



Digitally signed by
Biblioteca UTM
Reason: I attest to the
accuracy and integrity of
this document

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA ENERGETICĂ
CATEDRA TERMOTEHNICĂ ȘI MANAGEMENT ÎN
ENERGETICĂ

Ion Cernica

COMBUSTIBILI. TEORIA ARDERII

Curs de prelegeri

Chișinău
U.T.M.
2008

CZU 662.611 (075.8)

În cursul „Combustibili. Teoria arderii” sunt prezentate proprietățile și caracteristicile combustibililor energetici, situația acestora din punct de vedere resurse, producție și consum. Pe lângă studierea bilanțurilor energetice și materiale ale reacțiilor de ardere, expunerea legilor de bază ale termochimiei, în lucrare sunt abordate problemele cineticii procesului de ardere, procesele de aprindere și de propagare a flăcărilor. Cursul de prelegeri a fost analizat și aprobat de colectivul catedrei Termotehnică și Management în Energetică pentru uzul studenților de la specialitatea Termoenergetica.

Redactor responsabil: membru-corespondent al A.Ș. a R. Moldova,
prof. univ., dr. hab. ing. **V. MUSTAȚĂ**.

Referent științific: prof. univ., dr. hab. **V. GUȚANU** (U.S.M).

Redactor literar: E.Gheorghişteanu.

Redactare computerizată: Laurenția Cernica.

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții Cernica, Ion Combustibili. Teoria arderii:Curs de prelegeri/Ion Cernica;red. resp.: V. Mustață; ref. șt.: V. Guțanu; Univ. Tehn. a Moldovei. Fac. Energetică. Catedra Termotehnică și Management în Energetică. –Ch.: U.T.M., 2008. – 218 p. Bibliogr. p. 216-217 (18 tit.) ISBN978-9975-45-063-8 250 ex. CZU 662.611(075.8)

ISBN978-9975-45-063-8

© U.T.M., 2008

PREFAȚĂ

Dezvoltarea durabilă a economiei mondiale este indisolubil legată cu valorificarea completă a resurselor energetice. Atingerea acestui deziderat impune folosirea rațională a energiei, reducerea consumului de combustibil și implementarea de noi tehnologii cu consumuri specifice reduse de energie. În această direcție, un rol principal revine instruirii viitorilor ingineri, chemați să pună la baza întregii activități în domeniul termoeenergetic, în primul rând, criteriile de calitate, de eficiență economică și de economie de energie. Cerințele mereu crescânde impuse față de calitatea pregătirii inginerilor termotehnicieni în domeniul utilizării raționale și eficiente a combustibilului au determinat predarea cursului „Combustibili. Teoria arderii” într-o disciplină separată.

Republica Moldova nu dispune de resurse proprii de energie primară, cu excepția unor modeste resurse de cărbune, petrol, hidroenergie și biomasă. Una dintre preocupările de bază ale complexului energetic al țării ar trebui să fie folosirea rațională a combustibilului provenit din import. De aceea, pe lângă studierea proprietăților și caracteristicilor combustibililor, în lucrare se expun și metodele de extragere, prelucrare și transportare a combustibilului. Deoarece producerea energiei este corelată cu exploatarea și folosirea combustibililor, sunt prezentate situațiile combustibililor clasici prin prisma resurse, producție, consum, schimburi internaționale, transporturi și perspective.

Arderea, în general, este un proces fizico-chimic destul de complex, în care reacțiile chimice sunt însoțite de o serie de fenomene fizice ce se desfășoară succesiv și paralel ca: mișcarea substanțelor combustibile și a aerului în zona de ardere, difuzia turbulentă și moleculară a substanțelor inițiale și produșilor finali de reacție în curentul de gaze, aprinderea și propagarea flăcărilor, transferul căldurii degajate în timpul reacției, eliminarea produselor de ardere din zona de ardere. Din acest motiv, pe lângă studierea bilanșurilor energetice și materialele reacțiilor de ardere,

expunerea legilor de bază ale termochimiei, în lucrare, sunt abordate și problemele cineticii procesului de ardere, procesele de aprindere și de propagare a flăcărilor.

