

Tudor SAJIN

**INSTALAȚII DE ARDERE
ȘI
GENERATOARE DE ABUR**



**Editura ALMA MATER
BACĂU**

2002

CUPRINS

INTRODUCERE	11
CAPITOLUL 1. GENERALITĂȚI	13
1.1. Caracteristici tehnice.....	13
1.2. Schema generală a cazanului. Principiu de funcționare.....	13
1.3. Parametrii principali ai generatoarelor de abur.....	19
1.4. Clasificarea generatoarelor de abur.....	19
1.5. Surse de alimentare cu căldură.....	21
CAPITOLUL 2. CALCULUL COMPONENTELOR PROCESULUI DE ARDERE	23
2.1. Bilanțul material și energetic al cazanului de abur.....	23
2.1.1. Bilanțul material.....	23
2.1.2. Bilanțul energetic.....	24
2.2. Calculul componentelor procesului de ardere a combustibililor în cazul arderii complete (calcul de proiectare).....	24
2.2.1. Calculul componentelor la arderea completă a combustibililor solizi și lichizi.....	24
2.2.1.1. Calculul valorilor teoretice ale volumului și masei de aer necesar arderii unității de combustibil.....	24
2.2.1.2. Calculul componentelor gazelor de ardere rezultate din arderea unității de combustibil.....	28
2.2.1.3. Coeficientul de exces de aer.....	30
2.2.1.4. Calculul volumelor reale al aerului necesar arderii și al gazelor de ardere.....	30
2.2.1.5. Presiunile parțiale ale componentelor gazelor de ardere. Concentrația de cenușă antrenată.....	31
2.2.2. Calculul componentelor procesului de ardere a combustibililor gazoși în cazul arderii complete.....	31
2.3. Calculul componentelor gazelor de ardere în cazul arderii incomplete a combustibilului pe baza analizei chimice a gazelor de ardere (calcul de verificare în exploatare).....	34
2.3.1. Arderea incompletă a combustibililor solizi și lichizi.....	34
2.3.2. Arderea incompletă a combustibililor gazoși.....	39
2.4. Determinarea coeficientului de exces de aer pe baza analizei chimice a gazelor de ardere.....	41
2.5. Controlul procesului de ardere. Diagrama Ostwald.....	45
2.6. Calculul diagramei entalpie-temperatură.....	47
2.6.1. Diagrama entalpie-temperatură specială.....	47
2.6.2. Diagrama entalpie-temperatură universală.....	49
2.7. Calculul temperaturii teoretice a gazelor de ardere în cazul arderii teoretice.....	51
2.8. Temperatura punctului de rouă.....	51
2.9. Temperatura punctului de rouă acidă.....	52
2.10. Arderea la temperaturi înalte cu disocierea gazelor de ardere.....	54

**CAPITOLUL 3. CALCULUL PIERDERILOR DE CĂLDURĂ, RANDAMENTUL
ȘI CONSUMUL DE COMBUSTIBIL LA CAZANELE DE ABUR...57**

3.1. Bilanțul termic al cazanului.....	57
3.1.1. Calculul căldurii disponibile a unității de combustibil.....	57
3.1.2. Calculul căldurii utile preluată de fluidul de lucru în cazan.....	58
3.2. Calculul pierderilor de căldură.....	61
3.2.1. Pierdere de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic.....	61
3.2.1.1. Calculul pierderii de căldură Q_1	61
3.2.1.2. Metode de reducere a pierderii de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic.....	62
3.2.1.3. Implicațiile pierderii de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic asupra consumului de combustibil.....	62
3.2.2. Pierdere de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere chimic.....	63
3.2.2.1. Calculul pierderii de căldură Q_3	63
3.2.2.2. Metode de reducere a pierderii de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere chimic.....	64
3.2.3. Pierdere de căldură prin entalpia gazelor de ardere la evacuarea din cazan.....	64
3.2.3.1. Calculul pierderii de căldură Q_2	64
3.2.3.2. Metode de reducere a pierderii de căldură prin entalpia gazelor de ardere la evacuarea din cazan.....	64
3.2.4. Pierdere de căldură în mediul exterior prin pereții cazanului.....	65
3.2.4.1. Calculul pierderii de căldură Q_5	65
3.2.4.2. Metode de reducere a pierderii de căldură în mediul exterior prin pereții cazanului.....	66
3.2.5. Pierdere de căldură prin entalpia produselor solide ale arderii evacuate sub focar.....	66
3.2.5.1. Calculul pierderii de căldură Q_6	66
3.2.5.2. Metode de reducere a pierderii de căldură prin entalpia produselor solide ale arderii evacuate sub focar.....	68
3.3. Calculul randamentului cazanului.....	68
3.3.1. Calculul randamentului pe cale directă.....	68
3.3.2. Calculul randamentului pe cale indirectă.....	69
3.3.3. Calculul randamentului pentru diversele părți sau procese din cazan sau în situații speciale de funcționare.....	69
3.3.4. Metode de creștere a randamentului cazanului.....	70
3.4. Calculul consumului de combustibil.....	70
3.4.1. Calculul consumului de combustibil în regim stabilizat.....	70
3.4.2. Consumul specific de combustibil.....	70
3.4.3. Metode de reducere a consumului de combustibil.....	71
3.5. Variația pierderilor de căldură, randamentului și consumului de combustibil cu debitul cazanului.....	71
3.5.1. Variația pierderilor de căldură la variația debitului de abur al cazanului.....	71
3.5.2. Variația randamentului cu variația debitului de abur al cazanului.....	72
3.5.3. Variația consumului de combustibil cu variația debitului de abur al cazanului.....	73

