

**INSTITUTUL DE ENERGETICĂ AL  
ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris  
C.Z.U.: 696.2.004.69 (043)

**VASILE DAUD**

**OPTIMIZAREA CONSTRUCȚIEI ȘI A  
REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE A  
ARZĂTOARELOR INSTALAȚIILOR  
DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE**

**221.01 „Sisteme și Tehnologii Energetice”**

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

**CHIȘINĂU, 2017**

Teza a fost elaborată în cadrul Institutului de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei.

**Conducător științific: BERZAN Vladimir**, dr. hab. în șt. tehnice, specialitatea 221.01.

**Consultant științific: DOROGAN Valerian**, dr. hab. în șt. tehnice, prof. univ., specialitatea 134.01.

**Referenți oficiali:**

**SAJIN Tudor**, dr. ing., prof. univ., Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, Romania;

**GUȚU Aurel**, dr. în tehnică, conf. univ., Universitatea Tehnică a Moldovei.

**Componența Consiliului Științific Specializat:**

**POSTOLATI Vitalie**, dr. hab., academician, A.Ș.M., **președinte**;

**TÎRȘU Mihai**, dr. în tehn., conf. cercetător, I.E., A.Ș.M., **secretar**;

**ARION Valentin**, dr. hab. în tehn., prof. univ., U.T.M.;

**ERMURATSCHII Vladimir**, dr. hab. în tehn., conf. cerc., IE, AȘM;

**OLESCIUK Valentin**, dr. hab. în tehn., conf. cerc., IE, AȘM;

**ȘIT Mihai**, dr. în tehn., I.E., A.Ș.M.

**Susținerea va avea loc la „08” septembrie 2017, la ora 14.00, în ședința CȘS D 03.221.01-02 la Institutul de Energetică al AȘM, pe adresa: MD 2028, mun. Chișinău, str. Academiei, nr.5, a. 432.**

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la biblioteca Institutul de Energetică al AȘM, la biblioteca AȘM, la biblioteca UTM, și la pagina Web a C.N.A.A. (www.cnaa.md)

Autoreferatul a fost expediat la „ 31 ” iulie 2017

Secretar științific al CȘS,  
dr. în tehn., conf. cercetător

**TÎRȘU Mihai**

Conducător științific:  
dr. hab în științe tehnice

**BERZAN Vladimir**

Consultant științific:  
dr. hab în științe tehnice, prof. univ.

**DOROGAN Valerian**

Autor: ing., cerc.șt.

**DAUD Vasile**

©. Vasile Daud, 2017

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea și importanța temei abordate.** Folosirea rațională a resurselor energetice și protecția mediului sunt unele dintre direcțiile importante ale strategiei de dezvoltare durabilă a societății, proces restricționat de Legislația Republicii Moldova. Instalațiile de ardere a gazelor naturale combustibile constituie factorul de eficientizare a utilizării lui ca sursă de energie. Prin optimizarea construcției și a regimurilor de funcționare a instalațiilor de generare distribuită a energiei termice și pentru a asigura un grad înalt de performanță, este necesar de a rezolva un ansamblu de probleme tehnologice la utilajele cu regim constant de funcționare, contribuinduse prin aceasta la îmbunătățirea calității arderii, la sporirea gradului de fiabilitate, eficienței în exploatare, obținerea unei valori înalte a randamentului, fapt care ține ca rezultat micșorarea consumului de gaze și diminuarea impactului asupra mediului ambiant. Problemele enumerate a tehnologiilor existente a producerii energiei termice, modul lor de interacțiune și impactul asupra mediului determină actualitate temei de cercetare abordată.

Lucrarea reflectă utilitatea folosirii raționale a resurselor energetice și a protecției mediului ambiant, care constituie o platformă pentru dezvoltarea durabilă a economiei, inclusiv, care are și aspecte sociale importante. Soluția elaborată și investigată are la bază optimizarea construcției și a regimurilor de funcționare a arzătoarelor de gaze combustibile ale instalațiilor de producere a energiei termice în condiții de variere a sarcinii, fapt ce contribuie la sporirea eficienței energetice a instalațiilor de ardere a gazelor naturale.

### **Probleme privind domeniul de cercetare al tezei.**

Tehnologia de funcționare a instalațiilor aflate actualmente în exploatare se bazează pe utilizarea utilajelor care funcționează în regim permanent, sarcină cărora se modifică după valoare în trepte. De obicei instalațiile funcționează cu o singură treaptă de putere s-au în două trepte. Astfel de tehnologii au fost dezvoltate și cercetate de către savanții I.B.Zeldovici, L.N. Hitrin, G.N. R.B. Ahmedov, Stănescu P.D., Antonescu N.N. , A.S. Iserelin, A.V. Naumeico, D. Frank-Camenitschi, e.t.c.

Rezultatele cercetărilor acestor tipuri de regimuri de producere a energiei termice (regim de funcționare cu sarcină constantă – regim staționar) sunt prezente în mai multe teze de doctorat susținute anterior. În caz de funcționare a instalațiilor la sarcini variabile cu utilizarea acestor tehnologii se observă fenomenul arderii necalitative ce conduce la un consum sporit de gaze naturale cu emisii majorate de substanțe nocive. Urmare a arderii necalitative se micșorează randamentul de

conversie a instalațiilor, se reduc indicii fiabilității de funcționare, sporesc cheltuielile de deservire, consumul sporit de resurse energetice primare cu consecințe la creșterea costurilor energiei produse pentru consumatorul final. În acest context, varierea sarcinii de consum a energiei termice are consecințe și de caracter tehnic pentru echipament și economic manifestate în creșterea costurilor de producere a energiei termice. S-a clarificat faptul, că până la momentul problemele studierii particularităților funcționării instalațiilor de producere a energiei termice de către instalațiile de putere mică și medie la sarcini variabile nu au un studiu complex, care ar elucida în plin volum aceste particularități pentru a găsi soluții ingineresti optime privind proiectarea arzătoarelor. Această situație este caracteristică și pentru Republica Moldova, deoarece gazele naturale au o cotă semnificativă în balanța energetică a țării, deci și în cheltuielile pentru procurarea gazelor naturale importate.

Ținând cont de avantajele economice condiționate de valorificare a potențialului de eficientizare a consumurilor de energie primară, inclusiv a gazelor naturale, ca rezultat al optimizării regimurilor de funcționare a arzătoarelor în condiții de variere a sarcinii, problema îmbunătățirii indicilor de performanță a arzătoarelor se prezintă foarte actuală pentru țara noastră. Toate acestea au servit ca argumentare la selectarea temei tezei de doctorat. Urmare a acestora reiese că nu numai problema actualității științifice a temei abordate, dar și semnificația practică, care la fine se materializează în majorarea randamentului instalațiilor de producere a energiei termice, fapt care contribuie la utilizarea eficientă a gazelor combustibile și diminuarea poluării mediului ambiant.

**Scopul** lucrării constă în elaborarea și perfecționarea construcției arzătorului de gaze naturale apt să funcționeze stabil și eficient în diapazon extins de variere a sarcinii întru reducerea consumului de gaze și a impactului asupra mediului ambiant.

**Obiectivul general** constă în argumentarea, elaborarea și implemetarea soluției tehnice inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale dotate cu stabilizatoare apte să funcționeze stabil și eficient în diapazon extins de variere a sarcinii și a sistemului de comandă cu microprocesor pentru reglarea lentă a puterii termice a fiecărui arzător montat în grup.

**Obiectivele specifice ale lucrării:**

- Analiza problemei arderii gazelor naturale și formularea problemei investigației.
- Argumentarea și selectarea metodei de realizare a investigației în cadrul temei de cercetare.

- Elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor gazelor naturale apte să funcționeze stabil la sarcini variabile termice.
- Elaborarea sistemului automatizat de dirijare cu procesul de funcționare a arzătoarelor montate în grup și estimarea eficienței economice a tehnologiei elaborate de producere a energiei termice.

