с.

ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

Внутрішня енергія та її властивості.

Термодинамічна система в кожному стані має енергію E , що включає зовнішню енергію $E_{зов}$, яка складається з енергії руху системи як цілого і потенціальної енергії системи в полі зовнішніх сил, а також внутрішньої енергії U .

Якщо рух системи як цілого відсутній і зміна її потенціальної енергії дорівнює нулеві, то повна енергія системи буде дорівнювати її внутрішній енергії. Внутрішня енергія складається з енергії різних видів руху і взаємодії часток системи, а саме: кінетичної енергії U_k поступального й обертального руху молекул і коливального руху атомів і потенціальної енергії U_n сил взаємодії між молекулами.

Кінетична енергія руху молекул — однозначна функція температури T [наприклад, для поступального руху молекул ці залежності визначаються рівнянням (1.2)]. Потенціальної енергії сил взаємодії залежить від середньої відстані між молекулами, тобто від об'єму V газу. Оскільки T і V є параметрами стану, то

внутрішня енергія також є функцією стану робочого тіла. Для будь-яких двох параметрів, що визначають цей стан, можна написати:

$$U=f_1(p,V); U=f_2(p,T); U=f_3(V,T). \quad (2.1)$$

Внутрішня енергія одиниці маси речовини $u=U/m$ називається питомою внутрішньою енергією (Дж/кг).

У техніці важливо не абсолютне значення внутрішньої енергії, а її зміна в термодинамічних процесах. Оскільки внутрішня енергія — параметр стану, її зміна не залежить від проміжних станів робочого тіла (від шляху процесу), а визначається початковим і кінцевим етапами системи. Для станів 1 і 2 можна записати

$$\Delta u = \int_1^2 du = u_2 - u_1. \quad (2.2)$$

Якщо початковий і кінцевий стани збігаються, то для кругового процесу

$$\int du = 0 \quad (2.3)$$

Диференціюючи останню з функціональних залежностей (2.1), одержуємо

$$du = (\partial u / \partial T)_v dt + (\partial u / \partial v)_T dv \quad (2.4)$$

Внутрішня енергія реального газу залежить від температури й об'єму тіла. Для ідеального газу, у якому відсутня енергія сил взаємодії, що залежить від об'єму газу, внутрішня енергія визначається тільки значенням температури робочого тіла. Оскільки в даному випадку $(\partial u / \partial v)_T = 0$, то з рівняння (2.4) випливає, що

$$(\partial u / \partial T)_v = du/dT, \quad (2.5)$$

тобто, похідна від внутрішньої енергії ідеального газу по температурі — повний диференціал. Будучи екстенсивним параметром стану, внутрішня енергія має властивість аддитивності, відповідно до якої внутрішня енергія системи дорівнює сумі внутрішніх енергій її незалежних частин:

$$u = \sum_{i=1}^n u_i, \quad (2.6)$$

де u_i — внутрішня енергія окремих частин системи. Внутрішню енергію при $t = 0^\circ \text{C}$ приймають рівною нулеві.

Робота розширення і стиску газу

При взаємодії термодинамічної системи з навколишнім середовищем відбувається передача енергії між системою і зовнішніми тілами. Одним зі способів енергообміну між системами є робота. Знайдемо математичний вираз роботи.

Нехай при нескінченно малій рівноважній зміні стану робочого тіла масою m (у даному випадку при нескінченно малому розширенні газу) його об'єм збільшиться на dV (рис. 2.1). При цьому кожна точка поверхні, що обмежує тіло площею F , переміститься на нескінченно малу відстань dS . Елементарна робота буде дорівнювати $\delta L = pFdx$. Оскільки процес розширення рівноважний, то $p_{\text{зов}} = p$. Врахуємо, що FdS дорівнює елементарній зміні об'єму dV . В результаті одержимо:

$$\delta L = pdV, \quad (2.7)$$

де δ — знак неповного диференціала.

Розділивши ліву і праву частини рівняння (2.7) на m , одержимо вираз для елементарної питомої роботи розширення

$$\delta l = p dv. \quad (2.7')$$

Оскільки p — величина позитивна, то знак δl залежить від знака dv ; якщо $dv > 0$, то $\delta l > 0$, тобто при розширенні робота

