

**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIA SISTEMELOR**



Ing. ADRIAN BOGDAN ȘIMON-MARINICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

**MODELAREA ȘI SIMULAREA FORMĂRII
COMBUSTIEI AMESTECURILOR EXPLOZIVE**

***MODELING AND SIMULATION OF THE
COMBUSTION FORMATIONS OF EXPLOSIVE MIXTURES***

Conducător științific,

Prof.univ.dr.habil.ing. MONICA LEBA

Petroșani

2024

CUPRINS

ACRONIME ȘI NOTAȚII	.....	6
LISTA FIGURILOR	.....	7
LISTA TABELELOR	.....	11
INTRODUCERE	.....	12
CAPITOLUL I	STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND AMESTECURILE EXPLOZIVE.....	16
	1.1. Elemente fundamentale în formarea amestecurilor de gaze.....	16
	1.1.1 Determinarea gazelor ideale în condiții de temperatură, presiune și volum.....	16
	1.1.2 Determinarea gazelor neideale în condiții de temperatură, presiune și volum.....	19
	1.2. Măsurători ale debitelor și a volumelor.....	20
	1.2.1 Măsurători prin spirometre.....	20
	1.2.2 Măsurători prin tub Pitot.....	22
	1.2.3 Măsurători prin pistoane fără frecare.....	23
	1.2.4 Măsurători prin angrenarea seringilor.....	25
	1.2.5 Măsurători sticle de aspirație.....	26
	1.3. Măsurători de volum sau debit prin standarde intermediare.....	26
	1.3.1 Aparată de măsură cu testare umedă.....	26
	1.3.2 Aparată de măsură cu testare uscată.....	29
	1.4. Măsurători de volum sau debit prin standarde secundare.....	30
	1.4.1 Debitmetre.....	30
	1.4.2 Debitmetre masice.....	32
	1.4.3 Debitmetre cu orificii.....	34
	1.4.4 Debitmetre cu orificii critice.....	35
	1.5. Sisteme statice de producere a amestecurilor de gaze la presiune atmosferică.....	37

	1.6. Metoda gravimetrică.....	41
	1.7. Metoda presiunilor parțiale.....	42
	1.8. Metoda volumetrică.....	43
CAPITOLUL II	ASPECTE TEORETICE PRIVIND CARACTERISTICILE ȘI PARAMETRII DE EXPLOZIVITATE AI AMESTECURILOR AER – GAZE INFLAMABILE.....	45
	2.1. Proprietățile de ardere ale amestecurilor aer - gaze inflamabile.....	45
	2.2. Atmosfere explozive gazoase	46
	2.2.1 Caracteristici ale metanului component preponderent al gazului natural.....	46
	2.2.2 Parametrii de explozie a amestecurilor de metan – aer ...	47
	2.2.3 Caracteristici ale propanului.....	48
	2.2.4 Parametrii de explozie a amestecurilor de propan – aer..	48
	2.2.5 Caracteristici ale isobutanului.....	48
	2.2.6 Caracteristici ale dimetileterului(DME).....	49
	2.2.7 Turbulența amestecurilor inflamabile.....	49
	2.3. Prelevarea de eșantioane și analiza gazelor și a vaporilor.....	54
	2.3.1 Prelevarea de probe cu îmbogățire.....	54
	2.3.2 Pompe de prelevare.....	54
	2.3.3 Tuburi de adsorbție.....	55
	2.3.4 Sticle de spălare.....	55
	2.3.5 Prelevatoare de reacție.....	55
	2.3.6 Prelevarea de probe fără îmbogățire.....	55
	2.3.7 Cutiile de depozitare a gazelor și saci pentru probe de gaz.....	56
	2.3.8 Eprubete.....	56
	2.3.9 Instrumente de citire directă.....	56
	2.3.10 Detector de ionizare în flacără.....	56
	2.3.11 Detector de fotoionizare.....	57

