

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Термодинаміка та теплопередача»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)

ТЕМА 1. Термодинамічна система і її стан.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 р. № 7

СХВАЛЕНО

Методично радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 28.08.2023 р. № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 р. № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 р. № 1

Розробники: викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки *Яніцький А.А.*

Рецензенти:

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор *Тамаргазін О.А.*

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. *Тягній В.Г.*

План лекції

1. Основні поняття і визначення;
2. Параметри стану системи і рівняння стану;
3. Рівняння стану ідеального газу;
4. Рівняння стану реальних газів;
5. Термодинамічний процес;
6. Рівноважні, нерівноважні і квазірівноважні термодинамічні процеси;
7. Теплоємність і фактори на неї впливають: види теплоємності, теплоємність газів;
8. Газові суміші.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Котовський В. Н. Технічна термодинаміка : тексти лекцій, 2015. 88 с.
2. Котовський В. Н. Теплопередача : тексти лекцій, 2015. 76 с.

Допоміжна:

3. Базаров І. П. Термодинаміка : підручник. 2010. 384 с.
4. Баранов В. М., Коньков А. Ю. Термодинаміка і теплопередача: навчальний посібник; 2-е видання, перероблене. 2004. 91 с.
5. Технічна термодинаміка і теплопередача : підручник для академічного бакалаврату В. А. Кудінов, Е. М. Карташов, Є. В. Стефанюк , 2016. 442 с.

Інформаційні ресурси в інтернеті:

6. URL : <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
7. URL : <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl76.pdf>

1.1 Основні Поняття і визначення

Міжнародна система одиниць,^[1] СІ ([фр.](#) Le Système International d'Unités, SI) - система [одиниць фізичних величин](#), Сучасний варіант [метричної системи](#). СІ є найбільш широко використовуваною системою одиниць в світі - як у повсякденному житті, так і в [науці](#) і [техніці](#). В даний час СІ прийнята в якості основної системи одиниць більшістю країн світу і майже завжди використовується в області техніки, навіть в тих країнах, в яких у повсякденному житті використовуються традиційні одиниці.

СІ була прийнята XI [Генеральною конференцією з мір та ваг](#) (ГКМВ) в 1960 році, деякі наступні конференції внесли в СІ ряд змін.

СІ визначає сім [основних одиниць фізичних величин](#) і [похідні одиниці](#) (Скорочено - одиниці СІ або одиниці), а також набір [приставок](#). СІ також встановлює стандартні скорочені позначення одиниць і правила запису похідних одиниць.

Основні одиниці:

1. [кілограм](#) kg (маса M),
2. [метр](#) m (довжина L),
3. [секунда](#) s (час T),
4. [ампер](#) A (Сила електричного струму I),
5. кельвін K (термодинамічна температура Θ),
6. [моль](#) mol (кількість речовини N),
7. [кандела](#) cd (сила світла J).

В рамках СІ вважається, що ці одиниці мають незалежну [розмірність](#), Тобто жодна з основних одиниць не може бути отримана з інших.

Похідні одиниці можуть бути виражені через основні за допомогою математичних операцій - множення і ділення. Деяким з похідних одиниць для зручності присвоєні власні назви, такі одиниці теж можна використовувати в математичних виразах для освіти інших похідних одиниць.

Математичний вираз для похідної одиниці виміру впливає з фізичного закону, за допомогою якого ця одиниця виміру визначається, чи з визначення фізичної величини, для якої вона вводиться. Наприклад, швидкість - це відстань, яку тіло проходить в одиницю часу; відповідно, одиниця виміру швидкості - м / с (м в секунду), ньютон N - одиниця виміру сили -

$N = ma = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$, температура Цельсія $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273^{\circ}$, енергія Дж $= \text{Н} \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$, тиск Па $= \text{Н} / \text{м}^2 = \text{кг} / \text{м} \cdot \text{с}^2$, 1 ат (технічна атмосфера) $= 98.0665 \text{ кПа}$.