Înțelegerea clară a mecanismului și a legilor care guvernează procesul de ardere va permite organizarea mai eficientă a arderii diferitor combustibili, creșterea economicității metodelor de ardere existente, dar și trasarea direcțiilor de elaborare a unor metode noi de ardere. Prin urmare, cunoașterea bazelor teoretice ale arderii este necesară fiecărui inginer care are drept ocupație procesele din instalațiile de ardere.

Scrierea cursului „Combustibili. Teoria arderii” pentru studenți nu este o problemă ușoară, având în vedere complexitatea fenomenelor studiate și varietatea subiectelor. Scopul urmărit de autor la scrierea lui a constat în prezentarea elementelor de bază ale acestei discipline pentru aplicațiile ingineresti, pornind de la analiza detaliată a fenomenului și corelarea lui strânsă cu suportul matematic până la furnizarea informațiilor necesare soluționării problemelor tehnice. Dorința de a imprima materialului expus un caracter mai mult formativ decât informativ, au impus elaborarea acestei lucrări mai cuprinzătoare, în care se insistă asupra lămuririi sensului fizic al fenomenelor studiate și aprofundării noțiunilor fundamentale. Nu s-au omis nici posibilitățile de aplicare a rezultatelor stabilite. Aplicațiile numerice s-au dat numai acolo, unde materialul expus prezintă un grad avansat de dificultate pentru student. Noțiunile și cunoștințele fundamentale dobândite la Chimie, Fizică, Matematică, Termodinamica tehnică (în care se predau și noțiuni de Termodinamică chimică) și Transfer de căldură și masă sunt considerate cunoscute și operaționale pentru student.

Materialul prezentat în lucrare a fost selecționat pe baza lecțiilor predate de autor, a practicii și preocupărilor lui în domeniu, dorind să reflecte experiența acumulată timp de 12 ani în cadrul catedrei Termotehnică și Management în Energetică a Universității Tehnice a Moldovei și de 15 ani la Universitatea de Stat „A. Russo” din Bălți.

Cursul de prelegeri se adresează, în primul rând, studenților de la specialitatea Termoenergetica, dar poate fi folosit și de studenții facultăților (specialităților) cu profil energetic, mecanic și alimentare cu căldură, gaze și ventilare ale Universității Tehnice a Moldovei și Chimie industrială a Universității de Stat din Moldova.

Având în vedere vastitatea problemelor expuse, interferențele cu caracter interdisciplinar și dorința de a îmbunătăți permanent acest material, autorul va fi bucuros să mulțumească tuturor celor care vor semnala posibile erori sau necorespunderi sau prin sugestii și recomandări vor contribui la perfecționarea metodică-didactică a cursului.

În final, autorul aduce sincere mulțumiri redactorului responsabil, membru-corespondent al A.Ș. a R. Moldova, prof. univ., dr. hab. ing. Valentin Mustață și referentului științific, prof. univ., dr. hab. Vasile Guțanu de la Universitatea de Stat din Moldova, care prin observațiile și sugestiile valoroase au contribuit la îmbunătățirea lucrării. Autorul este recunoscător, de asemenea, prof. univ., dr. ing. Aurel Guțu pentru sugestii și recomandări prețioase, ing. Ala Tviordohleb pentru executarea computerizată a figurilor, precum și fiicei Laurenția Cernica care a asigurat redactarea computerizată a lucrării. Tuturor prietenilor și colegilor din Universitatea Tehnică a Moldovei, Universitatea de Stat din Moldova, Universitatea de Stat „A. Russo” din Bălți și Institutul de Fizică Aplicată al A.Ș. a R. Moldova – toată recunoștința mea.

