

Cuprins

Cuvânt înainte	9
Obiectul de studiu al Termotehnicii	11
Introducere în Termodinamica tehnică.....	11
Clasificarea sistemelor termodinamice	12
Aplicație 1	12
Ecuția gazelor perfecte.....	13
Ecuția gazelor reale, van der Waals	15
Aplicație 2	16
Mărimi fizice și unități de măsură utilizate în termodinamică.....	17
Aplicație 3	20
Aplicație 4	20
Aplicație 5	22
Principiul zero al termodinamicii.....	25
Procese termodinamice.....	26
Mărimi termodinamice de proces.....	26
Mărimi termodinamice de stare energetice.....	29
Energia internă.....	29
Entalpia.....	30
Relația dintre entalpie și energie internă.....	32
Principiul întâi al termodinamicii	33
Aplicație 6	35
Aplicație 7	36
Aplicație 8	37
Aplicație 9	38
Aplicație 10.....	39
Aplicație 11.....	40
Procese termodinamice particulare pentru gaze	41
Transformarea izotermă	41
Calculul lucrului mecanic izoterm	42
Transformarea izobară	43
Calculul lucrului mecanic izobar	44

Calculul căldurii schimbate cu mediul	45
Transformarea izocoră.....	45
Lucrul mecanic izocor	46
Transformarea adiabată	46
Calculul lucrului mecanic adiabat.....	48
Procesul politrop	49
Aplicație 12.....	51
Principiul al doilea al termodinamicii	55
Cicluri termodinamice	55
Formularea principiului al doilea al termodinamicii.....	57
Ciclul Carnot.....	58
Entropia	61
Calculul variației de entropie pentru sisteme termodinamice închise	62
Aplicație 13.....	64
Energia liberă	65
Entalpia liberă	66
Variația de entropie în procesele reversibile ale gazelor perfecte reprezentate în diagrama T-S.....	69
Transformarea izotermă	70
Transformarea izobară	71
Transformarea izocoră.....	72
Transformarea adiabată.....	73
Procese termodinamice ireversibile.....	74
Laminarea gazelor (efectul Joule – Thomson).....	74
Calculul variației de entropie la laminarea gazelor	76
Calculul variației de entalpie liberă la laminarea gazelor	76
Amestecarea a două fluide în curgere cu temperaturi diferite.....	77
Principiul al treilea al termodinamicii.....	80
Diagrame termodinamice pentru apă.....	83
Diagrama presiune-volum (p-V).....	83
Diagrama temperatură-entropie (T-S)	85
Diagrama entalpie – entropie, H-S.....	86
Utilaje mecano – energetice	88
Mașini termodinamice	89
Pompa cu piston pentru pompare lichide	89
Compresor într-o singură treaptă.....	91
Motorul cu ardere internă în patru timpi.....	92
Motorul cu ardere internă în doi timpi.....	97
Motorul Stirling.....	99
Aplicație 14: Calculul randamentului unui motor Stirling.....	102
Motorul Stirling beta	104

Motorul Stirling de tip gama	106
Turbine cu abur	107
Funcționarea turbinei cu abur.....	108
Turbina cu gaz.....	110
Aplicație 15: Incinerarea deșeurilor menajere, urmată de ardere cu recuperare a energiei gazelor	112
Concluzii aplicație.....	125
Pompa de căldură	125
Pompa de frig	127
Aparate de schimb de căldură.....	127
Transmisia căldurii în mașini mecano – energetice	128
Metodă de dimensionare a unui schimbător de căldură pentru răcirea indirectă a gazelor	133
Temă de casă.....	139
Determinare număr trepte compresor cu piston	139
Determinarea parametrilor de operare.....	142
Dimensionarea tehnologică a treptelor compresorului	144
Calculul puterii utile a compresorului.....	147
Determinarea debitului de ulei de răcire.....	150
Dimensionarea conductelor de transport a aerului comprimat	152
Bibliografie.....	155
Referințe internet	155

Cuvânt înainte

Acest curs este destinat studenților care se specializează în profilul de „Inginerie economică industrială” al Facultății de Inginerie Managerială, care funcționează în cadrul Universității Ecologice din București. Prin predarea acestui curs, se dorește înțelegerea proceselor însoțite de efecte termice, care, împreună cu procesele de curgere vor corobora în descrierea și funcționarea utilajelor mecano-energetice care vor fi descrise într-un curs viitor, la nivelul studiilor de master. Cursul din această carte poate fi urmărit și înțeles independent de alte discipline predate, pentru ca împreună cu Mecanica fluidelor să ajute la înțelegerea utilajelor din industria chimică, metalurgică sau a materialelor de construcții. Învățarea proceselor mecanice și calorice este în deplin consens cu profilul de Universitate Ecologică de folosire eficientă a energiei cu orientare spre energii regenerabile. Cursul conține un număr de aplicații pentru seminar și o temă de lucru independent.

Obiectul de studiu al Termotehnicii

Prin **tehnică** se înțeleg metode și capacități pentru aplicații practice ale științelor naturii și pentru producția unor obiecte industriale, meșteșugărești sau artistice.

Termotehnica este ramura tehnicii care studiază utilizarea căldurii în scopuri industriale sau casnice. Termotehnica se subdivide în termodinamică tehnică și procese de transfer de căldură.

Termodinamica tehnică cuprinde studiul energetic al utilajelor termice (motoare, mașini frigorifice, pompe de căldură, turbine cu gaze, turbine cu abur, cazane).

Procesele de transfer de căldură cuprind studiul transferului căldurii în schimbătoarele de căldură, precum și în studiul încălzirii și răcirii corpurilor.