Предмет термодинаміки.

Історично термодинаміка виникла в результаті необхідності вивчення взаємного перетворення теплоти в роботу в міру розробки парових машин. В даний час коло питань, якими займається термодинаміка, значно розширився. Термодинаміка вивчає взаємне перетворення енергій в фізичних, хімічних, ядерних та інших явищах. Тому *термодинаміка це наука, що вивчає закони перетворення енергій в різних процесах супроводжуються тепловими*

ефектами. Тобто - це наука про енергію і її властивості.

Загальна термодинаміка базується на емпіричних даних і досліджує лише макроскопічні властивості реальних тіл і процесів, часто залишаючи осторонь молекулярно-кінетичну теорію будови речовини. такий **метод** дослідження прийнято вважати термодинамічних.

В інженерній практиці часто відбувається поєднання термодинамічної методу з теоретичними і експериментальними досягненнями молекулярної і статичної фізики. Такий синтез називають технічної термодинаміки. Сукупність технічної термодинаміки і теорії тепло- і масообміну становить суть теплотехніки.

Сучасна технічна термодинаміка широко використовується для дослідження і розрахунку теплових і холодильних машин. Перелік теплових машин великий. До них можна віднести як двигуни внутрішнього згоряння (поршневі, газотурбінні, реактивні), так і різні парові машини і турбіни, які використовують для отримання електричної енергії.

Тепло і механічна робота

З досвіду відомо, що два тіла, при взаємодії між собою, передають один одному або навколишньому середовищу певну кількість енергії. Ця передача може відбуватися двома різними способами: *механічним* і тепловим.

Перший спосіб відомий з механіки і полягає в здійсненні роботи одним тілом над іншим (наприклад, при зіткненні рухомого тіла з тілом нерухомим). У цьому випадку збільшення енергії одного з тіл буде дорівнює роботі, досконалої над цим тілом. Прийнято вважати роботу, вироблену тілом - позитивною, а роботу, отриману тілом - негативною.

Другий спосіб полягає в передачі енергії від більш нагрітого тіла до тіла, менш нагрітого при їх зіткненні. При цьому тепло, отримане тілом, вважають позитивним, а тепло, віддане тілом - негативним.

Робота являє собою **макрофізическую** впорядковану форму передачі енергії шляхом взаємного дії тіл один на одного. Передача тепла пов'язана з безпосереднім взаємодією між хаотично рухаються молекулами обох тіл, тобто представляє собою мікрофізичної форму передачі енергії. У цьому укладено відмінність між поняттями "тепло" і "робота".

термодинамічна система

У термодинаміки і теплотехніки вивченню підлягають різні термодинамічні системи.

термодинамічної системою називають сукупність матеріальних тіл, які знаходяться в тепловому і механічному взаємодії як між собою, так і з навколишнім середовищем.

Ізольована термодинамічна система - це система, яка не має ні механічно, що не теплового взаємодії із зовнішнім середовищем.

Теплоізольована або адіабатне система - це система, яка не має теплового взаємодії із зовнішнім середовищем.

Однорідна термодинамічна система - це система, в якій всі, складові її частини, мають однакові властивості.

Гетерогенна термодинамічна система - це система, що складається з різних частин, які обмежені поверхнями розділу. Ці частини називають фазами. Наприклад, будь-яка речовина має три агрегатних стани: газоподібне, рідке,

тверде. Окремо кожне стан являє собою фазу.

Гомогенна термодинамічна система - це система, що складається з однієї фази.

1.2 Параметри стану системи и Рівняння стану

термодинамічна рівновага

Термодинамічна система, макроскопічні властивості якої не змінюються з плином часу, називають *рівноважною*. У цьому випадку говорять, що система знаходиться в стані термодинамічної рівноваги.

Параметри, які характеризують макроскопічні властивості системи і в кінцевому підсумку стан системи в цілому, називають *термодинамічними параметрами*.