Chișinău, 31 decembrie 2007

Autorul

CUPRINS

SIMBOLURI ȘI NOTAȚII FOLOSITE.....	9
CAPITOLUL 1. RESURSE NEREGENERABILE DE	
ENERGIE.....	14
1.1. Surse și resurse energetice.....	14
1.2. Noțiune de combustibil. Clasificarea combustibililor.....	17
1.3. Rezerve mondiale de combustibil fosil. Structura producției și consumului de resurse energetice primare în lume.....	19
1.4. Rezervele de combustibili fosili ale României.....	28
1.5. Rezervele de combustibili fosili ale Republicii Moldova.....	29
CAPITOLUL 2. PROVENIENȚA, EXTRACTIA ȘI	
PRELUCRAREA COMBUSTIBILILOR	
FOSILI.....	31
2.1. Combustibili solizi.....	31
2.2. Combustibili lichizi.....	38
2.3. Combustibili gazoși.....	42
2.4. Șisturi bituminoase și nisipuri asfaltice.....	47
2.5. Evoluția industriei de extracție și prelucrare a combustibililor fosili în România.....	48
2.6. Structura și evoluția consumului de resurse energetice primare în Republica Moldova.....	52
CAPITOLUL 3. PROPRIETĂȚILE ȘI	
CARACTERISTICILE	
COMBUSTIBILILOR ENERGETICI.....	55
3.1. Compoziția chimică a combustibililor organici.....	55
3.2. Compoziția elementară și volumetrică a combustibililor organici.....	59
3.3. Căldura de ardere și caracteristicile raportate ale combustibilului.....	64
3.4. Compoziția tehnică a combustibililor solizi.....	69
3.5. Proprietățile și caracteristicile combustibililor solizi.....	72
3.6. Clasificarea combustibililor solizi.....	78
3.7. Clasificarea combustibililor lichizi.....	81

3.8. Proprietățile și caracteristicile combustibililor lichizi.....	83
3.9. Clasificarea și obținerea combustibililor gazoși.....	86
3.10. Caracteristicile și proprietățile fizice ale combustibililor gazoși.....	89
CAPITOLUL 4. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND ARDEREA.....	93
4.1. Generalități.....	93
4.2. Faze și metode de ardere a combustibililor.....	95
4.3. Intensitatea procesului de ardere.....	98
4.4. Influența factorilor fizico-chimici asupra arderii. Ardere difuzivă și ardere cinetică.....	100
CAPITOLUL 5. TERMOCHIMIA.....	103
5.1. Considerații generale privind reacțiile chimice.....	104
5.2. Efectul termic al reacțiilor chimice.....	105
5.3. Căldura de reacție.....	110
5.4. Legile generale ale termochimiei.....	112
CAPITOLUL 6. BAZELE STĂRII DE ECHILIBRU CHIMIC.....	124
6.1. Sistem reactant. Parametrii de stare.....	124
6.2. Echilibrul chimic al reacțiilor de ardere. Legea acțiunii maselor.....	128
6.3. Deplasarea echilibrului chimic cu parametrii de stare. Principiul Le Châtelier – Braun.....	133
6.4. Influența fenomenului de disociere a vaporilor de apă și bioxidului de carbon asupra arderii.....	135
CAPITOLUL 7. CINETICA REACȚIILOR CHIMICE DE ARDERE.....	142
7.1. Viteza de reacție.....	142
7.2. Influența temperaturii asupra vitezei de reacție. Legea lui Arrhenius.....	145
7.3. Influența presiunii asupra vitezei de reacție.....	151
7.4. Variația vitezei de reacție în timp.....	152
7.5. Reacții chimice simple și compuse. Reacții de ardere omogenă în lanț.....	154