**Metodologia cercetării științifice.** Pentru obținerea obiectivelor stabilite au fost utilizate metodele de studii bazate pe aplicarea instrumentelor matematice de analiză, metodelor de cercetare experimentală, elaborarea, realizarea constructivă și cercetarea indicilor de performanță ai arzătoarelor de construcție nouă, procesele reale de ardere ale gazelor naturale, modelarea și simularea structurii flăcării cu utilizarea aerului cald [1, 6,12,13]. Aceste activități au avut ca obiectiv optimizarea construcției și regimurilor de funcționare ale arzătoarelor, sporirea eficienței procesului de ardere la utilizarea arzătoarelor elaborate în instalațiile termice existente. La realizarea investigațiilor experimentale s-au utilizat aparate, utilaje performante [5,9,14], soft-uri moderne de calcul (Microsoft Excel) pentru optimizarea construcției arzătoarelor în baza ceretărilor experimentale. Evaluarea și verificarea credibilității rezultatelor obținute teoretic au la bază ecuațiile criteriului Peklet, precum și rezultatele cercetărilor experimentale efectuate în condiții de laborator și în condiții reale (în teren - la centrala termică).

**Noutatea și originalitatea științifică.**

- S-a propus și realizat o soluție inovativă de confecționare a arzătoarelor de gaze naturale apte să funcționeze stabil și sigur la sarcini termice variabile, protejată de brevet de invenție[1,6,8,10,13,17];
- S-a elaborat conceptul și metoda de realizare constructivă a echipamentului de simulare fizică a procesului de ardere prin substituirea gazelor naturale cu aer cald [5,14,17];
- S-a elaborat metoda de calcul a arzătoarelor și stabilizatoarelor cu distribuție optimală a concentrației gazului în flacără [12,20];
- S-a identificat modelul matematic al regulatorului de tip PID (proporțional integru discret) pentru comandarea separată cu puterea de generare a fiecărui arzător din grupul instalației termice de generare distribuită la varierea aleatoare a sarcinii [5,6,10,13,19].
- S-a argumentat și elaborat metoda de determinare a limitei de funcționare stabilă a arzătoarelor la sarcini variabile de generare a energiei termice după efectul pătrundere/rupere a flăcării arzătorului [1,6,10,12,17,18].

- S-a elaborat metoda de formare și menținere a omogenității amestecului aer-gaze la procesul de ardere a gazelor în condițiile de variere a sarcinii arzătorului [1,6,12,17,18].

**Problema științifică soluționată** constă în identificarea, argumentarea și verificarea practică a performanței soluției inovative de confecționare a arzătoarelor gazelor combustibile și sistemului de reglare apt să funcționeze stabil și sigur la sarcini termice variabile în tehnologiile de producere distribuită a energiei termice cu impact redus asupra mediului [1,4,10,17].

**Semnificația teoretică** constă în adaptarea modelelor matematice cunoscute și elaborarea metodelor de analiză teoretică și simulare fizică a proceselor dinamice de ardere ale gazelor combustibile în instalațiile cu sarcini variabile pe fundalul multitudinii de factori cu mecanisme contradictorii de interacțiune și condiții de incertitudine, care s-au soldat cu elaborarea metodelor de calcul a arzătoarelor cu distribuție optimă a concentrației gazului în flacără, determinarea limitei de funcționare stabilă a arzătoarelor la sarcini variabile și algoritmului de dirijare cu regimul de funcționare a instalațiilor termice la sarcini variabile [1,4,10,16,17,18].

**Valoarea aplicativă a lucrării** constă în formularea și verificarea experimentală a recomandărilor de sporire a eficienței energetice a instalațiilor tip de producere a energiei termice ca urmare a realizării constructive a arzătoarelor gazelor combustibile apte să funcționeze la sarcini termice variabile și care au un impact redus asupra mediului privind emisiile gazelor de seră. Aceste recomandări au la bază rezultatele investigațiilor care au permis stabilirea factorilor principali, care trebuie luați în considerare la proiectarea arzătoarelor gazelor combustibile cu indici ridicați de performanță, ca:

- Modalitatea de asigurare a omogenității amestecului și a stabilității flăcării, care este determinată de viteza de scurgere a amestecului aer-gaz din arzător, valoarea coeficientului de exces aer-gaz, caracterul mișcării amestecului, diametrul gurii arzătorului, realizarea constructivă a stabilizatorului și alte particularități constructive, determinate de instalația termică [1,4,6,12,17,18].
- Rezultatele modelării fizice ale proceselor de ardere, inclusiv prin substituirea gazelor combustibile cu aer cald. Rezultatele simulărilor matematice din cauza sensibilității ridicate a coeficienților ecuației Navier-Stokes în regim de turbulență se deosebesc semnificativ în zona valorii critice a numărului Reynolds. Modelarea fizică prin substituirea gazelor cu aer cald este mai puțin costisitoare și permite monitorizarea câmpului repartiției vitezelor prin măsurarea concentrației cotei “gazului în flacără” [1,5,12,14, 17,18].

- Factorii principali ce influențează asupra calității procesului de ardere sunt: distanța de la gura arzătorului  $x/D$ ; distanța de la axa gurii arzătorului  $h/R$ ; produsul mărimilor  $x*h$ ; viteza amestecului aer-gaz; unghiul de desfacere și lungimea flăcării [1,6,12,17,18].
- Algoritmul de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere în baza fenomenului de pătrundere și rupere a flăcării în/de la gura arzătorului, algoritmul și metoda de calcul a valorilor vitezei amestecului aer-gaz, excesului de aer  $\alpha$ , vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării asigură sporirea preciziei de calcul și eficiența proiectării arzătoarelor cu regim stabil de funcționare la sarcini termice variabile [1,6,12,17,18].
- Schema de aplicare a arzătoarelor în minicentralele termice, care include algoritmul de utilizare a regulatorului de tip PID (proporțional integru discret) cu două bucle de reacție inversă și modelul lui matematic pentru diverse clădiri cu valorile coeficientului termic în banda 0.02-2.5 - W/m<sup>2</sup>\*K. S-a elaborat metoda și algoritmi de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup la centrale termice cu sarcină variabilă [3,4,7,8,11,16].
- Algoritmul de măsurare a omogenității amestecului include 7 etape de măsurare a valorilor a 4 mărimi: diametrul echivalent al stabilizatorului; viteza amestecului; distanța de la gura de ieșire a arzătorului; distanța de la axa arzătorului cu colectarea automată a rezultatelor măsurărilor. Estimarea experimentală a calității omogenității amestecului aer- gaz în baza criteriilor Kohren, Fisher și Snedecor a confirmat faptul, că pentru nivelul de încredere de 95% omogenitatea este determinată de parametrii:  $x/D$  - distanța de la gura arzătorului;  $h/R$  - distanța de la axa gurii arzătorului și  $x*h$  – interacțiunea lor și de realizarea constructivă a arzătorului și stabilizatorului lui [1,6,17,18].
- Se recomandă, ca modelele fizice să se elaboreze în baza rezultatelor cercetărilor experimentale și din exploatare în cazul proiectării unui arzător performant apt să funcționeze la sarcini variabile. Modelele fizice sunt relativ simplu de realizat și sunt mult apropiate de condițiile de funcționare la sarcină variabilă (regim real) ale instalațiilor cu puterea termică 0.04-5 MW, utilizate pentru generare distribuită [2,4].

### **Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere:**

1. Construcția arzătorului și principiul de formare și de menținere a raportului aer - gaz în regimuri variabile a sarcinii arzătoarelor, [17]. (Brevet de Invenție MD 1908 G2 Int. Cl.: F 23 N 1/02, 5/02, din 2002. 04.03. BOPI nr. 04/2002, Agenția de Stat pentru Proprietatea Intelectuală (AGEPI). Metoda și soft-ul de calcul al parametrilor arzătorului cu sarcină variabilă. (Operă științifică. Certificat de

înregistrare a obiectelor ocrotite de dreptul de autor și drepturile conexe, [10]. seria OȘ nr. 1667/1634 din 10.07.2007.

2. Principiul de reglare mixtă prin două canale și ecuațiile de reglare automată a puterii arzătoarelor cu sarcină variabilă (cp.4.) și Metodica de control a puterii grupului de arzătoare cu puteri variabile în condiții arbitrare de funcționare, [3,4,8,11,16].

3. Rezultatele valorificării cercetărilor teoretice, experimentale, implementate care asigură eficientizarea consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice prin optimizarea tehnologiei formării și menținerea omogenității raportului de amestec aer-gaz în regimuri variabile ale sarcinii instalației pe baza dotării instalației cu arzătoarele elaborate, prin ce se asigură calitatea ridicată a procesului de ardere, implementat de către întreprinderea „RGG” la producerea arzătorului pentru instalații termice cu sarcină variabilă de tip „DAVA” [1,2,4,10,17].