	2.3.12 Spectrofotometru în infraroșu.....	57
	2.3.13 Senzori de gaze electrochimici.....	57
	2.3.14 Alte instrumente directe de citire.....	58
	2.4. Transportul și depozitarea probelor.....	58
	2.4.1 Transportul probelor.....	58
	2.4.2 Depozitarea probelor.....	59
	2.5. Circumstanțe care duc la o explozie de gaze.....	59
	2.6. Calcule teoretice privind estimarea presiunii de explozie.....	62
CAPITOLUL III	TEHNICI DE REALIZARE ÎN LABORATOR A AMESTECURILOR EXPLOZIVE/GAZOASE.....	66
	3.1. Legea presiunilor parțiale.....	66
	3.2. Mixer de gaze automat cu debitmetre și eclator.....	67
	3.2.1 Descrierea eclatorului și a instalației de amestec de gaze	67
	3.2.2 Limitele de utilizare a eclatorului.....	69
	3.2.3 Efectuarea amestecului de gaze de încercare.....	69
	3.2.4 Pregătirea pentru utilizare a eclatorului.....	72
	3.2.5 Efectuarea încercării cu eclatorul.....	73
	3.3. Analizorul portabil de oxigen Servomex.....	73
	3.3.1 Principiul metodei de funcționare.....	73
	3.3.2 Descrierea analizorului.....	74
	3.4. Instalație de dozare – dozator digital de gaze pentru prepararea amestecurilor.....	74
	3.4.1 Principiul metodei de măsurare a instalației de dozare....	75
CAPITOLUL IV	CONCEPERE ȘI EXPERIMENTARE SISTEM AUTOMAT DE AMESTECARE A GAZELOR.....	77
	4.1. Conceperea unui sistem automat cu comandă electrică pentru prepararea amestecurilor bicomponent (gaz inflamabil / aer).....	77
	4.1.1 Realizarea și funcționarea standului computerizat.....	79
	4.1.2 Algoritm de calcul pentru realizarea unei concentrații de gaz inflamabil.....	80

	4.1.3 Controlul concentrațiilor de gaz prin folosirea motoarelor pas cu pas.....	81
	4.1.3.1 Principiul de funcționare al motorului pas cu pas.....	81
	4.1.4 Driver micro-pași de tip TB6600 pentru motoare pas cu pas.....	82
	4.2. Experimentarea sistemului automat cu comandă electrică pentru prepararea amestecurilor de gaz inflamabil / aer, la concentrații în domeniul de explozivitate pentru gazul metan.....	85
	4.3. Experimentarea sistemului automat cu comandă electrică pentru prepararea amestecurilor de gaz inflamabil / aer, la concentrații în limitele de inflamabilitate pentru gazul hidrogen.....	88
	4.3.1 Rezultate obținute după amestecul hidrogen – aer și afișate pe detectorul multigaz.....	89
	4.4. Modelarea experimentală a eșapării, formării și aprinderii norului exploziv de aer–gaz inflamabil.....	90
	4.4.1 Rezultate obținute.....	91
	4.5. Modelarea computerizată a amestecurilor de gaz inflamabil / aer, la concentrații în domeniul de explozivitate pentru gazul metan.....	93
CAPITOLUL V	SIMULĂRI COMPUTERIZATE ALE EXPLOZIILOR DE AMESTECURI EXPLOZIVE ÎN TUB DE STICLĂ.....	97
	5.1. Sisteme imagistice Schlieren și Shadowgraph.....	98
	5.1.1 Tehnici imagistice Schlieren.....	99
	5.1.2 Sistemul clasic Schlieren.....	99
	5.1.3 Sistemul BOS (Background oriented Schlieren).....	102
	5.1.4 Tehnica imagistică Shadowgraph.....	104
	5.2. Cercetarea imagistică a exploziilor de gaze.....	105
	5.3. Calibrarea simulărilor computerizate ale exploziilor de gaze, utilizând efectul Schlieren.....	112
	5.4. Experimente fizice cu gaze combustibile în amestec cu aerul, cu scopul de înregistrare a inițierii pentru amestecuri explozive de la 7 surse diferite.....	115
	5.4.1 Scânteii electrice.....	116
	5.4.2 Scânteii mecanice.....	118

	5.4.3 Efectul Corona.....	120
	5.4.4 Flacără deschisă.....	122
	5.4.5 Suprafețe fierbinți.....	125
	5.4.6 Arc electric.....	127
	5.4.7 Reacții chimice exoterme.....	131
CAPITOLUL VI	CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	134
	6.1 Concluzii.....	134
	6.2 Contribuții personale.....	138
	6.3 Direcții viitoare de cercetare.....	141
BIBLIOGRAFIE	.....	142
ANEXĂ	.....	150