термодинамічні параметри, За допомогою яких можна описати процеси взаємного перетворення тепла і роботи, називаються термічними параметрами. До них відносять температуру, тиск і обсяг.

Якщо неізолювана термодинамічна система знаходиться в стані рівноваги, то це означає, що термічні параметри тел системи дорівнюють за величиною термічним параметрам навколишнього зовнішнього середовища. При зміні умов зовнішнього середовища (температури і тиску) буде змінюватися і стан термодинамічної системи. Ця зміна триватиме до тих пір, поки не встановиться рівність температур і тисків навколишнього середовища і системи, тобто поки не буде встановлено новий стан рівноваги.

Звідси випливає, що стан термодинамічної системи однозначно визначається умовами зовнішнього середовища. Самостійно вийти зі стану рівноваги система не може. Точно також як і помістивши систему в зовнішнє середовище з незмінними параметрами, то рано чи пізно ця система прийде в стан рівноваги з зовнішнім середовищем незалежно від того, яке початковий стан її було.

З точки зору молекулярно-кінетичної теорії термодинамічна рівновага настане тоді, коли середні швидкості хаотичного руху молекул системи і навколишнього середовища стануть рівні.

Термічні параметри системи

температура

Температура є одним з основних термічних параметрів, які характеризують стан системи. З поняттям "температура" ми зустрічаємося, коли нагріваємо тіло. Отже, температура є мірою нагріву тіла.

Якщо розглядати хаотичний рух молекул тіла, то при нагріванні відбувається збільшення середньої швидкості їх руху. Звідси, **-температура є міра хаотичного руху молекул системи.**

Таким чином:

$$\frac{2}{3} \frac{m \overline{w^2}}{2} = kT \quad (1.1)$$

де: m - маса молекули;

\overline{w} - середня швидкість поступального руху молекул;

k - константа Больцмана, яка дорівнює $1.38 \cdot 10^{-23}$ дж/град;

T - абсолютна температура тіла.

З зазначеного визначення абсолютної температури слід, що температура є величина завжди позитивна, а також, що при абсолютній температурі, що дорівнює нулю, тепловий рух молекул припиняється.

Температурна шкала, в якій за нуль прийнятий абсолютний спокій молекул називають шкалою Кельвіна.

У 1933 році на VIII генеральній конференції з мір та ваг прийнята ще одна міжнародна стоградусна температурна шкала. У ній температура плавлення льоду і температура кипіння води прийняті рівними 0 і 100 градусів. Вона названа шкалою Цельсія. Зв'язок між цими шкалами виражається співвідношенням:

$$T = t + 273.16$$

де: T - температура за шкалою Кельвіна;

t - температура за шкалою Цельсія.

З виразу випливає, що абсолютний нуль за шкалою Цельсія дорівнює -273.16 градусів.

ТИСК

Тиск - це сила, що діє перпендикулярно на одиницю поверхні площі. З точки зору кінетичної теорії матерії *тиск є результат середньої кількості ударів молекул, при їх тепловому русі об поверхню обмежує тіло.* отже:

$$P = \alpha \cdot n \cdot \frac{mw^2}{3} \quad \text{-уравнение Клаузиуса}$$

Або відповідно до (1.1):

$$P = \alpha \cdot n \cdot k \cdot T \quad (1.2)$$

де: n - концентрація молекул в тілі, що дорівнює:

$$n = \frac{N}{V}$$

N - кількість молекул в об'ємі тіла;

V - обсяг тіла;

α - коефіцієнт стисливості.

Коефіцієнт стисливості залежить від дійсних розмірів молекул і сил міжмолекулярної взаємодії. Він є функцією від температури і концентрації молекул.