#### **Implementarea rezultatelor științifice.**

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale referitor la eficientizarea consumului de gaze naturale în instalațiile de generare distribuită a energiei termice la sarcină variabilă au fost implementate în diferite segmente ale economiei, preponderent, în instalațiile tip de producere distribuită a energiei termice:

- Algoritmii și soluțiile de realizare a regulatorului au fost testate experimental la dirijarea cu arzătoarele de tip „DAVA” cu diferite valori a puterii nominale în instalații termice tip, dotate cu aceste arzătoare. S-a stabilit, că la funcționarea la parametrii neajustați se observă regimul de suprareglare cu oscilații a mărimii de ieșire, iar la ajustarea parametrilor buclelor cu reacție inversă a regulatorului aceste efecte lipsesc, dar timpul de reacție în ultimul caz crește. Valoarea suprareglării temperaturii agentului termic la ieșire este sub 4%, iar a suprareglării valorii instantanee a puterii generate de către sursă în regim tranzitoriu se află în diapazonul de 9-17 % [3,4,8,11,16].
- Implementarea rezultatelor teoretice, experimentale, a proiectării au fost realizate la întreprinderea „Romany Gaz Group” SRL la producerea arzătorului de gaze cu sarcină variabilă, de tip „DAVA” pentru utilizare la obiectele din sectorul energetic [1, 2, 4, 10, 17].
- Efectul economic estimat (cp.4) a utilizării în regim de funcționare la sarcină variabilă s-a determinat ca rezultat al sporirii calității arderii și ținând cont de aria implementării curente. Efectul economic este estimat la nivel de cca. 100 mii lei/h, la un arzător cu putere medie 400 – 750 kW . În cazul centralei



termice cu puterea de 400 kW (Strășeni) economia de gaze naturale atinge valoarea de 6-15% pe sezon în funcție de tipul clădirii (cu termoizolare medie și redusă) și condițiile climaterice (sezon rece și relativ cald).

- Concomitent, rezultatele cercetărilor din cadrul tezei se racordează la criteriile și cerințelor legislației în vigoare a Republicii Moldova, a Directivelor Consiliului European privind eficiența energetică, inclusiv cu privire la energia termică și promovarea cogenerării și a diminuării impactului energetic asupra mediului ambiant prin contribuții la ajustarea normativelor în vigoare din țară la cerințele normelor din Uniunea Europeană.

### **Aprobarea rezultatelor științifice.**

Principalele rezultate au fost comunicate, discutate, apreciate pozitiv la diverse conferințe științifice: (1) Conferința tehnico-științifică cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie” Iași, 2011; (2) Conferința cu participare internațională „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”, Timișoara, 2011; (3) The 2nd Internațional Conference „Telecommunications, Electronics and informatics”, Chișinău, 2008; (4) Proceedeings of the 5-th Internațional Conference on „Microelectronics and Computing Science”, Chișinău, 2007; (5) Proceedeings of the 6-th Internațional Conference on electromechanical and power systems Craiova-Iași-Chișinău, 2007; (6) Conferința Jubiliară Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților consacrată celei de-a 40-a Aniversări a Doctoranturii U.T.M., Chișinău, 2006; (7) Conferința tehnico-științifică cu participare internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău, 2002; (8) Conferința cu participare internațională „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”, Ediția a IX-a Timișoara, 2002.

**Publicații științifice la tema tezei.** Rezultatele obținute sunt publicate în **22 lucrări științifice**, inclusiv **9 – de un singur autor, 5 - în reviste recenzate**; s-a obținut **1 brevet de invenție, 3 lucrări cu dreptul de autor (AGEPI)**.

**Structura și volumul tezei.** Teza include: introducere, 4 (patru) capitole, concluzii generale și recomandări, 174 pagini text de bază, bibliografie 187 titluri, anexe 16, figuri 57, tabele 32.

**Cuvintele-cheie:** sarcină variabilă, arzător de gaze naturale, viteză de amestec, amestec omogen aer-gaz, stabilitate, proces de ardere, reglare putere, limite rupere/pătrundere a flăcării, eficacitate, fiabilitate.

## CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** este argumentată actualitatea problemei abordate și este demonstrată importanța soluționării problemei sporirii eficienței conversiei resurselor energetice primare, preponderent, a gazelor naturale în energie termică. Se abordează aspecte generale privind diminuarea consumului de gaze naturale în contextul tendinței de majorare a prețurilor de procurare a acestor gaze naturale. Sunt formulate scopul și obiectivele cercetării, se evidențiază noutatea științifică a rezultatelor obținute, valoarea aplicativă a cercetărilor, se expune succint conținutul și structura tezei.

**Capitolul 1** este consacrat studiul bibliografic de domeniu, a metodelor și a instalațiilor de ardere a gazelor naturale combustibile, analizei situației actuale a cercetărilor în domeniul arderii gazelor, a instalațiilor, metodelor, tehnicilor și elementelor constructive a arzătoarelor de gaze, tehnologiile de ardere, problema arderii eficiente a gazelor. Rezultatele acestui studiu bibliografic reflectă faptul, că la baza funcționării eficiente ale instalațiilor de producere a energiei termice, se află procesul de ardere, calitatea căruia este determinată de tehnologia de formare a amestecului de aer-gaz adecvat regimului de funcționare. Un rol important revine tehnologiei de formare a amestecului și tehnicile de menținere a omogenității în procesul de ardere a gazelor. Scopul studiului și valoarea aplicativă a rezultatelor obținute privind cercetarea proceselor de amestecare aer-gaz este determinată de corectitudinea conceptului elaborat și aplicat în arzătoarele de gaze combustibile ale instalațiilor de producere a energiei termice pentru condiții concrete de derulare a procesului de ardere, ținând cont de factorii semnificativi de influență și de intensificare a acestor procese [1,5-7,8,11-13,14,17]. Proiectarea arzătoarelor noi sau selectarea din ansamblul de arzătoare aflat pe „piață” a unui arzător care va face față indicilor de eficiență energetică pentru condițiile concrete de exploatare este o soluție reușită doar pentru cazul dacă se ține cont de particularitățile care asigură formarea unui amestec calitativ aer-gaz în focarul instalației termice. Contribuția multor savanți și școlilor științifice conduse de N. Semeonov, L.N. Hitrin, R.B. Ahmedov, L.G. Loițanskii, D.N. Leahovski, I. Sigal, S. Surkin, V.G. Lisienco, A.S. Iserelin, A.V. Naumeico, D. Frank-Camenitschi, K. Shchelkin, A.M. Gurvici, au contribuit la dezvoltarea și fundamentarea științifică a tehnicilor de proiectare a instalațiilor termice, inclusiv cu generare distribuită, studierii aprofundate a procesului arderii gazelor și crearea metodelor de calcul a formării amestecului aer-gaz pentru funcționarea în regim constant.

Necesitatea ajustării puterii arzătorului la sarcina dinamică și tendința de extindere a limitei de variere a puterii arzătoarelor impune varierea debitului de aer

în limite largi, ceea ce modifică parametrii, care determină formarea amestecului, radical complică tehnologic problema de stabilitate a procesului de ardere.

Cercetări experimentale în domeniu ce se referă la extinderea diapazonului de variație sunt relativ puține și de obicei au un caracter orientat spre asigurarea arderii stabile a gazelor naturale în flux variabil nu poate fi utilizată la proiectarea proceselor tehnologice pentru alte construcții de arzătoare, care nu au fost cercetate experimental în condițiile indicate de ardere.

Din cele expuse rezultă necesitatea cercetărilor teoretice și experimentale pentru sporirea indicilor de performanță a tehnologiilor de ardere a gazelor naturale la producerea energiei termice, deoarece consumul excesiv de combustibil primar are un impact negativ atât economic, cât și asupra mediului.