ACRONIME ȘI NOTAȚII

SR EN 60079-11 – Atmosfere explozive. Partea 11: Protecția echipamentului prin securitate intrinsecă i

SR EN 60079-2 – Atmosfere explozive. Partea 2: Protecția echipamentului prin carcasă presurizată p

L.F.L. – Lower flammability limit

U.F.L. – Upper flammability limit

L.E.L. – Low explosion limit

U.E.L. – Upper explosion limit

L.I.E. – Limita inferioară de explozie

L.S.E. – Limita superioară de explozie

D.M.E. – Dimetileter

F.I.D. – Detector cu ionizare în flacără

P.I.D. – Detector cu fotoionizare

U.V. – Raze ultraviolete

I.R. – Radiația în infraroșu

I.M.S. – Spectrometru cu mobilitate ionică

I.L. – Instrucțiuni de lucru

M.F.C. – Mass flow controllers

3D – Tridimensional

A.C. – Curent alternativ

V.C.C. – Tensiunea conectată la circuit

D.I.P. – Pachet dual în linie

P.C. – Personal computer

FLIR - Teledyne FLIR LLC, fosta FLIR Systems Inc

G.P.L. – Gaz petrolier lichefiat

C.F.D. – Dinamica fluidelor computaționale

C.A.D. – Proiectare asistată de calculator

I.N.C.D.INSEMEX – Institutul National de Cercetare - Dezvoltare pentru Securitate Minieră și Protecție Antiexplozivă
P.V.C. – Policlorură de vinil
B.O.S. – Background Oriented Schlieren
P.C.C. – Phantom Camera Control
U.D.F. – User – defined functions
C. – Limbaj de programare

LISTA FIGURILOR

FIGURA	SPECIFICAȚIE
Fig. 1.1	Compresibilitate și presiune pentru 6 gaze
Fig. 1.2	Sistem spirometru în secțiune transversală
Fig. 1.3	Vedere simplificată a spirometrului în secțiune transversală
Fig. 1.4	Tubul Pitot standard
Fig. 1.5.	Tuburi de măsurare cu bule de săpun pentru măsurarea gazului
Fig. 1.6.	Piston etanșat cu mercur pentru măsurarea gazului
Fig. 1.7.	Sistem cu seringă pentru calibrarea dispozitivelor de debit cu substanțe corozive
Fig. 1.8	Sticle de aspirație pentru măsurarea debitelor mici
Fig. 1.9	Stand de calibrare aparat de măsură cu un spirometru și testare umedă
Fig. 1.10	Secțiune transversală și modul de funcționare a unui aparat de gaz uscat
Fig. 1.11	Tipuri de debitmetre
Fig. 1.12	Reprezentarea grafică a unui debitmetru cu orificii
Fig. 1.13	Orificii critice
Fig. 2.1	Desfășurarea exploziei de metan/aer la diferite grade de învolburare
Fig 2.2.	Influența gradului de turbulență asupra amestecului de metan / aer ; (volum 40 litir), sursă de inițiere: descărcare electrică de 1 mm
Fig 2.3.	Influența gradului de turbulență asupra amestecului de metan / aer ; (volum 40 litir), sursă de inițiere: aprinzător chimic
Fig 2.4.	Parametrii de explozie ai metanului în recipiente interconectate ($V_1=1\text{m}^3 \rightarrow V_2= 5\text{m}^3$)
Fig 2.5.	Parametrii de explozie ai metanului în recipiente interconectate ($V_1=5\text{m}^3 \rightarrow V_2= 1\text{m}^3$)
Fig 2.6.	Analiza riscului de explozii de gaze