Підставивши в (1.2) значення для n отримаємо:

$$P = \alpha \cdot \frac{kNT}{V} \quad (1.3)$$

У міжнародній системі одиниць СІ одиницею вимірювання тиску є: $1 \text{ н/м}^2 = 1 \text{ Па}$; $1 \text{ Торр} = 133,322 \text{ Па} = 1 \text{ мм рт. ст.}$; $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$.. В практиці застосовують і інші зручні для вимірювання одиниці:

$1 \text{ мм вод. ст.} = 9.80665 \text{ Па}$; $1 \text{ АТ (технічна атмосфера)} = 98.0665 \text{ кПа}$.

Обсяг

Обсяг - це простір, займане молекулами або атомами тіла. Цей параметр також характеризує стан тіла. У термодинаміки поряд з об'ємом часто використовують таке поняття, як питомий об'єм і щільність.

Питома обсяг - це обсяг одиниці маси або ваги тіла. Тобто:

$$\nu = \frac{V}{m} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} ;$$

Щільність - це маса 1 м^3 даної речовини. або:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} ;$$

Між питомим об'ємом і щільністю є очевидний зв'язок:

$$\nu = \frac{1}{\rho}$$

За аналогією прийнято вважати питому вагу:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

де: - $G = m \cdot g$ - вага речовини, g - вільне прискорення тіла.

З визначення молекулярної ваги в одному кілограм - **молі речовини** ($\mu \cdot 10^{-3} \text{ кг}$, де μ молекулярна вага даної речовини) міститься одне і те ж число молекул, що дорівнює:

$$N_A \cdot 10^3 = 6.0228 \cdot 10^{26}$$

де: $N_A = 6.0228 \cdot 10^{23}$ - число Авогадро.

ЛЕКЦІЯ 2

рівняння стану

Вище було сказано, що термічні параметри однозначно описують стан термодинамічної системи або тіла. Так, наприклад, нагрівання газу в замкнутому просторі, тобто вплив зовнішнього середовища на тіло, призведе до зростання його температури, а, отже, і тиску. Якщо простір з газом здатне змінюватися, то при нагріванні газ почне розширюватися, змінюючи свій обсяг.

Звідси випливає, що стан тіла характеризується трьома незалежними один від одного термічними параметрами. Тому аналітичне рівняння стану є, по суті, функція трьох змінних:

$$f(P, V, T) = 0$$

Цей вираз можна представити у вигляді функції одного термічного параметра від двох інших:

$$P = f(V, T), \quad V = f(P, T) ; \quad T = f(P, V) ;$$

Геометрично дані функції зображуються поверхнею в тривимірному системі координат, по осях якої відкладені термічні параметри. Кожна точка на поверхні відповідає стану системи.

Використання тривимірної системи координат незручно. Тому в термодинаміці зазвичай використовують двовірну систему координат. наприклад, $P = f(V)$. Функція тоді зображується лінією, а кожна точка лінії характеризує стан системи.

Ідеальний і реальний гази.

З чотирьох агрегатних станів будь-якої речовини: твердого, рідкого, газоподібного і плазмового, з точки зору термодинаміки, особливе місце займає газоподібне. У газах через хаотичного руху молекул взаємодії між ними мізерно малі. Крім того молекули газу завжди займають кінцевий обсяг. Тому гази здатні

швидко стискатися і розширюватися.

У термодинаміки така властивість газу ідеалізують - приймають, що молекули газу взагалі не взаємодіють один з одним, а кожна молекула не має обсяга.

Ідеальним газом називають газ, молекули якого це матеріальні точки, що не мають обсягу і взаємодій один з одним.

Вологий пар також відноситься до газоподібного стану, але властивості його все ж в відрізняються від газу. Пар легко конденсується, перетворюючись на рідину. В результаті цього обсягу, який займали молекули, починають займати найдрібніші частинки рідини. Розміри частинок рідини значно більше розмірів молекул і взаємодії між ними стає істотним. Тому:

Реальним газом в термодинаміки вважають пар.