CAPITOLUL 4. INSTALAȚII DE ARDERE.....	75
4.1. Clasificarea instalațiilor de ardere. Indici caracteristici.....	75
4.1.1. Clasificarea focarelor.....	75
4.1.2. Indici caracteristici ai focarelor.....	75
4.2. Elemente de teoria arderii combustibililor.....	78
4.2.1. Clasificarea proceselor de ardere.....	78
4.2.2. Viteza de ardere.....	78
4.2.3. Autoaprinderea.....	80
4.2.4. Jeturi turbulente în focare.....	82
4.2.5. Principii de ardere a combustibililor.....	85
4.3. Instalații de ardere a combustibililor gazeși.....	85
4.3.1. Probleme generale.....	85
4.3.2. Propagarea flăcării normale.....	87
4.3.3. Propagarea flăcărilor turbulente.....	89
4.3.4. Feluri de ardere a gazelor.....	91
4.3.5. Stabilitatea procesului de ardere.....	92
4.3.6. Construcția arzătoarelor de gaze.....	92
4.3.6.1. Clasificarea arzătoarelor.....	92
4.3.6.2. Calculul arzătoarelor de gaze cu autoaspirație.....	93
4.3.6.3. Calculul arzătoarelor de gaze cu jeturi ce pătrund în curentul de aer.....	94
4.3.6.4. Calculul arzătoarelor cu jet.....	102
4.3.6.5. Calculul lungimii flăcării la arzătoarele turbionare.....	103
4.3.6.6. Particularitățile constructive ale principalelor tipuri de arzătoare pentru combustibilii gazeși.....	105
4.3.7. Focare pentru arderea combustibililor gazeși.....	110
4.4. Instalații de ardere a combustibililor lichizi.....	111
4.4.1. Instalații de preîncălzire și pulverizare a combustibilului lichid.....	111
4.4.2. Pulverizarea combustibilului lichid.....	112
4.4.3. Caracteristicile jetului de combustibil lichid pulverizat.....	113
4.4.4. Construcția pulverizatoarelor de combustibil lichid.....	114
4.4.4.1. Construcția pulverizatoarelor mecanice.....	114
4.4.4.2. Pulverizatoare pneumatice.....	117
4.4.4.3. Pulverizatoare pneumomecanice.....	117
4.4.5. Calculul pulverizatoarelor.....	119
4.4.5.1. Determinarea dimensiunilor de bază ale pulverizatorului cu cameră de turbionare fără retur.....	122
4.4.5.2. Dimensionarea pulverizatoarelor cu cameră de turbionare și retur.....	124
4.4.6. Construcția arzătoarelor de combustibil lichid.....	126
4.4.7. Focare pentru arderea combustibililor lichizi.....	126
4.5. Instalații de ardere a combustibililor solizi.....	127
4.5.1. Pregătirea combustibililor solizi în vederea arderii.....	127
4.5.1.1. Mori de cărbune.....	127
4.5.1.2. Clasificarea sistemelor de pregătire a prafului (pentru măcinarea combustibililor solizi).....	128
4.5.1.3. Caracteristicile prafului de cărbune.....	134
4.5.1.4. Bilanțul termic al instalației de uscare a combustibilului solid.....	136
4.5.2. Instalații de ardere în strat a combustibililor solizi.....	138