Fig 2.7.	Dispersia gazelor în zone cu concentrații diferite
Fig 2.8.	Efectul dat de direcția vântului asupra norului format în urma scurgerii de gaze
Fig. 3.1.	Ansamblul principal al amestecătorului de gaze de încercare
Fig. 3.2.	Eclator și elemente componente
Fig. 3.3.	Sistem de comandă și control
Fig. 3.4.	Interferometru
Fig. 3.5.	Eclator cu instalație pentru realizarea amestecului gazelor de încercare
Fig. 3.6.	Robinet pentru evacuarea gazelor
Fig. 3.7.	Surse de alimentare cu gaze pentru amestec
Fig. 3.8.	Panoul de control și comandă pentru purjare
Fig. 3.9.	Reglaje ale amestecătorului de gaze de încercare
Fig. 3.10.	Etalonarea mixerului de gaze automat cu eclator
Fig. 3.11.	Analizor portabil de oxigen Servomex
Fig. 3.12.	Instalație de dozare pentru amestecuri de încercare
Fig. 3.13.	Software dedicat pentru instalația de dozare pentru amestecurile de gaze
Fig. 4.1.	Stand computerizat pentru prepararea unui amestec de gaze inflamabile/toxice/explozive
Fig. 4.2.	Alimentare cu tensiune pozitivă
Fig. 4.3.	Inversarea tensiunilor de alimentare pe bobine
Fig. 4.4.	Comutator DIP pentru activarea micro-pașilor
Fig. 4.5.	Utilizare drivere TB6600 pentru două motoare pas cu pas
Fig. 4.6.	Detaliere stand computerizat pentru prepararea unui amestec de gaze inflamabile/toxice/explozive
Fig. 4.7.	Pungă ce conține gas metan de concentrație 79 % volumetric pentru prepararea unui amestec de gaze inflamabile/toxice/explozive
Fig. 4.8.	Limitele de inflamabilitate pentru amestecuri combustibile – aer la 25 ° C și 1 atmosferă
Fig. 4.9.	Stand experimental pentru vizualizarea jetului de aer-gaz eșapat printr-un orificiu
Fig. 4.10.	Rezultate obținute cu ajutorul camerei FLIR
Fig. 4.11.	Rezultate obținute cu ajutorul tehnicii Shadowgraph și a camerei Phantom VEO
Fig. 4.12.	Rezultate obținute cu ajutorul camerei Phantom

Fig. 4.13.	Dezvoltarea rețelei de discretizare a geometriei
Fig. 4.14.	Diluție amestec combustibil metan – aer
Fig. 4.15.	Curgerea gazelor din diluția amestecului combustibil metan – aer
Fig. 4.16.	Contur de culoare în diluția amestecului combustibil metan – aer
Fig. 4.17.	Contur de culoare în diluția amestecului combustibil metan – aer
Fig. 4.18.	Diluția amestecului combustibil metan – aer reprezentată prin curgerea particulelor
Fig. 4.19.	Amestec de gas combustibil, metan – aer reprezentată prin curgerea particulelor
Fig. 5.1.	Aranjament tipic Schlieren, pe bază de lentile
Fig. 5.2.	Principiul de funcționare a tehnicilor Schlieren
Fig. 5.3.	Configurație Schlieren bazată pe oglinzi parabolice
Fig. 5.4.	Configurație Schlieren bazată pe oglinzi parabolice și plane
Fig. 5.5.	Configurație complexă, bazată pe oglinzi parabolice și plane
Fig. 5.6.	Configurație simplă, cu o oglindă parabolică și o semioglinză
Fig. 5.7.	Configurație cu lentile și ecran de fundal
Fig. 5.8.	Configurație simplă, cu o singură lentilă și filtru bandpass
Fig. 5.9.	Imagini dintr-un laborator ce utilizează tehnicile Schlieren
Fig. 5.10.	Principiul de funcționare BOS
Fig. 5.11.	Configurare standard în utilizarea metodei BOS
Fig. 5.12.	Unde de șoc create de un aparat supersonic și vizualizate prin utilizarea metodei BOS
Fig. 5.13.	Utilizarea metodei BOS în laborator
Fig. 5.14.	Setări pentru metodele Shadowgraph a) și Schlieren b)
Fig. 5.15.	Schema de principiu a standului pentru realizarea experimentelor fizice
Fig. 5.16.	Diferența de densități (aer cald și aer rece), vizualizată prin efectul Schlieren
Fig. 5.17.	Standul experimental pentru efectuarea exploziilor de gaze utilizând tehnicile Schlieren
Fig. 5.18.	Disponerea camerelor de mare viteză pentru înregistrări concomitente ale exploziilor
Fig. 5.19.	Camera de explozie
Fig. 5.20.	Imagine a frontului de flacără, obținută prin tehnica video convențională
Fig. 5.21.	Imagini ale frontului de flacără, obținute prin suprapunerea imaginilor realizate prin cele două tehnici