1.3 Рівняння стану ідеального газу

Зв'язок між трьома тепловими параметрами дає формула тиску (1.3):

$$P = \alpha \cdot \frac{kNT}{V};$$

де кількість молекул в об'ємі можна виразити як:

$$N = \frac{G}{\mu} \cdot N_A \cdot 10^3;$$

тоді формула для тиску набуде вигляду:

$$P = \frac{G}{\mu} \cdot k \cdot N_A \cdot 10^3 \cdot \alpha \cdot \frac{T}{V} \quad (1.4)$$

$G = m \cdot g$ - вага речовини

Твір з константи Больцмана k на число молекул в 1 до моль речовини називають універсальною газовою постійною і позначають $\mu \cdot R$:

$$\mu \cdot R = k \cdot N_A \cdot 10^3 .$$

Числове значення універсальної газової постійної одно:

$$\mu R = 848 \text{ кдж/моль}$$

Ввівши в рівняння (1.4) універсальну газову постійну отримаємо остаточно:

$$P \cdot V = \alpha \cdot G \cdot R \cdot T .$$

Для ідеального газу коефіцієнт стисливості $\alpha = 1$, Так як міжмолекулярні взаємодії відсутні. тоді:

$$P \cdot V = \alpha \cdot G \cdot R \cdot T .$$

величина R , Що дорівнює:

$$R = \frac{\mu R}{\mu} ,$$

називають газовою постійною. Значення газової постійної для різних речовин можна знайти в термодинамічних довідниках.

Рівняння стану в питомих одиницях, тобто для 1 кг речовини має співвідношення:

$$P \cdot v = R \cdot T \quad (1.6)$$

Рівняння (1.5) і (1.6) називається Рівнянням Клапейрона- Менделєєва для

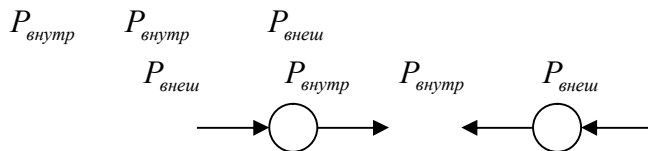
ідеального газу.

Встановлено, що різні гази при однакових p і T мають рівні обсягів по ми одного благаючи. Наприклад, при $p = 100$ кПа (1 атм) і $T = 273$ К $v_m = 22$ м³ /кмоль. Так як v_m однаковий для всіх газів, то слід, що $R_m = P \cdot v_m / T$ не залежить від роду газу і є однаковою для всіх газів. Вона називається уні версальна газовой постійної $R_m = 8314$ Дж / кмольК, так як для повітря $\mu = 29$ кг / кмоль, то $R = 287$ Дж / КГК

1.4 Рівняння стану реальних газів

Реальний газ має кінцевий розмір молекул і міжмолекулярної взаємодії. Тому рівняння Клапейрона - Менделєєва може бути застосоване лише при великому розрідженні газу (малої щільності).

Сили взаємного тяжіння молекул перешкоджають розльоту молекул, а, отже, діють в тому ж напрямку, що і сили зовнішнього тиску.



При малих відстанях між молекулами виникають великі сили відштовхування, через що обсяг не може бути зменшений нижче певної межі, який визначається власним об'ємом всіх молекул газу. позначимо його b , з розрахунку на 1 кг газу.

Щоб врахувати дію цих сил, достатньо додати до зовнішнього тиску деякий додатковий член, який називається внутрішнім або молекулярним тиском. Так як сумарна молекулярна сила тяжіння двох малих частин газу пропорційна добутку кількостей молекул в цих частинах, тобто квадрату щільності, то:

$$P_{\text{внутр}} = P_{\text{мол}} = \frac{a}{v^2};$$

де: a - деякий коефіцієнт.

Ввівши дані поправки в рівняння Клапейрона - Менделєєва отримаємо такий вираз:

$$(P + \frac{a}{v^2}) \cdot (v - b) = RT \quad (1.7)$$

Цей вираз називають рівнянням Ван-дер-Ваальса. Воно характеризує стан реального газу.