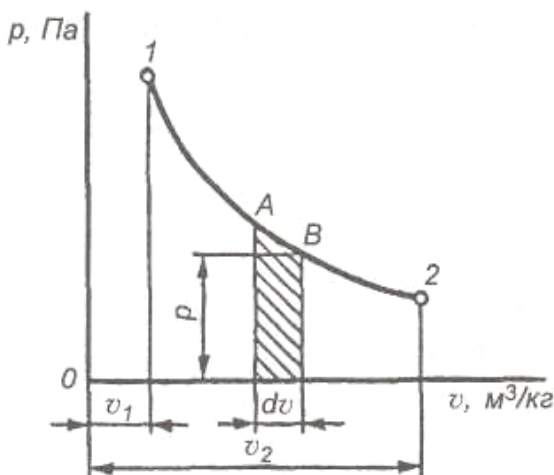


Рис. 2.2. Графічне зображення роботи розширення в p - v -координатах

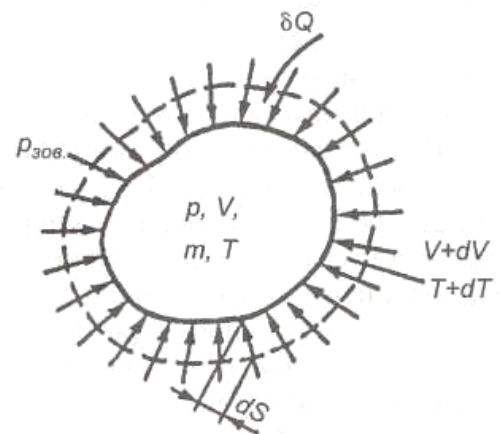


Рис. 2.1. Схема для визначення роботи при розширенні робочого тіла

позитивна; якщо $dv < 0$, то $\delta l < 0$, тобто

при стиску робота негативна (на стиск затрачається робота ззовні).

Кінцева робота l , тобто питома робота, виконана системою, що містить 1 кг газу, визначається за формулою:

$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (2.8)$$

У загальному випадку тиск p — величина змінна, і тому для інтегрування (2.8) має бути відомим закон зміни тиску $p = f(v)$. У p - v -координатах рівноважний процес розширення зображений кривою 1-2 (рис. 2.2).

При нескінченно малій зміні стану робочого тіла від А до В об'єм його змінюється на величину dv . На ділянці $A \sim B$ тиск можна вважати постійним. У даному випадку площа заштрихованого елементарного майданчика буде дорівнювати $p dv$, тобто елементарній роботі на ділянці $A-B$, а вся площа під кривою 1—2 — сумі площ цих елементарних майданчиків. Робота розширення дорівнює (з урахуванням масштабу зображення процесу) площі, обмеженій у $p v$ -координатах кривою процесу, крайніми ординатами і віссю абсцис. Те ж саме справедливо і для роботи стиску. На практиці при випробуванні поршневого двигуна це положення використовують для визначення потужності двигуна за площею індикаторної діаграми.

Оскільки $\int p dv$ залежить від шляху інтегрування, то величина роботи визначається характером протікання термодинамічного процесу, тобто на відміну від тиску, температури й інших параметрів стану вона не функція стану системи. Таким чином, елементарна робота δl не є повним диференціалом. З цієї причини її позначають δl , а не dl .

Принцип еквівалентності теплоти і роботи.

Вище відзначалося, що при взаємодії термодинамічної системи з навколишнім середовищем відбувається обмін енергією, причому один зі способів її передачі робота, а інший — теплота.

Хоча робота L і кількість теплоти Q мають розмірність енергії, вони не є видами енергії. На відміну від енергії, що є параметром стану системи, робота і теплота залежать від шляху переходу системи від одного стану в інший. Вони представляють дві форми передачі енергії від однієї системи (або тіла) до іншої.

У першому випадку має місце макрофізична форма обміну енергією, що обумовлена механічним впливом однієї системи на іншу, супроводжуваним видимим переміщенням деякого тіла (наприклад, поршня в циліндрі двигуна).

В другому випадку здійснюється мікрофізична (на молекулярному рівні) форма передачі енергії. Міра кількості переданої енергії — кількість теплоти. Таким чином, робота і теплота — енергетичні характеристики процесів механічної і теплової взаємодії системи з навколишнім середовищем. Ці два способи передачі енергії еквівалентні, що випливає з закону збереження енергії, але нерівноцінні. Робота може безпосередньо перетворюватися в теплоту. Кількість же теплоти Q безпосередньо витрачається тільки на зміну внутрішньої енергії системи. При перетворенні теплоти в роботу від одного тіла — джерела теплоти (ДТ) — теплота передається іншому — робочому тілу (РТ), а від нього енергія у вигляді роботи передається третьому тілу — об'єкту роботи (ОР).

Варто підкреслити, що якщо ми записуємо рівняння термодинаміки L і Q означають енергію, отриману відповідно макро- або мікрофізичним способом.

Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.

Перший закон термодинаміки — окремий випадок закону збереження і перетворення енергії, а саме застосування цього фундаментального закону до термодинамічних систем. Відповідно до цього закону **повна енергія ізолюваної**

термодинамічної системи при будь-яких процесах, що відбуваються в системі, залишається постійною, тобто $\sum E_i = \text{const}$, де E_i — різні види енергії.