Fig. 5.22.	Graficul vitezei frontului de flacără funcție de distanța față de locația scânteii
Fig. 5.23.	Intensificatorul de imagine HICATT
Fig. 5.24.	Montarea intensificatorului de imagine pe camera de mare viteză
Fig. 5.25.	Unitatea de comandă a intensificatorului de imagine
Fig. 5.26.	Conexiunile Intensificatorului de imagine
Fig. 5.27.	Conexiune cu PC a unității de comandă a intensificatorului de imagine
Fig. 5.28.	Efect Corona
Fig. 5.29.	Inițierea amestecului aer-metan prin efect Corona
Fig. 5.30.a	Stand transparent cu obturatorul prevăzut la capătul camerei transparente de explozie
Fig. 5.30.b	Obturatorul prevăzut la capătul camerei transparente de explozie
Fig. 5.31.	Comportamentul frontului de flacără la o concentrație de 9,5 % volumetric metan
Fig. 5.32.	Comportamentul frontului de flacără în experimentul fizic și în simularea computerizată, la începutul procesului de explozie
Fig. 5.33.	Comportamentul frontului de flacără în experimentul fizic și în simularea computerizată, în decursul procesului de explozie
Fig. 5.34.	Stand transparent cu scopul inițierii amestecului exploziv
Fig. 5.35.	Configurare Schlieren utilizată la inițierea prin scânteie electrică
Fig. 5.36.	Inițierea amestecului aer – metan prin scânteie electrică
Fig. 5.37.	Generator de scânteie mecanice
Fig. 5.38.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin scânteie mecanică
Fig. 5.39.	Generator al efectului Corona
Fig. 5.40.	Inițierea amestecului aer – metan prin efect Corona
Fig. 5.41.	Generator al efectului Corona
Fig. 5.42.	Aprinderea unui volum mic de metan în spațiu deschis
Fig. 5.43.	Inițierea amestecului aer – metan prin flacără deschisă
Fig. 5.44.	Inițierea amestecului aer – metan prin flacără deschisă – chibrit
Fig. 5.45.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin suprafețe fierbinți
Fig. 5.46.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin arc electric – tehnica Schlieren
Fig. 5.47.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin arc electric – tehnica Shadowgraph
Fig. 5.48.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin arc electric – tehnica BOS
Fig. 5.49.	Inițierea amestecului aer – hidrogen prin arc electric – tehnica Schlieren

LISTA TABELELOR

TABEL	SPECIFICAȚIE
Tabelul 1.1.	Asemănări ale calculelor de concentrație
Tabelul 1.2.	Specificații pentru aparatele de măsură cu testare umedă
Tabelul 1.3.	Caracteristici de debit asupra materialelor de fabricare pentru plutitoare
Tabelul 1.4.	Factori de corecție moleculară
Tabelul 1.5.	Prezentarea preciziilor a unui amestec omogen de cinci gaze
Tabelul 2.1.	Caracteristici ale gazului metan
Tabelul 2.2.	Caracteristici ale gazului propan
Tabelul 2.3.	Caracteristici ale gazului isobutan
Tabelul 2.4.	Caracteristici ale gazului dimetileter
Tabelul 2.5.	Distrugeri de la suprapresiunile cauzate de explozii
Tabelul 2.6.	Efecte asupra organismului uman ca urmare a expunerii la suprapresiunea exploziei
Tabelul 3.1.	Compoziția amestecurilor explozive de încercare corespunzătoare pentru un factor de securitate 1,0
Tabelul 3.2.	Compoziția amestecurilor explozive de încercare corespunzătoare pentru un factor de securitate 1,5
Tabelul 3.3.	Compozițiile amestecurilor explozive corespunzătoare factorului de securitate 1,0
Tabelul 3.4.	Compozițiile amestecurilor explozive corespunzătoare factorului de securitate 1,5
Tabelul 4.1.	Componente ale standului computerizat pentru amestecurile de gaze
Tabelul 4.2.	Specificații pentru driver TB6600
Tabelul 4.3.	Setări pentru micro pași
Tabelul 4.4.	Setări pentru controlul curentului
Tabelul 4.5.	Setări utilizate pentru standul computerizat de amestecuri

Tabelul 4.6.	Valori LIE și LSE create cu standul computerizat pentru amestecuri de gaze
Tabelul 4.7.	Concentrații stoichiometrice pentru diferite amestecuri combustibile – aer
Tabelul 4.8.	Rezultate afișate de detectorul multigaz
Tabelul 5.1.	Componente ale standului computerizat pentru amestecurile de gaze

INTRODUCERE

Sistemele de amestecare a gazelor sunt echipamente utilizate pentru amestecul a două sau mai multe gaze, într-un mod controlat. Aceste sisteme sunt folosite într-o gamă largă de industrii, inclusiv în procesarea chimică, fabricarea de semiconductori și biotehnologie.

