

RADU CĂLIMAN MIRELA GHEORGHIAN

**TRANSMITEREA CĂLDURII
ȘI
SCHIMBĂTOARE DE
CĂLDURĂ**

EDITURA ALMA MATER

CUPRINS

Introducere	11
Notații principale	13

PARTEA I CONDUȚIA CĂLDURII

Noțiuni fundamentale	19
1. Câmpul de temperatură și gradientul de temperatură	19
2. Legea lui Fourier	21
3. Ecuația diferențială a câmpului de temperatură	23
4. Condiții de univocitate în problemele de conducție a căldurii	25
5. Conducția unidimensională staționară fără surse interne de căldură	28
5.1 Perete plan cu temperaturi impuse ale fețelor	28
5.2 Perete cilindric cu temperaturi impuse ale fețelor	32
5.3 Perete sferic cu temperaturi impuse ale fețelor	36
5.4 Distribuția temperaturii și conducția căldurii prin pereți cu aripioare	37
5.4.1 Aripioare sub formă de bare	37
5.4.1.1 Randamentul aripioarei	41
5.4.2 Cazul aripioarelor plane	42
5.4.3 Aripioare circulare	43
5.4.4 Considerații cu privire la utilizarea în tehnică a suprafețelor de schimb de căldură cu aripioare	45
6. Metoda relaxării în calculul conducției staționare și pluridimensionale a căldurii	49
7. Conducția staționară unidimensională cu surse interne de căldură distribuite uniform	52
8. Conducția căldurii în regim nestaționar fără surse interne de căldură	56
8.1 Conducția nestaționară a căldurii în procese de egalizare a temperaturii	58
8.1.1 Temperatura suprafeței peretelui de grosime infinită variază instantaneu	58
8.1.2 Temperatura mediului exterior variază instantaneu și rămâne apoi constantă (perete de grosime infinită)	62
8.1.3 Conducția nestaționară a căldurii pentru corpuri cu forme geometrice regulate în condiții la limită de speța I și III	63
8.2 Conducția căldurii în regim nestaționar la temperaturi periodic variabile ale suprafeței, respectiv ale mediului ambiant	65
8.3 Soluții aproximative numerice și grafice ale problemelor de conducție nestaționară a căldurii	70
9. Coeficientul de conductibilitate termică	73
10. Metode experimentale de cercetare a fenomenelor de conducție termică	75
Bibliografie	81

PARTEA a II-a
CONVECȚIA ȘI TRECEREA CĂLDURII

Generalități	82
11. Influența parametrilor fizici ai fluidului, a condițiilor de curgere și a celor geometrice asupra procesului de trecere a căldurii	83
11.1 Parametrii fizici ai fluidului și trecerea căldurii	83
11.2 Regimul de curgere și stratul limită hidrodinamic și termic	85
11.3 Caracteristicile geometrice ale sistemului și procesul de trecere a căldurii	91
12. Ecuațiile diferențiale ale trecerii căldurii la curgerea laminară a fluidului	91
12.1 Ecuația energiei pentru curgerea cu frecări	92
12.2 Ecuațiile mișcării unui fluid vâscos incompresibil	95
12.3 Ecuația continuității	100
13. Trecerea căldurii în cazul curgerii turbulente a fluidului	102
13.1 Ecuațiile diferențiale de trecere a căldurii la curgerea turbulentă	102
13.2 Analogia între transferul turbulent de căldură și cel al cantității de mișcare pentru stratul limită turbulent	106
14. Teoria similitudinii aplicată în procesele de trecere a căldurii	111
15. Observații asupra modului de utilizare a ecuațiilor criteriale	119
16. Exemplu de calcul analitic al trecerii căldurii în condițiile de stabilizare hidrodinamică și termică, pentru fluide care curg în interiorul unei țevi drepte	128
17. Considerații cu privire la teoria hidrodinamică a trecerii căldurii	132
18. Stabilirea ecuațiilor criteriale cu ajutorul analizei dimensionale	137
19. Gruparea ecuațiilor de calcul pentru diferite cazuri de trecere a căldurii	139
20. Trecerea căldurii la condensarea vaporilor puri	141
20.1 Condensarea peliculară a vaporilor puri în repaus	142
20.1.1 Pelicula de condens curge laminar	142
20.1.2 Pelicula de condens curge turbulent	145
20.1.3 Condensarea peliculară a aburului supraîncălzit și saturat umed	146
20.2 Condensarea peliculară a vaporilor în mișcare	146
20.3 Condensarea în picături a vaporilor puri	146
21. Trecerea căldurii la vaporizarea lichidelor	147
Bibliografie	152

