



Digitally signed by
Library TUM
Reason: I attest to the
accuracy and integrity
of this document

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

**TERMOTEHNICA, TEORIA ARDERII
ȘI EXPLOZIEI**

Ciclu de prelegeri

**Chișinău
2017**

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA CONSTRUCȚII, GEODEZIE
ȘI CADASTRU
DEPARTAMENTUL INGINERIE CIVILĂ ȘI GEODEZIE

Mihail BENCHECI

Efim OLARU

TERMOTEHNICA, TEORIA ARDERII
ȘI EXPLOZIEI

Ciclu de prelegeri

Chișinău
Editura "Tehnica-UTM"
2017

CZU 662.6/.9(075.8)

B 44

Ciclul de prelegeri este destinat subiecților procesului instructiv-educativ, specialitatea *Inginerie antiincendii și protecție civilă* cu studii la zi și cu frecvență redusă, și reprezintă un instrument curricular pentru formarea în domeniul ingineriei de securitate.

Elaborare: conf. univ., dr. M. Benchechi

conf. univ., dr. E. Olaru

Recenzenți: conf. univ., dr. I. Cobușcean

șef adj. al SPSE, col. A. Lavrinenco

Redactor responsabil: conf. univ., dr. M. Benchechi

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII

Benchechi, Mihail.

Termotehnica, teoria arderii și exploziei: Ciclul de prelegeri / Mihail Benchechi, Efim Olaru; Univ. Tehn. a Moldovei, Fac. Construcții, Geodezie și Cadastru, Dep. Inginerie Civilă și Geodezie. – Chișinău: Tehnica-UTM, 2017. – 332 p.

Bibliogr.: p. 306-307 (23 tit.). – 50 ex.

ISBN 978-9975-45-512-1.

662.6/.9(075.8)

B 44

Redactor: Eugenia Balan

Bun de tipar 27.12.17

Hîrtie ofset. Tipar RISO

Coli de tipar 20,75

Formatul 60x84 1/16

Tirajul 50 ex.

Comanda nr. 88

2004, UTM, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168

Editura "Tehnica-UTM"

2045, Chișinău, str. Studenților, 9/9

ISBN978-9975-45-512-1.

© UTM, 2017

CUPRINS

Preliminarii.....	7
Abrevieri.....	10
Simboluri și notații.....	11
1. Noțiuni generale.....	14
1.1. Sistemul termodinamic, parametrii de stare, ecuația caracteristică de stare.....	14
1.2. Procesele termodinamice, echilibrul termodinamic	18
1.3. Proprietățile gazelor.....	21
1.4. Proprietățile amestecurilor de gaze.....	25
1.5. Proprietățile lichizilor.....	27
1.6. Proprietățile gazelor lichefiate.....	29
1.7. Proprietățile substanțelor solide.....	30
2. Combustibilitatea substanțelor și materialelor.....	34
2.1. Clasificarea substanțelor și materialelor din punct de vedere al combustibilității.....	34
2.2. Componenta substanțelor combustibile.....	37
2.3. Indicatorii de pericol de explozie-incendiu ai substanțe- lor combustibile.....	40
2.4. Categoriile încăperilor și clădirilor conform pericolu- lui de explozie-incendiu și incendiu.....	42
2.5. Coeficientul de combustibilitate al substanțelor și materialelor.....	44
3. Transferul de căldură.....	46
3.1. Natura procesului de transfer al căldurii.....	47
3.2. Transferul de căldură prin conducție (T.C.C.C _d).....	49
3.3. Transferul de căldură prin convecție (T.C.C _v).....	57
3.4. Transferul de căldură prin radiație (T.C.R.).....	65
3.5. Transferul global de căldură.....	70
4. Procese de oxidare și ardere.....	73
4.1. Generalități.....	74
4.2. Condiții de realizare a arderii.....	76
4.3. Oxidarea.....	78