În capitol este formulat scopul și obiectivele investigației, iar în concluziile se abordează problema formării amestecului de aer-gaz pentru procesul de ardere la sarcina variabilă: (1) procesul de formare a amestecului este în mare măsură determinat de structura aerodinamică a fluxului de aer - gaz; (2) eficiența arderii depinde în mare măsură de structura aerodinamică a amestecului, a flăcării, care la rândul său sunt, funcție de procedeele tehnice de formare a amestecului, utilizate în arzătoare; (3) o influență semnificativă în procesul de ardere privind formarea oxizilor  $\text{NO}_x$  o are intensitatea de rotire a curentului de aer; intensitatea de rotire a amestecului de aer-gaz micșorează lungimea flăcării, iar cu aceasta se mărește temperatura gazelor în flacără. O importanță deosebită o are acest fenomen în cazul arzătoarelor cu variație a sarcinii; (4) gradul de turbulență, viteza amestecului, distanța de la deschiderea arzătorului și raza de la axa flăcării sunt factorii semnificativi care influențează omogenitatea amestecului.

**Capitolul 2 include** studierea metodelor de cercetare a proceselor de amestec aer - gaz pentru arderea gazelor la sarcini variabile. Studierea proceselor de ardere se confruntă cu un complex întreg de probleme relevante fenomenelor aerodinamice, fizico-chimice și termice. Pe de altă parte cercetarea în condiții reale la scară naturală a instalațiilor de putere și volum mare este foarte dificilă și costisitoare. Pentru a obține rezultate rezonabile cu cheltuieli minime este necesar de determinat căile de studiere a acestor fenomene dinamice cu utilizarea instrumentelor și procedeele de cercetare teoretică și experimentală, ca modelarea matematică, de modelare fizică a proceselor de ardere și prin simulări tehnice pentru executarea unor analize parametrice a procesului, reieșind din gradul ridicat de complexitate a proceselor studiate; utilizarea analogiei constructive, teoriei gazodinamice de scurgere a gazelor, luând în considerare condițiile de furnizare a gazului, condițiile de aprindere și cinetica procesului de ardere, a schimbului de

căldură a flăcării cu pereții focarului. Avantajele și dezavantajele utilizării modelului matematic de analiză sau modelul fizic trebuie precizate și cunoscute, întru optimizarea activității de cercetare. Ecuația de schimb de masă în procesul de ardere omogenă reflectă schimbul sumar al concentrației componentei gazului în spațiul elementar. Pentru un proces staționar de ardere, variația sumară a concentrației este zero și atunci se obține relația:

$$n_i \cdot u_i = -div(w, X_i) + div(D) \cdot grad(X_i) \quad (1)$$

în care:  $u_i$  - viteza reacției în spațiul elementar;  $X_i$  - concentrația componentei  $i$ ;  $D$  - coeficientul difuziei componentei  $i$ ;  $n_i$  - valoarea coeficientului stoichiometric al componentei,  $i$  care se determină din:

$$n_1 A_1 + n_2 A_2 + \dots \Rightarrow m_1 B_1 + m_2 B_2 + \dots \quad (2)$$

unde:

$n_i, m_i > 0$ , dacă componenta dată se transformă (dispare);

$n_i, m_i < 0$ , dacă componenta dată se formează;

$n_i, m_i = 0$ , dacă componenta dată nu reacționează.

Ecuația (1) poate fi aplicată pentru toate componentele amestecului, transformând ecuația (1) în următoarea:

$$n \cdot u = -div(\bar{w}, X_A) + div(D) \cdot grad(X_A) \quad (3)$$

Ecuația arderii omogene se obține din ecuația schimbului de masă active (3), conform căreia avem:

$$n \cdot u = K_1 X_A^{n_1} \dots - K_2 X_{A1}^{m_1} X_{B2}^{m_2} - \dots \quad (4)$$

unde:  $K_1, K_2$  – constante, care reflectă reacțiile directe și indirecte;  $X_A, X_B$  - concentrațiile componentelor inițiale ale reacțiilor directe și indirecte.

Combinând (3) cu (4), obținem ecuația care stabilește câmpul concentrației în spațiul examinat, pentru cazul transferului difuzional și convectiv se obține relația:

$$-div(w, X_i) + div(D) \cdot grad(X_i) = K_1 X_{A_1}^{n_1} \dots - K_2 X_{A_1}^{m_1} X_{B_2}^{m_2} - \dots \quad (5)$$

Modelul matematic al proceselor de ardere se completează cu ecuația energiei, care reflectă echilibrul dintre căldura generată și cea consumată pentru cazul degajării și consumului concomitent de căldură.

Cantitatea de căldură degajată în reacția chimică se determină din expresia următoare:

$$dQ = k_0 e^{(-e/(R/\tau))} \cdot \sqrt{T} \cdot f(C_1, C_2) \cdot q \cdot dV \quad (6)$$

unde:  $q$  – căldura degajată în cadrul reacției;  $f(C_1, C_2)$  - funcții, care reflectă influența concentrației substanțelor asupra vitezei de ardere;  $dV$  – volum elementar;  $k_0$  - coeficient experimental. Reieșind din ipoteza, că schimbul de căldură radiant între diverse spații ale curentului de gaze și pereții camerei de adere este neglijat, precum se neglijează și diferența de capacitate termică specifică a gazelor, care poate duce la transfer de energie prin transferul difuzional de masă, această ecuație se modifică astfel:

$$\text{div}(\lambda_T \text{grad}T) + k_0 e^{(-e/(R/\tau))} \cdot \sqrt{T} \cdot f(C_1, C_2) \cdot q = \rho C_T (w \nabla) T \quad (7)$$

Ecuațiile (1-:-7) constituie un sistem care, în linii mari, se descriu procesele de ardere ale gazelor. Condițiile limită pentru relația (7) determină corespunderea adecvată a modelului problemei cercetate.

În compartimentul – concluzii se remarcă că gradul de complexitate a problemei optimizării arderii combustibilului sporește esențial în cazul funcționării instalațiilor în regim de sarcină variabilă, deoarece este influențat de parametrii constructivi ai arzătorului și focarului, efectele gazodinamice de circulație, condițiile de admisie ale fluxurilor de gaze și oxidant, condițiile de aprindere a amestecului, aspectele de cinetica a procesului de ardere și a schimbului de căldură cu pereții focarului a zonei de ardere etc., ceea ce și condiționează dificultăți mari în aplicarea acestui instrument la cercetarea și optimizarea construcției arzătoarelor apte să funcționeze la sarcini variabile.

**Capitolul 3.** Include metodologia cercetării experimentale a proceselor de amestec aer-gaze pentru arderea gazelor în instalații la sarcini variabile, componentele de bază pentru realizarea studiului. Se descrie structura standului de cercetare experimentală (Fig.1), care pe parcurs, din necesități obiective a fost modificat pentru posibilitatea continuării realizării lucrărilor de cercetare în scopul multiplicării condițiilor necesare investigației experimentale și observării efectelor semnificative. Ca elemente de bază standul include: cazanul dotat cu un set de senzori pentru măsurarea temperaturii și concentrației produselor, a temperaturilor și presiunilor agentului de răcire; arzător cu aparate de control al debitului de gaz și aer; set de senzori de control și monitorizare a experimentelor, [1,5-8,11-13,17,18]. După modificarea standului, pentru determinarea calității procesului de amestecare se simulează procesul de ardere a gazelor naturale prin introducerea a două curenți

de

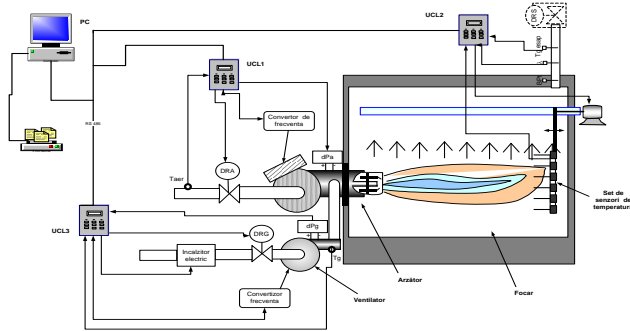


Fig. 1. Structura generală a instalației de cercetare a proceselor cu improvizarea arderii gazelor.