PARTEA a III-a
RADIAȚIA TERMICĂ

Generalități	154
22. Noțiuni fundamentale. Legile radiației	155
22.1 Natura fizică a fenomenului de radiație	155
22.2 Absorbția, reflexia și permeabilitatea corpurilor	156
22.3 Legile radiației	157
22.3.1 Legea lui Planck	157
22.3.2 Legea lui Wien	159
22.3.3 Legea lui Stefan-Boltzmann	160
22.3.4 Legea lui Kirchhoff	162
22.3.5 Legea lui Lambert	163

23. Schimbul de căldură prin radiație între corpuri solide opace, separate printr-un mediu diaterm	165
23.1 Plăci plane paralele	165
23.2 Radiația între un corp și învelișul său	169
23.3 Radiația între două corpuri dispuse arbitrar în spațiu	170
23.4 Modelarea electrică a proceselor de schimb de căldură prin radiație	174
23.5 Eficiența ecranelor de radiație	175
24. Absorbția și radiația gazelor și vaporilor	178
24.1 Particularitățile radiației corpurilor gazoase	178
24.2 Ecuații de calcul al radiației gazelor (vaporilor)	179
25. Schimbul de căldură prin radiație între gaze și pereți	183
26. Radiația flăcării	185
27. Radiația solară	186
28. Coeficientul de radiație termică	188
Bibliografie	189

PARTEA a IV-a
TRANSMITEREA COMPUSĂ DE CĂLDURĂ

Generalități	190
29. Transmiterea compusă de căldură în regim staționar	191
29.1 Cazul peretelui plan format din unul sau mai multe straturi omogene	191
29.2 Perete cilindric format din unul sau mai multe straturi omogene	193
29.3 Transmiterea căldurii prin pereți sferici	197
29.4 Pereți cu aripioare	198
30. Considerații cu privire la soluționarea unor probleme tehnice de frânare și de intensificare a transmiterii căldurii	200
Bibliografie	205

PARTEA a V-a
APARATE DE SCHIMB DE CĂLDURĂ

Generalități, definiții, clasificări	206
31. Calculul termic al schimbătoarelor de căldură fără schimbarea stării de agregare a fluidelor cu perete despărțitor	208
31.1 Determinarea debitului de căldură ce se schimbă între cei doi agenți de lucru ..	209
31.2 Determinarea diferenței medii de temperatură Δt_m între cei doi agenți de lucru ..	211
31.3 Determinarea diferenței medii de temperatură pentru schimbătoarele de căldură prin suprafață fără schimbarea stării de agregare a fluidelor de lucru cu o curgere în echicurent și în contracurent a acestora	216
31.4 Determinarea diferenței medii de temperatură pentru aparate cu curgerea încrucișată a fluidelor	219
31.5 Determinarea coeficientului global de transfer de căldură k pentru aparatele de schimb de căldură prin suprafață	224
31.6 Calculul termic de verificare a schimbătoarelor de căldură	225
31.6.1 Metoda eficiență termică ε - număr de unități de transfer de căldură NTC	227

31.6.2 Metoda $\theta - P - R - NTC$	234
31.7 Depuneri în schimbătoarele de căldură	236
31.7.1 Metoda factorului de murdărire β	237
31.7.2 Metoda rezistenței termice a depunerilor R_d	238
32. Schimbătoare de căldură cu acțiune discontinuă de tip cu acumulare și regeneratoare	239
32.1 Calculul termic al boilerelor ce folosesc ca agent încălzitor apa	239
32.2 Calculul termic al boilerelor care folosesc ca agent încălzitor aburul saturat	242
32.3 Schimbătoare de căldură regeneratoare	243
32.4 Schimbătoare de căldură de suprafață cu schimbarea stării de agregare a agenților termici	247
33. Schimbătoare de căldură fără schimbarea stării de agregare a fluidelor și fără perete despărțitor	250
33.1 Încălzitoare prin amestec	251
33.2 Turnuri de răcire și bazine cu pulverizatoare	252
33.3 Camere de pulverizare	256
33.4 Scrubere	259
34. Tipuri constructive și funcționale de schimbătoare de căldură	262
Bibliografie	