4.4.	Genuri de ardere.....	79
4.5.	Timpul procesului de ardere și factorii care îl determină.....	85
4.6.	Intensitatea procesului de ardere.....	87
5.	Caracteristica arderii gazelor.....	89
5.1.	Generalități.....	90
5.2.	Teorii de ardere.....	91
5.3.	Particularități de ardere a gazelor.....	96
5.4.	Gaze industriale cu pericol de incendiu și explozie.....	98
6.	Cracteristica arderii lichizilor combustibili.....	106
6.1.	Generalități.....	106
6.2.	Evaporarea lichizilor. Viteza de evaporare.....	108
6.3.	Temperatura de izbucnire a lichizilor.....	110
6.4.	Particularități de ardere a lichizilor.....	111
7.	Caracteristica arderii substanțelor solide combustibile.....	116
7.1.	Generalități.....	116
7.2.	Caracteristica procesului de ardere.....	117
7.3.	Particularități de ardere a substanțelor solide.....	124
7.4.	Pericolul de explozie-incendiu și al pulberilor metalice (P.M.).....	129
8.	Caracteristica arderii amestecurilor praf-aer.....	139
8.1.	Generalități.....	140
8.2.	Concentrația prafurilor combustibile.....	141
8.3.	Caracteristica prafului de cărbune.....	142
8.4.	Caracteristica prafului de lemn.....	143
8.5.	Caracteristica prafului de zahăr.....	144
8.6.	Caracteristica prafului de cereale și făină.....	145
8.7.	Caracteristica prafului de materiale plastice.....	146
8.8.	Caracteristica prafului de textile.....	147
9.	Caracteristica arderii libere.....	149
9.1.	Incendiul, parametrii, clasificarea.....	149
9.2.	Legități privind dezvoltarea incendiului.....	152
9.3.	Zonele și etapele incendiului.....	153
9.4.	Parametrii de calcul ai incendiului.....	160

9.5.	Condiții de întrerupere a arderii.....	163
9.6.	Măsuri și procedee de întrerupere a arderii.....	166
10.	Cinetica reacțiilor chimice.....	176
10.1.	Generalități.....	177
10.2.	Viteza reacțiilor chimice.....	179
10.3.	Reacții reversibile.....	181
10.4.	Dependența vitezei reacției chimice de temperatură....	182
10.5.	Influența presiunii asupra vitezei reacțiilor chimice....	184
10.6.	Variația vitezei reacției chimice în timp.....	185
10.7.	Concentrația substanțelor reactante.....	186
10.8.	Echilibrul chimic. Constantele de echilibru.....	188
10.9.	Variația constantei de echilibru al reacției în funcție de temperatură și presiune.....	190
10.10.	Influența fenomenului de disociere a produselor de ardere asupra reacției de ardere.....	192
10.11.	Energia de activare și corelația cu efectul termic.....	196
11.	Procese de aprindere.....	200
11.1.	Autoaprinderea amestecului de combustibil (A.C.)....	201
11.2.	Aprinderea de natură chimică, fizico-chimică și biologică.....	209
11.3.	Autoaprinderea provocată și limitele de inflamabilitate.....	211
11.4.	Aprinderea de la scânteia electrică.....	216
12.	Procese de propagare a flăcării.....	219
12.1.	Flacăra, genuri de flăcără. Frontul de flăcără.....	220
12.2.	Propagarea normală a flăcării în flux laminar.....	223
12.3.	Propagarea flăcării în flux turbulent.....	234
12.4.	Calculul limitei de propagare a flăcării.....	239
13.	Bilanțul material al proceselor de ardere.....	242
13.1.	Ecuatii stoichiometrice de ardere.....	243
13.2.	Volumul teoretic de oxigen și aer necesar arderii.....	246
13.3.	Coeficientul de exces de aer.....	249
13.4.	Calculul volumului de gaze rezultat în procesul de ardere.....	249

14.	Termodinamica proceselor de ardere.....	257
14.1.	Bilanțul termic al procesului de ardere. Entalpia gazelor de ardere.....	257
14.2.	Căldura utilă în procesele de ardere.....	261
14.3.	Căldura de ardere a substanțelor combustibile.....	262
14.4.	Energia în procesul de ardere.....	265
14.5.	Temperatura de ardere a gazelor.....	266
15.	Exploziile.	270
15.1.	Exploziile fizice, chimice și termice.....	270
15.2.	Presiunea maximă de explozie a gazelor și vaporilor.....	274
15.3.	Presiunea efectivă a exploziei unor substanțe combustibile individuale.....	274
15.4.	Presiunea efectivă a exploziei prafurilor combustibile.....	278
15.5.	Echivalentul de trotil al exploziei. Calculul razei de distrugere.....	282
16.	Substanțe explozive.....	286
16.1.	Generalități.....	286
16.2.	Substanțe explozive și caracteristicile fizico-chimice ale lor.....	287
16.3.	Parametrii transformărilor explozive.....	291
16.4.	Bilanțul energetic al exploziei. Efectele exploziei.....	294
16.5.	Lucrul dilatărilor adiabatice ale gazelor.....	298
16.6.	Mijloace de amorsare a substanțelor explozive.....	299
	Bibliografie.....	306
	Anexe.....	308

PRELIMINARII

Fenomenele de ardere și explozie sunt răspândite pe larg în natură și în mod activ se folosesc de către oameni în diverse domenii ale activității vitale. Datorită acestor fenomene, omul obține energie termică, electrică și mecanică necesară pentru efectuarea diferitor procese tehnico-tehnologice, crearea și menținerea condițiilor de confort în spațiile locative, de lucru etc.