коефіцієнти a і b розглядаються як константи, які залежать від природи речовини. Вони визначаються за такими формулами:

$$a = \frac{27}{64} \cdot \frac{R^2 T_k^2}{P_k}; \quad b = \frac{1}{8} \cdot R \cdot \frac{T_k}{P_k};$$

де: P_k - критичний тиск даної речовини;

T_k - абсолютна критична температура речовини;

R - газова постійна даної речовини.

Фізичний сенс критичних параметрів - взаємне перетворення рідкої і

газоподібної фаз. Наприклад, скраплення газу можливе лише за умови: $T < T_k$ і $P < P_k$.

1.5 Термодинамічний процес

При зміні зовнішніх умов, в яких знаходиться термодинамічна система, будуть змінюватися і її термічні параметри а, отже, і її стан.

Послідовна зміна станів системи називається термодинамічним процесом.

Процеси бувають рівноважні і нерівноважні.

рівноважний процес це сукупність послідовно прохідних системою рівноваг.

У тому випадку, коли в кожен момент процесу система не перебуває в стані рівноваги, то такий процес називають нерівновагим. У нерівноважному стані термічні параметри системи не визначаються зовнішніми умовами. Тому для того, щоб характеризувати нерівноважний стан необхідно, на відміну від рівноважного процесу, задавати ще один або кілька параметрів (наприклад, розподіл щільності тіла).

Залежно від фізичних умов розрізняють такі **найпростіші процеси**:

- *ізотермічний* процес, який характеризується постійністю температури системи протягом всього процесу ($T = \text{const}$) ;

- *ізобарний* процес, що проходить при сталості тиску системи ($P = \text{const}$) ;

- *Ізохоричний* процес, при якому обсяг тіла залишається протягом всього процесу незмінним ($V = \text{const}$) .

Іншими словами, термодинамічний процес характеризується умовою $X = \text{const}$, де X є одним із зовнішніх або внутрішніх параметрів системи або деяка функція їх.

Особливе місце в термодинаміці займають *замкнуті* або *кругові* процеси. До них відносяться процеси, при яких система, пройшовши ряд послідовних станів, приходить в початковий стан. Круговий процес зазвичай називають циклом.

Графічне зображення рівноважного процесу в термодинамічній просторі (система координат, в якій по осях відкладені термічні параметри P, V, T) Зображується лінією, кожна точка на якій відповідає стану системи. Нерівноважні процеси, що характеризують швидким протіканням, мають в різних частинах тіла різні параметри і не мають для всього тіла певного значення.

Тому лінією вони зображуватися не можуть.

1.6 Рівноважні, нерівноважні и квазірівноважні термодинамічні процеси

У термодинаміки розрізняють також оборотні і необоротні процеси.

Оборотним процесом називають будь-який процес, який може проходити як в прямому, так і в протилежному напрямку. Притому при зворотному процесі система проходить через все ті ж стану, що й в прямому процесі, але в зворотному порядку і так, що в самій системі або навколишньому середовищу не виникають не якісь зміни.

Процеси, які не задовольняють вище сказаним умов, називаються необоротними.

Як незворотних процесів можна навести процеси передачі тепла між тілами з різною температурою. Процес не може бути оборотним, так як тепло мимоволі переходить від тіла з вищою температурою до тіла з низькою. Для переходу тепла навпаки необхідно затратити роботу.

Іншим прикладом може служити процес розширення газу в вакуум. При розширенні в порожнечу робота не витрачається, тобто дорівнює нулю, а при стисненні необхідно затратити роботу на подолання опору і тертя. Це вже веде до зміни зовнішнього середовища.

З наведених прикладів випливає, що будь-який **нерівноважний** процес зміни стану системи є незворотним, а рівноважний процес - оборотним.

У термодинаміці прийнято застосовувати наступну термінологію: якщо процес відбувається в замкнутій системі, то вживають терміни «оборотний» і «незворотний», якщо в незамкненою - «рівноважний» і «нерівноважний».