CAPITOLUL 8. PROCESE DE APRINDERE ȘI DE PROPAGARE A FLĂCĂRILOR.....	160
8.1. Autoaprinderea amestecului combustibil.....	160
8.2. Aprinderea provocată a amestecului combustibil.....	166
8.3. Propagarea flăcării normale.....	171
8.4. Propagarea frontului de flacără turbulent.....	177
CAPITOLUL 9. CALCULUL PROCESELOR DE ARDERE A COMBUSTIBILILOR.....	181
9.1. Ecuatii stoechiometrice de ardere a combustibililor.....	181
9.2. Calculul căldurii de ardere. Noțiune de combustibil convențional.....	186
9.3. Calculul cantității minime teoretice de aer necesar arderii. Noțiune de coeficient de exces de aer.....	191
9.4. Calculul cantității reale de gaze rezultate din arderea completă a combustibilului.....	195
9.5. Ecuația bilanțului energetic al procesului de ardere.....	203
9.6. Temperatura de foc a combustibilului. Temperatura calorimetrică de ardere.....	206
9.7. Căldura utilă degajată prin arderea combustibilului. Temperatura adiabatică de ardere.....	219
9.8. Entalpia produselor de ardere și a aerului. Diagrama entalpie – temperatură.....	212
BIBLIOGRAFIE.....	216

BIBLIOGRAFIE

1. 2007 Survey of Energy Resources. Published: World Energy Council. London, 2007. – 600 p.
2. Manualul inginerului termotehnician/D. Arădău, I. Biriș, C. Iosifscu,...; coord. B. Popa. –București: Editura Tehnică,1986. -884 p.
3. Energy Scenario Development Analysis: WEC Policy to 2050. Published: World Energy Council. London, 2007. – 90 p.
4. A.Marinescu. Conservarea energiei. –Ch.: U.T.M., 2000. - 174 p.
5. Gh.Duca, T. Sajin, A. Crăciun. Combustibili și lubrifianți. –Ch.: CE U.S.M., 2002. -125 p.
6. A.Leca. Principii de management energetic. –București: Editura Tehnică, 1997. -584 p.
7. Energia regenerabilă: Studiu de fezabilitate/P. Tudos, I. Sobor, D. Ungureanu,...; red. șt. V. Arion. -Ch.: Min. Ecologiei, Construcțiilor și Dezvoltării Teritoriului; PNUD Moldova, 2002. -158 p.
8. Energheticeskoe toplivo SSSR: Spravocinic/V.S. Vdovcenko, M.I. Martânova, N.V. Novițkii,... –M.: Energoatomizdat, 1991. -184 p.
9. Ciastuhin V.I., Ciastuhin V.V. Toplivo i teoria gorenia. – K.: Vâșcia șkola, 1989. -223 p.
10. Isaev S.I. Curs himiceskoi termodinamiki. –M.: Mașinostroenie, 1975.-256 p.
11. R. Vâlcu. Termodinamica chimică. –București: Editura Tehnică, 1994. –736 p.
12. I. Vlădea. Tratat de termodinamică tehnică și transmiterea căldurii.-București: Editura Didactică și Pedagogică, 1974. -614 p.

13. Kirillin V.A., Sâcirov V.V., Șeindlin A.E. Tehniceskaia termodinamica. –M.: Nauka, 1979. -512 p.
14. Xzmalean D.M. Teoria topocinâh proțessov. –M.: Energoatomizdat, 1990. -352 p.
15. Osnovâ practicescoi teorii gorenia/V.V. Pomeranțev, K.M. Arefiev, D.B. Ahmedov,...; red. V.V.Pomeranțev. –L.: Energoatomizdat, 1986. -312 p.
16. Țuleanu C., Tonu V. Procese și aparate de ardere a gazelor combustibile. Arderea omogenă: Material didactic. –Ch.: U.T.M., 2003. -252 p.
17. Cernica I. Asupra calculului căldurii de ardere a combustibililor organici solizi și lichizi. Termotehnică Românească – 96. –Iași: Editura „Gh. Asachi”, 1996. p. 239-241.
18. Soleakov V.S. Teplovoi balans gorenia. –M.: Editura Institutului Energetic din Moscova, 1979. -41 p.