Introducere în Termodinamica tehnică

Sistemul este un ansamblu de elemente care au cel puțin o caracteristică comună și este delimitat astfel încât să cuprindă toate elementele constituente. Ceea ce se află în afara sistemului reprezintă mediul pentru sistem, cu care se află în interacțiune.

Termodinamica reprezintă dinamica particulelor constituente ale unui sistem sub influența temperaturii.

Temperatura reprezintă o măsură a energiei interne a unui sistem.

Energia internă a unui sistem reprezintă gradul de agitație termică a particulelor componente.

Sistemul termodinamic se definește ca o cantitate de materie, delimitată în spațiu cu frontiere fixe sau mobile, formată dintr-un număr

foarte mare de particule aflate în anumite condiții și între care au loc interacțiuni fizice sau chimice sub efect termic.

Clasificarea sistemelor termodinamice

- 1) Din punct de vedere al schimbului de materie
 - a. Deschise, adică fac schimb de materie cu mediul; exemplu: admisia sau refularea aerului din compresor
 - b. Închise, adică nu fac schimb de materie cu mediul; exemplu: comprimarea sau destinderea aerului într-un cilindru cu piston
- 2) Din punct de vedere al schimbului de energie termică
 - a. Care fac schimb de căldură cu mediul
 - b. Izolate termic.

Sistemul termodinamic este caracterizat prin **parametri de stare**. Parametrii de stare definesc starea sistemului termodinamic. Numărul de parametri de stare care definesc univoc starea sistemului constituie numărul de grade de libertate, N și aceștia se aleg în funcție de posibilitatea de a măsura mărimile fizice respective sau de modul de reprezentare grafică a stărilor sistemului. Ceilalți parametri de stare sunt dependenți și se calculează din corelații deduse din legi fizice. Numărul de grade de libertate se calculează din relația:

$$l = (c - r) + 2 - f \quad (1)$$

c reprezintă numărul de componenți, adică numărul de particule (substanțe) din care este alcătuit sistemul termodinamic.

r reprezintă numărul de reacții chimice independente din sistem.

f reprezintă numărul de faze prezente în sistem (exemplu: stare solidă, stare lichidă, stare de vapori sau fracții nemiscibile, cum ar fi în sistemul apă + ulei).

Aplicație 1

Să se determine numărul de grade de libertate pentru aer închis într-o incintă de volum variabil.

Component: aerul

$$c = 1$$

Nu sunt reacții chimice.

$$r = 0$$

Fază: gazoasă

$$f = 1$$

Numărul de grade de libertate se calculează aplicând relația (1):

$$l = (1 - 0) + 2 - 1 = 2$$

Parametrii de stare disponibili sunt: numărul de moli, n , presiune, p , volum, V și temperatură, T . Numărul de moli este constant, incinta în care se află aerul fiind închisă. Ceilalți parametri de stare pot varia, dar numai doi dintre aceștia sunt independenți, conform numărului de grade de libertate, al treilea fiind calculat în funcție de ceilalți doi. Relația de calcul dintre acești parametri o constituie ecuația gazelor.

Ecuația gazelor perfecte

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (2)$$

p : presiune

V : volumul

n : numărul de moli

R : constanta gazelor perfecte, $R = 8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{grad})$

T : temperatura, °C

Această ecuație arată că în sistemele termodinamice închise (fără schimb de masă) există trei parametri de stare: p , V și T . Numărul de moli este constant. Din acești trei parametri, numai doi pot varia independent, iar al treilea parametru de stare va varia în funcție de ceilalți doi.

Ipotezele gazelor ideale:

- Moleculile gazelor sunt perfect sferice și elastice
- Volumul propriu al moleculelor este neglijabil în raport cu volumul ocupat de gaz
- Forțele de coeziune moleculară sunt nule

- Traectoria unei molecule între două ciocniri consecutive este o linie dreaptă

Numărul de moli de gaz se calculează cu relația:

$$n = \frac{m}{M} \quad (3)$$

m : masa gazului

M : masa moleculară a gazului

Din ecuația gazelor ideale, se determină relația de calcul a densității gazelor în aceste condiții:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n}{V} \cdot M = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad (4)$$

$$\langle p \rangle_{SI} = Pa = N/m^2 = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

$$\langle V \rangle_{SI} = m^3$$

$$\langle n \rangle_{SI} = kmol$$

$$\langle m \rangle_{SI} = kg$$

$$\langle M \rangle_{SI} = \frac{kg}{kmol}$$

$$\langle R \rangle_{SI} = \frac{J}{kmol \cdot K}$$

$$R = 8314 J/(kmol \cdot K)$$

$$\langle T \rangle_{SI} = K$$

A se avea în vedere că temperatura se măsoară în Kelvin, în sistemul internațional de unități.

Analiză dimensională a ecuației gazelor perfecte:

$$Pa \cdot m^3 = kmol \cdot \frac{J}{kmol \cdot K} \cdot K \Rightarrow Pa \cdot m^3 = J$$

Din această analiză, rezultă că energia poate reprezenta produsul dintre presiune și volum, fiind utilizată în relația lui Bernoulli ca energie intrată, $E_1 = p_1 \cdot V_1$, sau energie ieșită, $E_2 = p_2 \cdot V_2$, din volumul de control sub formă de energie de presiune sau ca energie pierdută prin frecare, $E_f = \Delta p_f \cdot V$.

Dacă se cunosc presiunea și volumul ca variabile independente, din ecuația gazelor perfecte (2):