Una dintre aplicațiile comune ale sistemelor de amestecare a gazelor este în producția de semiconductori. În această industrie, este important să se obțină un amestec de gaze precis și consistent pentru a asigura obținerea de plachete (plachete subțiri, realizate din material semiconductor, cum ar fi siliciul, și sunt utilizate ca substrat pentru fabricarea circuitelor integrate și a altor dispozitive electronice) de înaltă calitate. Procesul de producere a acestora necesită un amestec controlat de gaze, cum ar fi hidrogen, argon, azot și metan. Amestecul de gaze este folosit pentru a crea un plasmă care depune un strat subțire de material pe suprafața plachetei.

O altă aplicație pentru sistemelor de amestecare a gazelor se regăsește în industria de procesare chimică. În această industrie, sistemele de amestecare a gazelor sunt utilizate pentru a amesteca diverse gaze și pentru a crea o reacție chimică specifică. De exemplu, în producția de amoniac, gazele de azot și hidrogen sunt amestecate într-un reactor pentru a forma amoniac. Această reacție este extrem de exotermă și necesită un control precis al amestecului de gaze pentru a evita accidentele.

În industria biotehnologică, sistemele de amestecare a gazelor sunt utilizate în procesele de fermentație pentru a controla mediul din interiorul fermentatorului. Aceste sisteme sunt folosite pentru a amesteca gaze precum oxigenul, dioxidul de carbon și azotul, pentru a menține mediul optim pentru microorganismele utilizate în fermentație.

Sistemele de amestecare a gazelor sunt, de obicei, compuse din mai multe componente, inclusiv debitmetre de gaz, regulatoare, supape și sisteme de control. Debitmetrele de gaz sunt utilizate pentru a măsura debitul fiecărui gaz care este amestecat, în timp ce regulatoarele sunt folosite pentru a controla presiunea fiecărui gaz. Supapele sunt utilizate pentru a controla fluxul fiecărui gaz, iar sistemul de control este folosit pentru a coordona funcționarea celorlalte componente.

Există mai multe tipuri de sisteme de amestecare a gazelor disponibile, inclusiv sisteme pe loturi, sisteme continue și sisteme semi-continue.

- Sistemele pe loturi sunt tipuri de sisteme de procesare în care o cantitate fixă de materiale sau substanțe este procesată în mod secvențial într-o serie de pași definiți. Într-un sistem pe loturi, toate materiile prime necesare pentru un proces sunt adăugate la început, procesul este completat, iar produsul final este obținut înainte ca un alt lot să fie procesat. Aceste sisteme sunt utilizate frecvent în diverse industrii, inclusiv în chimie, farmaceutică, alimentară și în prelucrarea materialelor. Sistemele pe loturi sunt utilizate pentru a amesteca o cantitate fixă de gaze într-un singur proces. Avantajele acestor sisteme pe loturi sunt cantitatea fixă, prin care este procesată o cantitate fixă de materiale într-un singur proces de producție, flexibilitate prin schimbarea parametrilor de proces între loturi și controlul calității prin procesarea separată a fiecărui lot.

- Sistemele continue sunt tipuri de sisteme de procesare în care materialele sunt introduse într-un proces și transformate în produse finite printr-un flux continuu, fără opriri între loturi sau cicluri. Într-un astfel de sistem, materia primă este alimentată continuu în echipamentul de procesare, iar produsul final este eliberat continuu, pe măsură ce trece prin fiecare etapă de prelucrare. Aceste sisteme continue sunt utilizate pentru a amesteca gaze în mod continuu.