4.5.2.1. Grătare fixe.....	139
4.5.2.2. Grătare mecanice.....	140
4.5.2.3. Focare pentru arderea cărbunilor cu conținut ridicat de praf.....	141
4.5.3. Instalații și arzătoare pentru arderea combustibililor solizi în stare pulverizată.....	142
4.5.3.1. Instalații de ardere a combustibililor solizi în stare pulverizată.....	142
4.5.3.2. Arzătoare pentru arderea combustibililor solizi în stare pulverizată.....	143
4.5.4. Focare pentru arderea combustibililor solizi în stare pulverizată.....	148
4.5.4.1. Focare cu evacuarea zgurei în stare solidă.....	148
4.5.4.2. Focare pentru arderea combustibililor solizi în stare pulverizată cu evacuarea zgurei în stare lichidă.....	149
4.5.5. Focare pentru arderea intensificată a combustibililor solizi.....	151
4.5.5.1. Focare ciclon.....	151
4.5.5.2. Focare turbionare.....	152
4.5.5.3. Focare rotative.....	153
4.5.5.4. Focare cu ardere în strat fluidizat.....	154
4.6. Metode de mărire a economicității instalațiilor de ardere.....	155
CAPITOLUL 5. TIPURI CONSTRUCTIVE DE CAZANE DE ABUR.....	159
5.1. Parametri de bază și indicii caracteristici ai cazanelor de abur.....	159
5.2. Cazane de abur cu circulație naturală.....	160
5.2.1. Cazane de abur cu volum mare de apă.....	160
5.2.1.1. Cazane de abur cu tub de flacăra.....	160
5.2.1.2. Cazane de abur cu tub de flacăra și țevi de fum.....	161
5.2.2. Cazane cu țevi de apă.....	161
5.2.2.1. Cazane secționale (cu țevi de apă cu înclinare mică).....	162
5.2.2.2. Cazane cu țevi de apă cu înclinare mare.....	163
5.3. Cazane cu circulație forțată a apei.....	164
5.3.1. Cazane cu circulație forțată multiplă.....	164
5.3.2. Cazane de abur cu străbater forțată.....	165
5.3.2.1. Cazanul Benson.....	165
5.3.2.2. Cazanul Ramzin.....	166
5.3.2.3. Cazanul Sulzer.....	166
5.4. Cazane speciale.....	167
5.4.1. Cazanul Velox.....	167
5.4.2. Cazanul Löffler.....	168
5.4.3. Cazane de apă fierbinte (CAF).....	169
5.4.4. Cazane recuperatoare.....	169
CAPITOLUL 6. ELEMENTE CONSTRUCTIVE ALE CAZANELOR DE ABUR.....	171
6.1. Construcția vaporizatorului.....	171
6.1.1. Construcția tamburului.....	171
6.1.2. Construcția colectoarelor sau camerelor de apă.....	171
6.2. Construcția supraîncălzitorului.....	171
6.2.1. Supraîncălzitoare convective.....	171
6.2.2. Supraîncălzitoare de radiație.....	174
6.2.3. Supraîncălzitoare de semiradiație (paravan).....	174
6.3. Construcția economizoarelor.....	174
6.3.1. Economizorul cu tuburi de fontă.....	175
6.3.2. Economizoare cu tuburi de oțel.....	176