ЛЕКЦІЯ 3

1.7 Теплоємність и фактори на неї впливають: види теплоємності, теплоємність газів

Робота процесу

Розглянемо найпростішу термодинамічну систему: циліндр з поршнем, в якому знаходиться газ, рис.1.

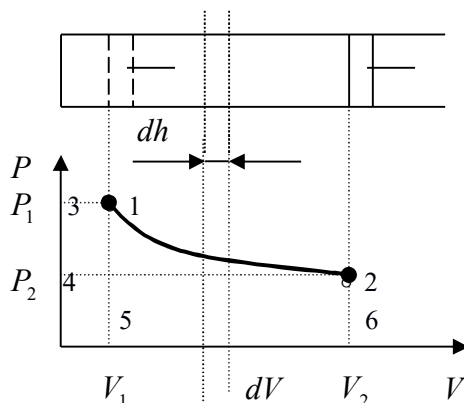


рис.1

При переміщенні поршня на нескінченно малу відстань dh обсяг газу змінюється на величину dV . Відстань пов'язано з об'ємом очевидним співвідношенням:

$$dV = \Omega \cdot dh;$$

де: Ω - площа поршня.

Сила, що діє з боку поршня на газ, дорівнює добутку тиску зовнішнього середовища P' на площу поршня Ω :

$$F = P' \cdot \Omega;$$

Тоді робота, що здійснюється газом при зміні обсягу на величину dV , Буде:

$$dL = F \cdot dh = P' \cdot \Omega \cdot dh = P' \cdot dV$$

Ця робота здійснюється термодинамічною системою над зовнішнім

середовищем.

Якщо процес, здійснений системою, рівноважний, тиск зовнішнього середовища P' одно за величиною і протилежно по напрямку тиску тіла P :

$$P' = P$$

У цьому випадку робота може бути переписана у вигляді:

$$dL = P \cdot dV$$

Робота, здійснена системою при кінцевому зміні її обсягу від V_1 до V_2 при рівноважному процесі визначається виразом:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \quad (1.8)$$

тиск P залежить не тільки від обсягу тіла V , Але і від його температури T . Отже, при переході з 1 стану у 2 ст перехідних точках тиск буде мати різне значення в залежності від величин температури і об'єму, тобто перехід може здійснюватися по-різному закону (кривим). Робота системи при цьому буде різна. Звідси: робота залежить від шляху переходу системи з початкового в кінцевий стан, тобто є функцією процесу, а не стану.

Робота, що здійснюється системою проти зовнішніх сил при збільшенні обсягу, називають роботою розширення. Вона має позитивний знак. Якщо робота виконується зовнішніми силами проти системи при зменшенні обсягу, то така робота називається роботою стиснення і має негативний знак.

Слід зазначити, що робота може відбуватися не обов'язково зі зміною обсягу тіла. Наприклад, робота, здійснена проти електричних, магнітних та інших сил. Тому в загальному випадку робота буде дорівнює сумі робіт:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV + L_v \quad (1.9)$$

При зміні стану системи, яка знаходиться в зовнішньому середовищі, наприклад при збільшенні обсягу системи від V_1 до V_2 , Обсяг навколишнього середовища зменшується на величину $V_1 - V_2$, А тиск змінюється від P'_1 до P'_2 . При цьому навколишнє середовище здійснює роботу:

$P'_1 \cdot V_1 - P'_2 \cdot V_2$. Тоді загальна робота, яка може бути проведена в результаті даного процесу буде дорівнює сумі робіт:

$$L' = \int_1^2 P' \cdot dV - P'_2 \cdot V_2 + P'_1 \cdot V_1 + L_v \quad (1.10)$$

і є корисною зовнішньої роботою.