- Sistemele semi-continue sunt o combinație a celor două, unde o cantitate fixă de gaze este amestecată, dar procesul este repetat de mai multe ori. Aceste sisteme semi-continue sunt tipuri de sisteme de procesare care combină elemente atât din sistemele pe loturi, cât și din sistemele continue. Într-un astfel de sistem, anumite etape ale procesului sunt efectuate în mod continuu, în timp ce altele sunt realizate în mod discontinuu sau pe loturi. Acest tip de sistem este utilizat pentru a beneficia de flexibilitatea sistemelor pe loturi și de eficiența sistemelor continue, adaptându-se la necesitățile specifice ale procesului.

Importanța și necesitatea temei. Obiectivele și structura tezei

Obiectivul tezei

Obiectivul de bază al cercetărilor doctorale vizează o abordare metodologică complet nouă în ceea ce privește analiza sistemelor de amestecare de gaze, cu scopul dezvoltării și implementării sistemului de amestecare de gaze în activitatea de laborator, în ajutorul desfășurării experimentelor fizice controlate.

Rezultatul vizat constă în formarea și utilizarea amestecurilor de gaze în limitele de explozivitate aferente fiecărui tip de gaz introdus în amestecătorul de gaze.

Obiectivele specifice

Identificarea elementelor constructive specifice sistemelor de amestecare de gaze.

Dimensionarea unui sistem de amestecare de gaze.

Analiza matematică pentru controlul dozajului fiecărui tip de gaze utilizat în amestecător.

Identificarea particularităților specifice ale obiectelor de control necesare în construcția amestecătorului de gaze.

Dezvoltarea și exeperimentarea cu amestecătorul de gaze prin alimentarea cu gaze cunoscute și aduse la concentrații dorite.

Structura tezei

Teza de doctorat debutează cu o parte introductivă consacrată expunerii importanței, scopului și obiectivelor cercetării. Corpul de bază este structurat în cinci capitole destinate prezentării demersului științific și anexă, însumând o extindere de 150 de pagini. Ansamblul lucrării este susținut prin inserarea a 103 figuri și 26 tabele, precum și lista de referințe bibliografice citate în lucrare. În cadrul tezei sunt prezentate sistematic cercetările autorului, reprezentând rezultatele din etapa de documentare, rezultatele calculului matematic utilizate în optimizarea dozajului de amestec a gazelor utilizate, demersul de experimentare și interpretare a datelor obținute din măsurători și în mod special de concepție. Teza de doctorat este construită ca un tot unitar fundamentat pe studii de caz și se finalizează cu rezultatele obținute în urma utilizării în experimente fizice de laborator controlate, cu ajutorul amestecătorului de gaze dezvoltat de către autor.

În **capitolul I**, intitulat “*Stadiul actual al cercetărilor privind amestecurile explozive*”, sunt prezentate principiile generale în formarea amestecurilor de gaze și legile fundamentale ale gazelor, cât, a echipamentelor utilizate în măsurătorile de debit și de volum, dar și sisteme statice de producere a amestecurilor explozive. Totodată sunt analizate sistemele de producere a amestecurilor de gaze, la presiune atmosferică. De asemenea, sunt prezentate măsurători de volum prin evidențierea unor standarde intermediare și standarde secundare. Se evidențiază faptul că acest capitol este de a deriva, organiza și corela relațiile fundamentale importante care există atât în gazele pure, cât și în cele mixte.

Capitolul II, poartă titlul „*Aspecte teoretice privind caracteristicile și parametrii de explozivitate a amestecurilor aer – gaze inflamabile*” și este dedicat realizării unui studiu privind estimarea presiunilor de explozie, în urma formării combustiei amestecurilor explozive. Se stabilește aparatul matematic necesar determinării debitului de aer necesar în subteran și, în mod special, la frontul de lucru. Viteza de ardere și intensitatea exploziei depind de mai mulți factori, inclusiv compoziția și concentrația reactanților, sursa de aprindere, dimensiunea și forma amestecului și prezența oricăror obstacole sau caracteristici care induc turbulențe în amestec. În plus, prezența oxigenului este crucială pentru a avea loc arderea. Reacțiile de ardere necesită oxigen pentru a genera căldură, presiune și gaze.

Este important de evidențiat, faptul că, în urma rulării unui program specializat, a rezultat o presiune de explozie dezvoltată în cazul arderii neturbulente de 78 mbar. Această presiune de explozie, conform detelilor asupra distrugerilor în urma suprapresiunilor de explozie, determină deformarea și mișcarea panourilor metalice canelate, iar panourile din lemn ale caselor sunt proiectate în mediul exterior. În cazul analizat, presiunea maximă de explozie a generat efecte dinamice de mică intensitate, respectiv deteriorarea unor pereți de rigips.