aer cald și rece strict controlate volumetric în raportul  $Ca$ :  $C_g = 9.54:1$  cu ajutorul senzorilor, convertoarelor de frecvență, care controlează ambele ventilatoare, ce simplifică efectuarea experimentelor (inclusiv riscul de deflagrații) în baza analogiei între procesele de transfer de masă și căldură. Concentrația „gazului” în amestec se determină în baza schimbării temperaturii amestecului în diverse puncte ale corăului „flăcării”. Simularea proceselor de ardere [5,12,14] pentru a cercetata parametrii arzătoarelor în cazurile variației sarcinii necesită determinarea funcției  $f(C_1, C_2)$ , care reflectă influența concentrației substanțelor asupra vitezei de ardere reală. Primul curent de aer, cu temperatura  $T_a = 10\text{--}25^\circ\text{C}$ , prezintă oxidantul, iar al doilea cu temperatura  $T_g = 60\text{--}120^\circ\text{C}$  „gazul”. Temperatura amestecului în diferite puncte pe tot volumul „flăcării”, reflectă concentrația „gazului” în aceste puncte. Concentrația medie în secțiunea respectivă, radială a „flăcării” se calculează cu formula:

$$C_g^m = \sum_{j=1}^n \left( \frac{\sum_{i=1}^k C_g^i}{k} \right) / n \quad (8)$$

unde:  $n$  – numărul de puncte;  $k$  – numărul de repetări a măsurării. Calculând concentrația medie pe diverse secțiuni, se va calcula pentru fiecare punct  $i$  abaterea concentrației, (neomogenitatea amestecului):

$$\Delta C_i = C_g^i - C_g^m \quad (9)$$

Având setul de valori  $\{\Delta C_i\}$ , [22,28,37,40,42], se determină „gradul de stabilizare a concentrației”:

$$\Delta C_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{\sum_{i=1}^k C_g^i}{k} \right) / n / (n \cdot k \cdot C_g^m) \quad (10)$$

unde:

$$C_g^m = \frac{(t_m - t_a)}{(t_g - t_a)} \cdot 100[\%] \quad (11)$$

iar temperatura medie se calculează cu formula:

$$t_m = \frac{G_g \cdot t_g \cdot c_g + G_a \cdot t_a \cdot c_a}{(G_g + G_a) \cdot c_{am}} \quad (12)$$

unde:  $G_g$ ,  $G_a$  – consumul masic de gaz și aer respectiv;  $c_g$ ,  $c_a$ ,  $c_{am}$  – capacitatea termică specifică masică la presiune constantă a gazului, aerului și amestecului, respectiv. S-a cercetat câmpul „concentrației gazului” la arzătoare cu diverse tipuri și dimensiuni ale stabilizatoarelor. Concentrația maximă de „gaze” este la ieșirea din arzător, care brusc scade, amestecându-se cu aer și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de  $x/D$ , ce determină lungimea flăcării [17]. S-a determinat ecuația distribuției gazului în dependență de distanța de la ieșirea din arzător  $h/d$  pentru fiecare secțiune radială  $h$  de la axa flăcării. Această ecuație este obținută în mod empiric și are următoarea formă, comună pentru toate tipurile de stabilizatoare:

$$C_g = k_1 \cdot (x/D)^3 + k_2 \cdot (x/D)^2 + k_3 \cdot (x/D) + C, \quad (13)$$

unde:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – sunt coeficienți de proporționalitate;  $x/D$  - distanța de la gura arzătorului;  $C$  - o constantă. Pentru estimarea gradului de influență a factorilor geometrici ai stabilizatoarelor, vitezei amestecului asupra câmpului concentrației de gaz, sa efectuat planul de experimentare, rezultatele căruia prin modelarea matriceală a parametrilor de intrare a permis obținerea relației:

$$\begin{aligned} C_g = & Y_g + [E_{D1} \ E_{D2}] \cdot D_s + [E_{w1} \ E_{w2}] \cdot W_{am} + [E_{X1} \ E_{X2}] \cdot (x/D) + [E_{H1} \ E_{H2}] \cdot (h/R) + \\ & + {}^t D_s \begin{bmatrix} I_{D1w1} & I_{D1w2} \\ I_{D2w1} & I_{D2w2} \end{bmatrix} \cdot W_{am} + {}^t D_s \begin{bmatrix} I_{D1X1} & I_{D1X2} \\ I_{D2X1} & I_{D2X2} \end{bmatrix} \cdot (x/D) + \\ & + {}^t D_s \begin{bmatrix} I_{D1h1} & I_{D1h2} \\ I_{D2h1} & I_{D2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) + {}^t W \begin{bmatrix} I_{w1X1} & I_{w1X2} \\ I_{w2X1} & I_{w2X2} \end{bmatrix} \cdot (x/D) + \\ & + {}^t W \begin{bmatrix} I_{w1h1} & I_{w1h2} \\ I_{w2h1} & I_{w2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) + {}^t X \begin{bmatrix} I_{X1h1} & I_{X1h2} \\ I_{X2h1} & I_{X2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) \end{aligned} \quad (14)$$

Din analiza rezultatelor obținute în baza a 4 parametri cu câte două nivele de încercare, valori ce se consideră ca factori semnificativi de influență asupra calității procesului de ardere identificînduse diapazonul de variere a valorilor

ansamblului de parametric. S-a determinat influența principalilor parametri constructivi asupra omogenității: o influență semnificativă asupra omogenității amestecului o au distanța de la gura arzătorului  $x/D$ , distanța de la axa flăcării arzătorului  $h/R$  și interacțiunile dintre acești factori [1,6,10,12,17,18].

Stabilitatea procesului de ardere într-un diapazon larg de variație a sarcinii arzătorului este un factor foarte important, care determină fiabilitatea funcționării [17]. În realitate apare fenomenul de destabilizare a procesului de ardere, în deosebi în regimuri tranzitorii, care se caracterizează prin ruperea flăcării sau prin pătrunderea ei în interiorul arzătorului.

*Rolul stabilizatoarelor. În acest context a fost elaborată soluția tehnică inovativă de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale asigurat prin elementul de bază - stabilizatorul, factor primordial la formarea și menținerea omogenității amestecului aer-gaz în procesul de ardere la sarcini variabile, apt pentru menținerea regimului de funcționare - fiabil, stabil, asigurând un grad înalt*

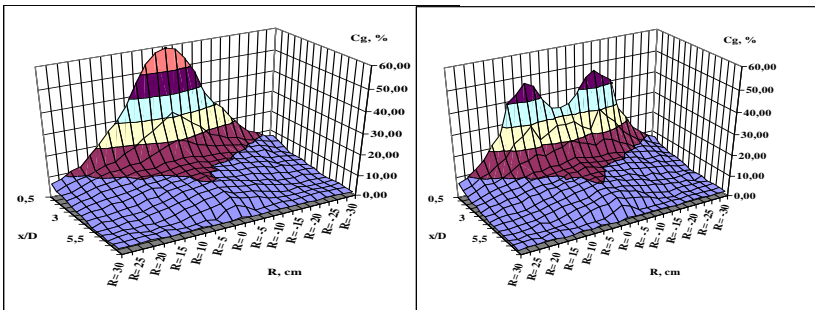


Fig. 2. Diagrama tridimensională a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la  $P_{min}$ ,  $D_c=124\text{mm}$ .

Fig. 3. Diagrama tridimensională a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la  $P_{max}$ ,  $D_c=124\text{mm}$ .

*de eficientizare a consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice, inclusiv și în cazul funcționării în grup a arzătoarelor, avînd în dotare un sistem de comandă pentru reglarea lentă a puterii termice a fiecărui arzător, efect stimulator datorită optimizării tehnologiei formării și menținerii omogenității raportului de amestec aer-gaz în regimuri variabile ale sarcinii, asigurînd procesul calitativ înalt de ardere prin distribuția optimă a concentrației gazului în flacără, [1,4,10,17]. Această problemă se rezolvă prin metode aerodinamice cu utilizarea stabilizatoarelor, fig. 4, element cu obturație dificilă, care contribuie la formarea turbulenței înalte a curentului de amestec, rotirea și crearea unei zone de recirculare a produselor de ardere în apropierea*



gurii arzătorului luându-se în calcul ca bază trei tipuri de stabilizatoare, care se consideră mai eficiente pentru arzătoare cu putere variabilă: (a) format dintr-un disc cu palete sectoriale, răsucite sub un unghi față de curentul de aer și cu distribuție centrală (numit de tip A); (b) format dintr-un număr de palete în formă de „V” cu distribuție centrală, proiectată la Institutul Politehnic din Kiev (numit de tip B); (c) de formă conică cu distribuția pe partea laterală, conceput și proiectat la întreprinderea „AFN” SRL (Chișinău), numit de tip C [1,3,6, 8,10,12,17,18].