Dar procesele de ardere și explozie monitorizate și exploatate incorect reprezintă un pericol sporit pentru securitatea și sănătatea omului. Așadar, în atmosferă se conține o cantitate mare de materiale și substanțe combustibile capabile să se inflameze de la diverse surse (flacără, de natură electrică, termică, mecanică etc.), iar unele din ele pot și să se autoaprindă în urma procesului de oxidare termică a oxigenului din aer sau interacțiunii dintre ele. Cu atât mai mult, inflamarea unor substanțe, de exemplu, amestecul gazelor combustibile cu aerul, pot să finalizeze cu explozie, formându-se unda de compresiune care are forță distrugătoare.

Pentru prevenirea reușită și lichidarea consecințelor în domeniul securității tehnogene, provocate de către procesele necontrolate de ardere și explozie, se impune studierea detaliată a acestor fenomene. De aceea, pentru specialiștii în devenire în domeniul ingineriei de securitate, cunoașterea alfabetului teoriei arderii și exploziei este inevitabilă.

Lucrarea propusă are *scopul* de a forma la viitorii specialiști a competențelor profesionale (*CP*) și transversale (*CT*) cum ar fi:

CPI. Utilizarea cadrului normativ-legislativ la proiectarea, execuția și asigurarea mentenanței sistemelor domeniului de securitate.

CTI. Luarea deciziilor și executarea responsabilă a sarcinilor profesionale cu respectarea normelor Codului deontologiei profesionale în condiții de autonomie restrânsă, asistență calificată și eficientă.

CT2. Exercițarea rolului de lider în echipă pe diferite paliere ierarhice. Promovarea spiritului de inițiativă, dialogului, cooperării și a respectului față de ceilalți.

CT3. Autoevaluarea nevoii de formare profesională continuă în scopul adaptării competențelor profesionale la dinamica mediului organizațional și al pieței forței de muncă; utilizarea eficientă a abilităților lingvistice în comunicarea profesională și interpersonală și însușirea unor metode și tehnici de învățare.

Unitățile de competențe profesionale specifice formate în urma studierii disciplinei date sunt:

UC1 – distingerea parametrilor termotehnici și definirea criteriilor de clasificare a substanțelor și materialelor privind combustibilitatea;

UC2 – identificarea principiilor termotehnicii și a modurilor de transfer de căldură în procesele de ardere și explozie;

UC3 – argumentarea teoriilor și legităților proceselor de oxidare și ardere a substanțelor combustibile;

UC4 – diagnosticarea caracteristicilor și a particularităților de ardere a substanțelor combustibile;

UC5 – analiza teoriilor și caracterizarea proceselor de aprindere și propagare a arderii;

UC6 – evaluarea bilanțului material și termic al proceselor de ardere și explozie;

UC7 – interpretarea cineticii reacțiilor chimice a procesului de ardere.

Toate aceste aspecte strict necesare în activitatea profesională propriu-zisă sunt formate în cadrul studierii disciplinei *Termotehnica, teoria arderii și exploziei*.

Disciplina *Termotehnica, teoria arderii și exploziei*, conform curriculumului de bază, se raportează la ciclul disciplinelor cu orientare spre specializare, care asigură realizarea principiului de inter- și transdisciplinaritate. Implementarea acestuia asigură însușirea cu succes de către studenți a disciplinelor de specialitate: *Securitatea la incendiu în construcții, Securitatea la incendiu în instalațiile electrice, Securitatea la incendiu a*

proceselor tehnologice, Stabilitatea la incendiu a materialelor de construcții etc.

Cursul dat este destinat îndeosebi studenților specialității *Inginerie antiincendii și protecția civilă*, dar și studenților colegiilor de profil pregătiți în domeniul securității în tehnosferă, diverșilor specialiști antrenați în această activitate, studenților tuturor specialităților tehnice la studierea disciplinei *Protecția muncii*, compartimentului *Protecția contra incendiilor – capitolul Ardere*, specialităților care studiază domeniul termoenergeticii, a construcției. Conținutul lucrării de față poate prezenta interes și pentru orice angajat din alte domenii apropiate celor de inginerie în securitate etc. Lucrarea este elaborată în baza conținutului lecțiilor de prelegeri susținute pe parcursul a mai mult de 10 ani, respectându-se principiul accesibilității, și conține, într-o logică coerentă, subiecte teoretico-practice din activitatea profesională privind bazele fizice și chimice ale proceselor de aprindere, ardere, propagare a flăcării, de întrerupere a arderii, a exploziei, a transferului termic și de substanță etc. Pentru fixarea materialului studiat, după fiecare lecție sunt propuse subiecte de control și sarcini individuale, iar la finele modulelor sunt prevăzute subiecte pentru evaluările intermediare și sumative.