Cel de-al **III-lea capitol**, având titlul „*Tehnici de realizare în laborator a amestecurilor explozive/gazoase*” debutează, în partea introductivă, cu o sinteză asupra legii presiunilor parțiale. Secțiunea substanțială a capitolului este dedicată modalităților de realizare a amestecurilor explozive utilizând echipamente de laborator din cadrul INCD INSEMEX Petroșani, cu instalație de amestec de gaze cu eclator, instalație de dozare cu dozator digital pentru prepararea amestecurilor și prin sistem de laborator de analiză pentru oxigen în gaze combustibile.

În **capitolul IV**, „*Concepere și experimentare sistem automat de amestecare a gazelor*”, sunt prezentate, într-o manieră succintă, conceperea unui amestecător de gaze computerizat, necesar preparării amestecurilor de gaze inflamabile (explozive sau toxice) în scopul obținerii de amestecuri la concentrații aflate în domeniul de explozivitate, cuprins între limita inferioară de explozie și limita superioară de explozie, pentru gazele combustibile, sau în limite prestabilite pentru alarmare, aferente procentelor din limita inferioară de explozie sau limita dozei letale, având o precizie de 0,1 % fracții volumetrică are ca principiu de funcționare amestecarea a două debite volumetrică, controlate prin microcontroler programabil, unde gazele sunt stocate și transportate la presiunea atmosferică, prin intermediul unor injectomate cilindrice, care au o capacitatea de 10 litri, un diametru interior de 10 centimetri, acționate de motoare pas cu pas, astfel că circuitul gazelor nu are în componență valve.

În finalul capitolului s-a realizat experimentarea sistemului automat cu comandă electrică pentru prepararea amestecurilor de gaz inflamabil/aer, în cazul gazului metan, cât și hidrogen. Au fost obținute concentrații între limita inferioară de explozie și limita superioară de explozie, pornind de la 5 % volumetric metan, până la 15 % volumetric metan.

Capitolul V intitulat „*Simulări computerizate ale exploziilor de amestecuri explozive în tub de sticlă*” este dedicat evenimentelor de tip explozie de gaze, atât în domeniul privat cât și casnic, unde, aceste evenimente sunt urmate de o analiză tehnică a factorilor ce au condus la generarea acestora. Stabilirea cauzelor evenimentului presupune, implicit, stabilirea sursei probabile de inițiere a amestecului exploziv, ulterior descoperirii sursei de gaz combustibil și analizei modului de formare a acestui amestec. Datorită complexității geometrice a spațiului în care a avut loc explozia, undele de șoc incidente, reflectate sau compuse generate de explozie pot crea o amprentă a evenimentului

ce pune sub semnul întrebării locația sursei de inițiere. Funcție de posibilele surse descoperite în teren trebuie efectuate analize bazate pe metodele elementelor și volumelor finite. Elementele luate în considerare la realizarea simulărilor computerizate vizează atât geometria spațiului, natura scurgerii de gaz combustibil, modul de dispersie a acestuia, cât și efectele termice și mecanice rezultate. Analizele și simulările din cadrul acestui capitol au fost realizate în Laboratorul Simulări Computerizate din cadrul INCD INSEMEX Petroșani.

În cadrul *capitolului VI „Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare viitoare”* sunt reliefate cele mai importante rezultate care au fost decelate din analiza noțiunilor teoretice, a modelelor, abordărilor, studiilor de caz și a cercetărilor experimentale efectuate. Contribuțiile autorului aduse în cadrul cercetării doctorale sunt evidențiate pe cele două planuri care se întrepătrund și se intercondiționează reciproc: planul teoretic, respectiv planul practic, cu accent asupra modului de aplicare în practică a acestor rezultate. În ultima parte a capitolului, au fost evidențiate o serie de direcții de cercetare ce pot fi abordate în viitor, iar doctorandul, ar putea aduce un plus de înțelegere și cunoaștere în ceea ce privește dezvoltarea, programarea și experimentarea cu sisteme de amestec de gaze. Acest capitol este un capitol de sinteză a concluziilor și de formulare explicită a contribuțiilor la domeniul de cercetare abordat.