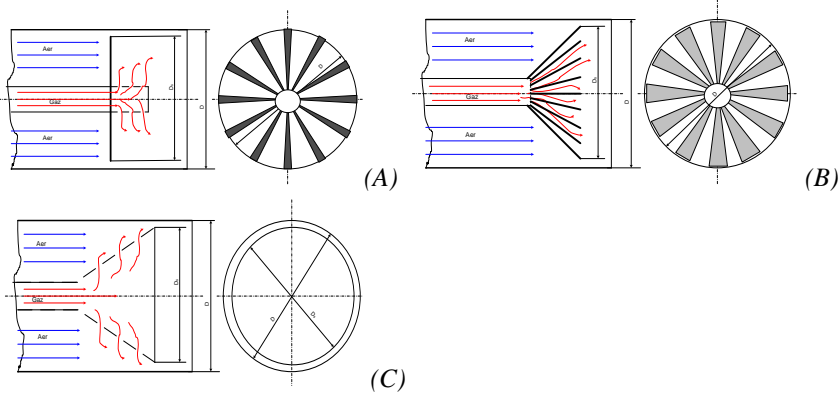


Fig. 4. Cap de ardere cu stabilizator (A,B,C)

Realizarea testărilor experimentale pentru parametrii de bază ( $D_s$ ,  $W_{amb}$ ,  $x/D$ ,  $h$ ) și ținând cont că în dependență de calitatea formării amestecului depind toate celelalte etape prin care trece combustibilul până la transformarea energiei chimice în căldură, a fost formulat rolul și caracterul influenței elementelor constructive a stabilizatoarelor, ținându-se cont de  $D_s$  ce determină gradul de turbulență a amestecului, reflectându-se asupra tuturor valorilor ce au loc pe durata întregului proces. Sa estimat gradul de influență a parametrilor constructiv ai stabilizatorului asupra omogenității cu funcții de formare a turbulenței, cât și de stabilizare a flăcării, dintre care pentru arzătoare cu putere variabilă, se consideră mai eficiente două tipuri tip "A" și "B", ( figura 4). Dar aceste stabilizatoare pe lângă avantajele ce le dețin au și dezavantaje: (a) stabilizatorul de tip "A" are un grad de turbulență dependent atât de viteza amestecului, cât și de unghiul de înclinație a paletelor - ca urmare amestecul nu se formează cu aceeași omogenitate în toate cazurile; (b) stabilizatorul de tip "B" are un grad bun de omogenitate, însă diapazonul de variație a puterii este mai redus decât la

tipul "A". Stabilizatoarele de tip "placă" pot asigura excluderea ruperii flăcării în anumite intervale de variere a vitezei gazelor naturale. Aceasta se poate considera ca un avantaj al arzătorului, care funcționează la presiune joasă sau de putere termică relativ mică. Acest tip de stabilizator în cea mai cunoscută realizare constructivă prezintă un ansamblu de plăci. Majorarea distanței dintre plăci, unde flacăra poate pătrunde în zona de formare a amestecului aer-gaz, poate conduce la deteriorarea arzătorului, de exemplu, ca urmare a deformării termice a stabilizatorului.

Din aceste considerente sa constatat util de a fi optimizați parametrii constructivi ai stabilizatoarelor. Ca rezultat a fost elaborat și utilizat un stabilizator de formă conică cu distribuția gazului pe partea periferică (laterală), numit stabilizator de tip "C", figura 4. Selectarea parametrilor constructivi s-a efectuat după criteriul asigurării egalității ariilor suprafețelor baleate a stabilizatoarelor, care au diferite valori ale diametrului  $D_s$ , deoarece asupra caracterului câmpului concentrației gazului în flacără influențează puternic viteza de deplasare a amestecului aer-gaz, care, la parametrii constructivi constanți a arzătorului determină și puterea termică - pentru toată gama de puteri, inclusiv condițiile marginale, a trei valori a puterii arzătorului – minimală  $P_{min}$ , medie  $P_{med}$ , maximală  $P_{max} = P_{nom}$ , care coincide cu puterea nominală a arzătorului. În cazul stabilizatorului de tip C, amestecul devine omogen mai rapid și, ca urmare, arderea se produce într-o flacără cu o lungime mai scurtă, în comparare cu cazul utilizării stabilizatoarelor de tip A și tip B în arzătoare. Calculul valorilor vitezelor maxime de rupere, minime de pătrundere și diapazonul de viteze, care sunt prezentate în tabelul 1, din care rezultă, că performanțele stabilizatorului tip C sunt mai bune. Concomitant - dependența vitezei de rupere/pătrundere a flăcării de excesul de aer are valori maxime în diapazonul de variere  $a = 0.95$ - $1.05$ , practic pentru toate tipurile de stabilizatoare și nu depinde de dimensiunea lui. Aceasta se explică prin faptul, că arderea amestecului de această calitate generează mai multă căldură, ceea ce permite menținerea unui echilibru stabil între masa de amestec proaspătă și masa de amestec consumată (deja arsă).

Tabelul 1.. Vitezele limită stabile ale flăcării cu diverse stabilizatoare

Tip	$P_w$ , kW	Diametru stabilizator	Viteza maximă de rupere	Viteza minimă de pătrundere	Diapazonul de viteze
		$D_s$	$W_r$ , m/s	$W_p$ , m/s	$dW$ , m/s
A	250	124	5,50	2,00	3,50
		122	4,75	1,78	2,97
	750	144	14,24	2,35	11,89
		142	13,45	2,77	10,68
B	250	124	5,52	2,00	3,52
		122	5,06	1,75	3,31
	750	144	14,48	2,75	11,73
		143	13,40	2,33	11,07
C	250	124	6,45	1,85	<b>4,60</b>
		122	5,56	1,71	<b>3,85</b>
	750	144	15,48	2,63	<b>12,85</b>
		143	14,07	2,29	<b>11,78</b>

În baza datelor colectate experimental a stabilității arderii s-a determinat puterea dezvoltată și consumul de gaz în momentul ruperii/pătrunderii flăcării unde prioritate deține de stabilizatorul de tip "C". Propunerea și realizarea soluției inovative de confecționare a arzătoarelor de gaze naturale de regim variabil [10] constituie însăși elaborarea și implementarea soluției tehnice inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale cu regim variabil de funcționare ce se asigură prin elementul de bază – stabilizatorul, astfel instalația poate face față problemelor de asigurare a stabilității procesului de ardere la sarcini termice variabile și sporire a eficacității a însuși procesului de ardere a gazelor naturale cu impact redus asupra mediului [1,10,17].

Din punct de vedere a securității tehnice se recomandă ca cercetarea experimentală a stabilității să fie efectuată pe arzătoare de putere mică și medie; ca urmare au fost alese modele de arzătoare: de putere mică -  $P_w = 250$  kW și de putere medie  $P_w = 750$  kW.

Pentru cercetarea stabilității arderii la fiecare tip de stabilizator s-au stabilit diverse dimensiuni echivalente (raport-diametru arzător, diametru stabilizator), ce prezintă diametrul lui:  $D_s=124, 122, 120$  și  $118$  mm; pentru arzător de  $P_w=250$  kW și respectiv  $D_s=144, 142, 140, 138$  mm pentru arzător de  $P_w=750$  kW.

Pentru generalizarea rezultatelor experimentale s-a utilizat ecuația criteriului Peklet:

$$Pe = Pe_n^{\frac{1}{n}} \alpha^m, \quad (17)$$

$Pe = wd/a$  - determină viteza amestecului la ruperea flăcării;  $Pe_n = u_n d/a$  - determină viteza de răspândire a flăcării;

unde:  $w$  - viteza medie a amestecului la ruperea flăcării [ $m/s$ ];  $d$  -diametrul gurii arzătorului [ $m$ ];  $a$  - coeficientul difuziei temperaturii în amestec [ $m/s$ ];  $u_n$  - viteza normală de răspândire a flăcării [ $m/s$ ];  $\alpha$  - coeficientul excesului de aer în amestec.