6.4. Construcția preîncălzitoarelor de aer.....	177
6.4.1. Preîncălzitoare de aer recuperative.....	177
6.4.1.1. Preîncălzitoare de aer cu tuburi de fontă.....	177
6.4.1.2. Preîncălzitoare de aer cu plăci de oțel (buzunare).....	178
6.4.1.3. Preîncălzitoare de aer tubulare.....	178
6.4.2. Preîncălzitoare de aer regenerative.....	179
6.4.2.1. Preîncălzitorul de aer Ljungström.....	179
6.4.2.2. Preîncălzitorul de aer Rothemühle.....	180
CAPITOLUL 7. CALCULUL TERMIC AL CAZANELOR DE ABUR.....	181
7.1. Calculul temperaturilor gazelor de ardere.....	181
7.1.1. Calculul temperaturii maxime a gazelor de ardere în cazul arderii cu pierderi.....	181
7.1.2. Calculul temperaturilor înainte și după schimbătoarele de căldură pe partea gazelor de ardere.....	181
7.2. Calculul schimbului de căldură prin radiație în focar.....	183
7.2.1. Calculul simplificat al suprafeței de radiație din focar cu ajutorul legii Stephan-Boltzmann.....	183
7.2.2. Alte metode de calcul termic.....	186
7.3. Calculul termic al suprafețelor convective și de semiradiație.....	186
7.3.1. Determinarea suprafeței de schimb de căldură.....	186
7.3.2. Coeficientul global de schimb de căldură.....	188
7.3.3. Schimbul de căldură prin convecție.....	190
7.3.4. Schimbul de căldură prin radiație.....	193
7.3.5. Diferența medie de temperatură.....	195
7.3.6. Viteza gazelor de ardere și a fluidului de lucru.....	198
7.3.7. Calculul suprafețelor de semiradiație și convecție.....	201
CAPITOLUL 8. CALCULUL AEROGAZODINAMIC AL CAZANELOR DE ABUR.....	207
8.1. Calculul pierderilor de presiune.....	208
8.1.1. Calculul pierderii de presiune prin frecare.....	208
8.1.2. Calculul pierderilor de presiune prin suprafețele de schimb de căldură.....	212
8.1.3. Calculul pierderii de presiune prin rezistențe locale.....	218
8.2. Calculul autotirajului.....	228
8.3. Calculul pierderii totale de presiune pe traseul aerului și gazelor de ardere.....	229
8.4. Calculul debitului și puterii ventilatoarelor de aer și de gaze de ardere.....	229
CAPITOLUL 9. PROCESE FIZICO-CHIMICE DIN CIRCUITUL APĂ-ABUR.....	231
9.1. Impuritățile din apă. Indicii apei de alimentare.....	231
9.1.1. Indicii de calitate ai apei de alimentare.....	233
9.1.1.1. Duritatea.....	233
9.1.1.2. Alcalinitatea.....	234
9.1.1.3. Conținutul total de săruri (reziduu uscat).....	236
9.1.1.4. Conținutul de materii în suspensie.....	236
9.1.1.5. Conținutul de impurități organice.....	236
9.1.1.6. Conținutul de gaze dizolvate.....	236
9.2. Transformările suferite de apă în cazan.....	236
9.3. Depunerile din apa din cazanele de abur.....	241

9.3.1. Formarea pietrei și nămolului.....	241
9.3.2. Depuneri cauzate de sărurile care dau duritatea apei.....	242
9.3.3. Depuneri de silice.....	242
9.3.4. Depuneri de substanțe organice.....	243
9.3.5. Depuneri de cupru și aluminiu.....	243
9.4. Impurificarea aburului.....	243
9.5. Purjarea cazanelor.....	244
9.6. Vaporizarea în trepte.....	245
9.7. Îndepărtarea depunerilor de piatră.....	249
CAPITOLUL 10. PROBLEME SPECIALE DE EXPLOATARE ȘI CONTROL.....	251
10.1. Controlul parametrilor cazanelor în exploatare.....	251
10.2. Principii de automatizare a cazanelor.....	252
10.2.1. Scheme simplificate de reglare automată a unor procese din cazanele de abur.....	256
10.2.2. Avantajele automatizării cazanelor de abur.....	256
10.3. Solicitări suplimentare apărute la funcționarea în regim tranzitoriu.....	259
10.4. Cauzele instabilității circulației apei și combaterea lor.....	260
10.5. Controlul cazanelor de abur.....	261
CAPITOLUL 11. GENERATOARE DE ABUR PENTRU CENTRALELE NUCLEARO-ELECTRICE.....	263
11.1. Poziția generatorului de abur în ciclul centralei.....	263
11.1.1. Parametrii generatoarelor de abur cu fluid primar apă sub presiune.....	263
11.1.2. Parametrii generatoarelor de abur cu fluid primar abur care condensează.....	265
11.1.3. Parametrii generatoarelor de abur cu fluid primar gaze.....	266
11.1.4. Parametrii generatoarelor de abur cu fluid primar metale topite.....	268
11.2. Particularitățile constructive ale generatoarelor de abur.....	268
11.3. Particularitățile de calcul.....	270
BIBLIOGRAFIE.....	275