Trebuie accentuat că lucrarea are caracter cognitiv-aplicativ și reprezintă o elaborare în premieră destul de utilă personalului antrenat în activitățile ingineriei de securitate, care abordează minuțios aspecte specifice ale proceselor de ardere, aprindere, propagare a flăcării, a transferului de căldură și substanță în procesul de ardere, a exploziilor etc., deși în general, actualmente, mai sunt există și alte elaborări metodologice.

Autorii sunt conștienți de faptul că lucrarea nu este perfectă. În unele cazuri se observă dublări de conținut, indicatorii și unele simboluri nu sunt unificate etc., de aceea, este și firesc să apară unele obiecții și recomandări din partea cititorilor. Autorii vor fi recunoscători și vor ține cont de aceste obiecții, recomandări și alte aspecte, care vor servi ca bază privind revizuirea conținutului și, corespunzător, apariția unei noi ediții.

BIBLIOGRAFIE

1. Андрасов А. С., Салев Е. П. Примеры и задачи по курсу Теория горения и взрыва. Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 86 с.
2. Benchechi M. Ghid metodologic privind realizarea aplicațiilor practice, disciplina Termotehnica, teoria arderii și exploziei. – Ch.: Editura "Tehnica-UTM", 2017. – 100 p.
3. Беззапонная О.В., Гайнуллина Е. В. Сборник задач по курсу Теория горения и взрыва. Учебное пособие. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС, 2013. – 113 с.
4. Бегишев И. Р. Курсовая работа по дисциплине Теория горения и взрыва. Учебное методическое пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 60 с.
5. Bălulesu P., Crăciun I. Agenda pompierului. – București: Editura Tehnică, 1993. – 406 p.
6. Cernica I. Combustibili. Teoria arderii. Curs de prelegeri. – Ch.: UTM, 2008. – 218 p.
7. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. 2-е издание, переработанное. – М.: Химия, 1981. – 248 с.
8. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. - 143 с.
9. Goncearuc V. Termotehnica. Transfer de căldură și masă. Ciclu de prelegeri. Partea a 2-a. – Chișinău: Secția redactare, editare și multiplicare a UTM, 2000. – 199 p.
10. Roșca M., Casian Blaga A. Termotehnica. Oradea: Editura "Universității din Oradea", 2008. – 165 p.
11. NCM E.03.02-2014. Siguranța la incendiu. Protecția împotriva incendiilor a clădirilor și instalațiilor. Ediție oficială. – Chișinău: 2014. – 61 p.
12. NCM E 03.04-2004. Determinarea categoriilor de pericol de explozie-incendiu și incendiu a încăperilor și clădirilor. Siguranța la

incendiu. Ediție oficială. – Ch.: Departamentul Construcțiilor R. Moldova, 2004. – 31 p.

13. Казакова О. Г., Тотая А.В. Теория горения и взрыва: учебник и практикум. 2е издание, перераб. и дополн. – М.: Издательство "Юрайт", 2014. – 295 с.

14. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва. - М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.

15. Карауш С. А. Теория горения и взрыва. Учебник для студ. учрежд. высшего профессионального образования. – М.: Издательский центр Академия, 2013. – 208 с.

16. Oprițoiu A. Termotehnica și aparate termice. Transmiterea căldurii. – Cluj Napoca: Editura IP, 1992. – 225 p.

17. Olaru E., Olaru Iu. Protecția împotriva incendiilor. Ciclul de prelegeri. – Ch.: Secția redactare, editare și multiplicare a UTM, 2000. – 60 p.

18. Воднев П.П. Теория горения и взрыва. Конспект лекции. – Ульяновск: УВАУ ГАИ, 2010. – 180 с.

19. Зеленкин В. Г., Боровик С. И., Бабкин М. Ю. Теория горения и взрыва. Конспект лекций. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 166 с.

20. Щеглов П.П. Теория горения и взрыва. Часть 1. Конспект лекций. МИИТ, 2008. – 83 с.

21. Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С. Расчет процессов горения и взрыва: учебное пособие. – Томск: Издательство Томско политехнического университета, 2012. – 108 с.

22. Ионин А. А. Газоснабжение. Учебное пособие для вузов. 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.

23. Țuleanu C., Tonu V. Procese și aparate de ardere. – Ch.: Editura "Tehnica-UTM", 2003.