Pentru rezultatele experimentale s-au calculat ecuațiile criteriului Peklet în scară logaritmică și s-a calculat valoarea numerică a indicatorului puterii –  $n$ :

$$w \cdot d / a = c(u_n \cdot d / a)^{\frac{1}{n}} \text{ sau } Pe = c \cdot Pe_n^{\frac{1}{n}}, \quad (18)$$

de unde:

$$n = \frac{\Delta \lg(Pe)}{\Delta \lg(Pe_n)}, \quad (19)$$

S-a calculat coeficientul de proporționalitate  $c$  pentru fiecare ecuație în baza datelor experimentale:

$$c = \frac{wd/a}{(u_n \cdot d/a)^{\frac{1}{n}}} = \frac{Pe}{Pe_n^{1/n}}, \quad (20)$$

Prin medierea coeficientului de proporționalitate  $c$  obținut pentru toate ecuațiile criteriului Peklet, apoi în coordonate logaritmice s-au determinat dependențele:  $c = F(\alpha^m)$ , din care se determină exponentul  $m$ , ce reflectă dependența fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării de  $\alpha$  - excesul de aer:

$$m = \frac{\Delta \lg(c)}{\Delta \lg(F(\alpha^m))}. \quad (21)$$

În rezultat se obțin ecuațiile de rupere/pătrundere a flăcării:

$$\frac{w_r \cdot d}{a} = c_r \cdot \alpha^m \cdot \left(\frac{u_n \cdot d}{a}\right)^{\frac{1}{n_r}}, \quad \frac{w_p \cdot d}{a} = c_p \cdot \alpha^m \cdot \left(\frac{u_n \cdot d}{a}\right)^{\frac{1}{n_p}} \quad (22)$$

Din aceste ecuații se determină vitezele amestecului aer-gaz de rupere/pătrundere a flăcării:

$$w_r = c_r \cdot \alpha^m \cdot u_n \left(\frac{1}{n_r}\right) \left(\frac{d}{a}\right)^{\left(\frac{1}{n_r}-1\right)}, w_p = c_p \cdot \alpha^m \cdot u_n \left(\frac{1}{n_p}\right) \left(\frac{d}{a}\right)^{\left(\frac{1}{n_p}-1\right)} \quad (23)$$

Aceste expresii analitice se utilizează pentru verificarea rezultatelor experimentale, la proiectarea noilor arzătoare și la controlul electronic a stabilității arderii în exploatarea lor.

S-au determinat valorile coeficienților  $n$ ,  $c$ , și  $m$  din ecuațiile de stabilitate a arderii (24), care sunt prezentați în tabelul 2.

Considerînd dependența liniară a coeficienților  $n$ ,  $c$ , și  $m$  de puterea arzătorului, se pot calcula valorile corespunzătoare ale lor pentru puterea dată a arzătorului proiectat cu formula:

$$k_x = k_0 + \frac{\Delta k}{\Delta P_w} \cdot (P_w^x - P_w^0) \quad (24)$$

Parametrii ecuațiilor de stabilitate a flăcării (tab.2) sunt recomandați pentru utilizare atât în proiectarea arzătoarelor noi, cât și în exploatarea lor: aceste rezultate sunt implementate în programele de comandă pentru a determina în mod operativ limitele stabilității flăcării [6,10,19,18].

În baza datelor colectate în procesul de studiu, a consumului instantaneu de aer/gaz respectiv s-a efectuat analiza comparativă a stabilității arderii cu diferite stabilizatoare, urmărind puterea dezvoltată și consumul de gaz în momentul ruperii/pătrunderii flăcării expunînd grafic zona favorabilă de ardere (a diapazonului de putere a arzătorului dezvoltată la ardere stabilă), fig. 5.

Tabelul 2. Parametrii ecuațiilor de stabilitate a flăcării.

Tip	Pw	Rupere			Pătrundere		
		n	c	m	n	c	m
A	250	0,71	3,18	-0,10	0,74	1,45	-1,08
	750	0,74	10,08	-1,15	0,86	3,57	-0,28
B	250	0,80	5,25	-0,29	0,75	1,47	-0,98
	750	0,70	8,47	-0,85	0,85	3,44	-0,58
C	250	0,78	5,42	-0,41	0,75	1,34	-1,11
	750	0,82	16,72	-1,48	0,82	2,71	-0,65

Analiza comparativă a puterii dezvoltate a arzătorului (Fig. 5.) și consumului de

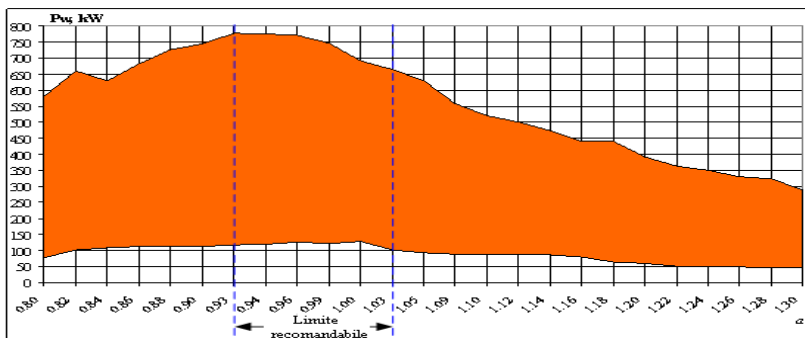


Fig. 5. Graficul zonei favorabile de ardere (a diapazonului de putere a arzătorului dezvoltată la ardere stabilă), pentru cazul:  $P_w=750$  kW, stabilizator tip C,  $D_s = 142$  mm.

gaz permite formularea următoarelor concluzii: (a) curba dependenței puterii dezvoltate la ruperea/ pătrunderea flăcării de excesul de aer (calitatea amestecului) are valori maxime în diapazonul de variație  $\alpha = 0.9\text{--}1.15$  practic pentru toate tipurile de stabilizoare și nu depinde de dimensiunea lui; (b) puterea dezvoltată este dependentă de viteza de rupere/ pătrundere a flăcării, care este influențată esențial de diametrul ( $D$ ) echivalent al stabilizatorului: cu cât  $D$  este mai mic, cu atât fenomenul de rupere se observă la viteză mai mică și fenomenul de pătrundere se observă la viteză mai mare.

Selectarea valorii parametrului  $D$  (valoare echivalent) permite să obținem un proces de ardere la viteze mai mari, dar trebuie de ținut cont, că miocșorarea lui  $D$  duce la consecințe nedorite - majorarea rezistenței hidraulice și alungirea flăcării - trebuie de găsit soluții de compromis.

S-au determinat parametrii ecuațiilor de stabilitate a arderii și s-au calculat vitezele teoretice de rupere/ pătrundere a flăcării pentru aceleași condiții ale experimentelor. Rezultatele calculului le reproduc pe cele obținute experimental pentru vitezele de rupere/ pătrundere ale flăcării. Eroarea valorilor mărimilor obținute teoretic se deosebesc de valorile obținute experimental la nivel de 2-:-8 %. Se poate constata, că omogenitatea amestecului (pentru nivelul de încredere de 95%) este determinată de:  $x/D$  - distanța de la gura arzătorului;  $h/R$  - distanța de la axa gurii arzătorului și  $x*h$  - interacțiunea lor [6,10,12,17]. Prin ținerea sub control a procesului de formare a amestecului (surplusului de aer și omogenității amestecului), intensitatea de rotire a curentului la scurge se poate regla lungimea

flăcării, temperatura în zona de ardere, și, ca urmare de a influența activ asupra micșorării concentrației de  $\text{NO}_x$ .

Alți factori luați în considerare la realizarea studiului se pot clasifica ca o grupă de factori neesențiali, deoarece omogenitatea amestecului aer-gaz este influențată de gradul de turbulență și viteza de scurgere, viteza de diminuare a câmpului concentrației gazului, unghiul de desfacere și lungimea flăcării [17]. Efectuarea calculului ingineresc deplin la proiectarea sau alegerea arzătoarelor este posibilă numai dacă se ia în calcul și formarea amestecului în focar, ce are o influență semnificativă asupra factor enumerați a întregului proces. În contextul celor expuse s-a elaborat un soft integrat de calcul pentru determinarea parametrilor aerodinamici și hidraulici ai arzătoarelor cu putere variabilă, care ar putea fi controlați electronic. Programul de calcul al parametrilor arzătoarelor [10] include toate aspectele: geometrice (ale componentelor arzătorului), aerodinamice (jeturi auxiliare), de consum (conducții de gaz și aer), introducerea datelor inițiale și obținerea rezultatelor de bază, inclusiv capacitatea constructivă de putere (în funcție de puterea lor termică și banda de variație a sarcinii), precum și schema de aplicare a arzătoarelor în centrale termice [6,10,12,17].