Значення інтеграла має вигляд:

$$\int_1^2 P' \cdot dV = P'_2 \cdot V_2 - P'_1 \cdot V_1 - \int_1^2 V \cdot dP'$$

Підставивши значення інтеграла в (1.10) отримаємо:

$$L' = - \int_1^2 V \cdot dP' + L_v \quad (1.11)$$

Графічно робота термодинамічної системи є площа 1-5-6-2, укладену між лінією процесу і віссю обсягу. Це впливає з інтеграла (1.8).

Корисна зовнішня робота зображується площею 1-3-4-2, відповідно до інтегралом (1.11).

Якщо термодинамічна система здійснює круговий процес, рис.2, то робота на відрізку процесу $1 \rightarrow 2$ буде позитивна і зображується площею $1-a-2-b-1$. А робота на ділянці $2 \rightarrow 1$ - це робота стиснення, вона негативна і еквівалентна площі $1-b-2-V_2-V_1$. Стає очевидним, що сумарна робота кругового процесу буде дорівнює

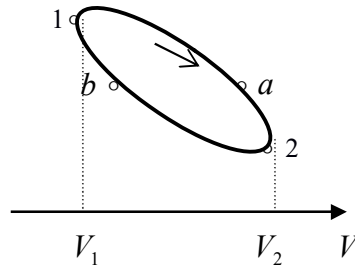


Рис.2.

різниці між роботою розширення і роботою стиснення, яка відповідно до рис.2 еквівалентна площі, обмеженою замкнутою лінією процесу.

Теплота процесу. теплоємність

Як було сказано вище, **термодинаміка вивчає закони перетворення тепла в роботу і назад**. Отже, в термодинамічних процесах до системи підводиться або відводиться тепло. В результаті підведення до тіла тепла температура його змінюється. Дана зміна залежить від зовнішніх умов або від характеру процесу.

Відношення кількості тепла, отримане тілом при нескінченно малому процесі, до зміни температури тіла при цьому називається теплоємністю тіла. Вона виражається аналітичної залежністю:

$$C = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_x \quad (1.12)$$

Чисельно теплоємність дорівнює кількості тепла, яке необхідно повідомити тілу, щоб за даних умов змінити його температуру на 1° . Теплоємність залежить від умов, при яких протікає процес підведення тепла. На це вказує індекс x при приватної похідною, що означає, що процес відбувається певним чином при сталості будь-якого параметра x .

Особливе місце в термодинаміці займають теплоємності при постійному тиску і об'ємі, тобто:

$$C_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_p; \quad C_v = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_v \quad (1.13)$$

Відповідно до виразом (1.12):

$$dQ = C_x \cdot dT$$

тоді загальне кількості тепла, отримане тілом, визначиться інтегралом:

$$Q = \int_1^2 C_x \cdot dT \quad (1.14)$$

Інтеграл (1.14) береться по шляху процесу, тобто по кривій, рівняння якої є $X = const$, Від початкового стану 1 до кінцевого 2. Іншими словами, кількість тепла Q є функція процесу, а не стану тіла.

У термодинаміки існують таке поняття, як середня теплоємність. Середня

теплоємність в інтервалі температур від T_1 до T_2 визначається рівнянням:

$$C_{xm} = \frac{Q_{1-2,x}}{T_2 - T_1}$$

Скориставшись рівнянням для тепла (1.14), отримаємо наступне:

$$C_{xm} = \frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_x \cdot dT \quad (1.15)$$

де: C_x - справжня теплоємність даного процесу. Справжня теплоємність є функцією термічних параметрів тіла.

1.8 Газові суміші

Розглянемо суміш ідеальних газів. Як за параметрами окремих газів знайти параметри їх суміші?

масовою часткою g_i називається відношення маси даного компонента M_i

до загальної маси суміші M_{cm} :

$$g_i = M_i / M_{cm}$$

де маса суміші дорівнює сумі мас компонентів.

парціальним тиском p_i називається тиск, який створював би даний компонент суміші, якби він один займав при даній температурі весь об'єм суміші.

Відповідно до закону Дальтона сума парціальних тисків ідеальних газів дорівнює повному тиску суміші.