Закон збереження і перетворення енергії — це вираз матеріалістичного положення про несотворимість і незнищеність руху.

Нехай до термодинамічної системи масою m , що займає об'єм V при тиску p і температурі t , підводиться від зовнішнього джерела (із зовнішнього середовища) нескінченно мала кількість теплоти δQ (див. рис. 2.1). Унаслідок підведення теплоти температура системи збільшується на dT . Підвищення температури приводить до збільшення кінетичної енергії теплового руху мікрочасток на величину dE_k .

Відповідно до рівняння стану підвищення температури при постійному тиску зовнішнього середовища приводить до збільшення об'єму системи на dV . Збільшення відстані між молекулами призводить до зростання потенціальної енергії часток на dE_n . Зміна кінетичної dE_k і потенціальної dE_n енергії системи обумовлює зміну її внутрішньої енергії на dU .

При підведенні до термодинамічної системи кількості теплоти δQ і внаслідок зміни її об'єму на величину dV здійснюється робота розширення проти сил зовнішнього тиску. Тому, що в розглянутій системі немає інших змін, то відповідно до закону збереження енергії маємо

$$\delta Q = dU + \delta L \quad (2.9)$$

Таким чином, для ізольованої термодинамічної системи теплота, що передається їй, йде на зміну її внутрішньої енергії і на здійснення зовнішньої роботи.

З рівняння (2.9) випливає, що внутрішня енергія системи, будучи однозначною функцією її стану, змінюється під дією зовнішніх впливів (надходження деякої кількості теплоти δQ і здійснення роботи δL). Крім того, робота може відбуватися або за рахунок передачі системі кількості теплоти, або за рахунок зміни внутрішньої енергії (або за рахунок δQ і dU).

Вираз (2.9) — рівняння першого закону термодинаміки для ізольованих систем. Для системи, що містить 1 кг робочого тіла,

$$\delta q = du + \delta l \quad (2.10)$$

або враховуючий (2.7')

$$\delta q = du + p dv. \quad (2.10')$$

В інтегральній формі це рівняння має такий вигляд:

$$q = \Delta u + l. \quad (2.11)$$

Ентальпія

У термодинамічних і теплотехнічних розрахунках часто використовують суму внутрішньої енергії системи U і добутку тиску p на величину об'єму системи V , яку називають **ентальпією**:

$$H=U+pV. \quad (2.25)$$

Для системи, що містить 1 кг робочого тіла, питома ентальпія h , Дж/кг, дорівнює

$$h = u+pv. \quad (2.26)$$

Величини, що входять у (2.26), — функції стану, і тому ентальпія — теж функція стану. З чого випливає, що dh — повний диференціал, тобто зміна ентальпії в процесі не залежить від його характеру, а визначається тільки початковим і кінцевим станами системи:

$$\Delta h_{1-2} = \int_1^2 dh = h_2 - h_1. \quad (2.27)$$

Якщо продиференціювати (2.26), будемо мати

$$dh = du + p dv + v dp, \quad (2.28)$$

звідки

$$\delta q = dh - v dp. \quad (2.28')$$

Рівняння (2.28') — це інша форма запису першого закону термодинаміки. Нехай процес зміни стану робочого тіла протікає при $p = \text{const}$. Тоді з рівняння (2.28') будемо мати

$$dh = \delta q_p. \quad (2.29)$$

З огляду на те, що для ізобарного процесу $c_p = \delta q_p / dT$, одержимо

$$dh = c_p dT. \quad (2.30)$$

Це рівняння справедливе і для будь-якого іншого термодинамічного процесу тому, що зміна ентальпії однозначно визначається початковим і кінцевим станами системи.

При $t = 0^\circ\text{C}$ значення ентальпії приймають рівним нулеві.

Контрольні питання і завдання

1. У чому фізична суть внутрішньої енергії системи? З яких видів рухів мікрочасток вона складається? Доведіть, що внутрішня енергія — це параметр стану. У чому різниця внутрішніх енергій ідеального і реального робочого тіла?

2. Напишіть вираз для обчислення роботи. Покажіть, що площа під кривою процесу в PV - координатах пропорційна роботі.

3. Що таке робота і теплота? Що між ними спільного і чим вони

відрізняються?

4. Напишіть рівняння першого закону термодинаміки. Дайте формулювання цього закону.

5. Що таке ентальпія, яка її розмірність? Приведіть розрахунковий вираз для внутрішньої енергії і ентальпії. Напишіть рівняння першого закону термодинаміки, що містить ентальпію.