**Capitolul 4** include rezultatele cercetărilor și procedeele de eficientizare a consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice la sarcină variabilă precum și rezultatele cercetărilor de optimizare a proceselor de ardere a gazelor naturale, privind reglarea sarcinii arzătoarelor amplasate în grup de arzătoare. Pentru rezolvarea problemelor examinate, s-au analizat procesele tehnologice, care au loc în centralele termice. Ținând cont de faptul, că arzătoarele moderne sunt dotate cu echipamente de control electronic, în lucrare se propune de utilizat principiul de descentralizare a procesului de reglare prin aplicarea la fiecare arzător a regulatorului propriu de putere termică. Concomitent se execută monitorizarea a mai multor parametri: a temperaturii tur și retur cu aplicarea schemei mixte cu două canale de reglare (tab.3), [3,4,7,8,11,16,17,18].

Se constată, că monitorizând abaterea temperaturii tur  $T_{tur}^i$  față de cea de referință  $T_{tur}^*$ , obținem ecuația pentru primul canal de reglare:

$$\Delta P^i[i] = K_p \left[ \Delta T[i] + T_c / T_i \sum_{i=1}^i \Delta T[i] + T_d / T_c (\Delta T[i] - \Delta T[i-1]) \right] \quad (25)$$

unde:  $\Delta P^i(i)$  - modificarea puterii arzătorului în momentul curent pentru următorul interval;  $T_{tur}^i$  - temperatura tur curentă la ieșire din cazan;  $T_{tur}^{i-1}$  - temperatura tur precedentă la ieșire din cazan;  $T_{tur}^*$  - temperatura tur de referință la ieșire din cazan.

Pentru canalul al doilea se propune monitorizarea temperaturii retur  $T_{ret}^i$ , adică a temperaturii de intrare în cazan față de temperatura tur de referință  $T_{tur}^*$ , obținem ecuația pentru al doilea canal, luând în considerație atât căldură necesară pentru încălzirea unei cantități de agent, cât și dinamica acestui proces

$$\Delta P''(i) = K_a C_a m_a (T_{tur}^* - T_{ret}^i) + K_d \cdot C_a m_a ((T_{tur}^* - T_{ret}^i) - (T_{tur}^* - T_{ret}^{i-1})), \quad (26)$$

unde:  $\Delta P''(i)$ - modificarea puterii arzătorului în momentul curent, dependentă de canalul doi;  $T_{ret}^i$  - temperatura retur curentă la intrare în cazan;  $T_{ret}^{i-1}$  - temperatura retur precedentă intrare în din cazan;  $T_{tur}^*$  - temperatura tur de referință la ieșire din cazan;  $(T_{tur}^* - T_{ret}^i)$  -diferența de temperatură intrare/ieșire în momentul curent;

$(T_{tur}^* - T_{ret}^i) - (T_{tur}^* - T_{ret}^{i-1})$  - diferența de temperatură intrare/ieșire în momentul precedent;  $C_a$  - capacitatea termică specifică a agentului termic;  $m_a$ -masa agentului termic;  $K_a, K_d$  - coeficienți de proporționalitate,  $[kW/^\circ C]$ . La baza metodei date este determinarea temperaturii de referință a agentului la ieșire din cazan, cu care se vor compensa pierderile de căldură în obiect, care se obține din următoarea ecuație de bilanț termic:

$$cm_a(T_c - T_{ret}) = GV_o(T_i - T_e), \quad (27)$$

unde:  $m_a$  – cantitatea de agent termic în cazane;  $G$  – gradul pierderilor de căldură a obiectului  $[W/m^3 K]$ ;  $V_o$  – volumul obiectului;  $T_{ret}$  – temperatura de retur a agentului în cazane. Efectuând careva transformări, în această ecuația (28), obținem relația:

$$T_c = \frac{GV_o(T_i - T_e)}{cm_a} - T_{ret}, \quad (28)$$

Această relație este complicat de aplicat în practică din considerentele, că trebuie de cunoscut cu precizie cantitatea de agent termic; de calculat volumul obiectului, care mai poate varia în timp; de calculat cu precizie gradul pierderilor de căldură a obiectului.

Pentru a depăși situația dată s-a propus de determinat în mod empiric aceste relații, în forma generală  $T_c = F(G, T_e, T_i)$ , efectuând experimentele pentru obiecte cu diverse grade de pierderi de căldură  $G$ , variind  $T_c$  la anumită  $T_e$  pentru a menține temperatura internă necesară, ca rezultat final.



Constatăndu-se, că reglarea temperaturii  $T_c$  în funcție de valoarea temperaturii exterioare  $T_m$  și a temperaturii  $T_e$  a obiectului se obține o reducere considerabilă a consumului de gaz, inclusiv și în sezoane climatice nefavorabile.

S-a examinat problema minimizării consumului de gaze reieșind și din evitarea uzurii rapide a utilajului, luând în calcul mai mulți factori semnificativi. Utilizarea arzătoarelor de putere variabilă formează doar premise pentru excluderea consumului excesiv de gaze.

S-a elaborat metoda de control a puterii integrale a arzătoarelor adecvată în cele mai diverse situații și algoritmul de automatizare a controlului pentru a exclude factorul uman subiectiv și metoda de control a puterii sumare a arzătoarelor, avînd ca bază, condițiile și următoarele criterii: centrala termică are un număr limitat de

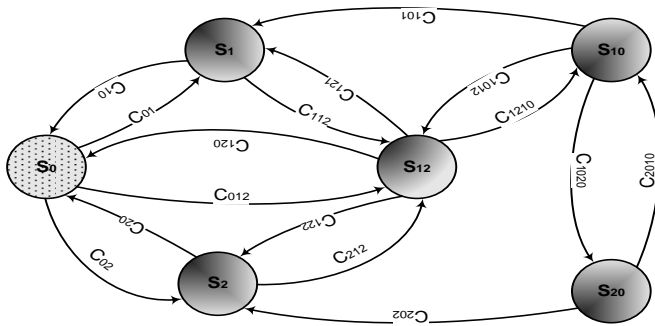


Fig. 6. Diagrama stărilor de comandă cu două arzătoare.

arzătoare  $N_{arz} = 2 \div 10$ ; fiecare arzător poate să-și varieze puterea, fiind activ de la  $P_{min} \div P_{max}$ ; puterea optimă de funcționare se află în limitele  $0.65P_{max} < P_{opt} < 0.85P_{max}$ ; toate arzătoarele trebuie monitorizate pentru a asigura echilibrul gradului lor de uzare; orice avarie a unui arzător duce la oprirea lui imediată și relansarea altui cu o putere curentă echivalentă; minimizarea proceselor de oprire/pornire a arzătoarelor prin înlocuirea cu regimul de funcționare la putere minimă posibilă în scopul excluderii pierderilor în rezultatul operațiilor de „pre” și „post” ventilare a cazanelor, automatizarea controlului pentru a exclude factorul uman subiectiv [3,7,16,17]. Metoda de control servește ca fundament pentru crearea unui algoritm de automatizare a acestui proces, realizându-se ca model tip (fig. 6), determinându-se și lista de arzătoare disponibile din numărul total de arzătoare cu verificarea simultană a comanda „Start” – trecându-se la realizarea algoritmului, în caz contrar - se prevede oprirea tuturor arzătoarelor. Pentru realizarea algoritmului, inițial se determină sarcina curentă necesară în baza parametrilor: temperatura curentă a

agentului termic și temperatura de referință. Apoi se verifică corespunderea puterii sumare a arzătoarelor în funcție de sarcina curentă a cazanelor. Se apreciază dacă trebuie de modificat puterea sumară a arzătoarelor. Dacă puterea nu trebuie modificată - se va menține starea precedentă. În caz de majorare a puterii, se analizează dacă în lista arzătoarelor active sunt de acelea care funcționează la putere minimă, atunci respectivul arzător se trece în regim de putere optimă. În caz contrar, se include în lista arzătoarelor active unul din cele disponibile și se face restart. În caz de micșorare a puterii, se selectează ultimul arzător din lista celor active, se verifică dacă funcționează deja la putere minimă, atunci se oprește. În caz contrar - se trece în mod forțat la putere minimă. Algoritmul asigură un consum mai redus de gaze față de modul de funcționare tradițional „în cascadă” sau „start/stop”. Implementarea rezultatelor cercetărilor permite obținerea efectului economic care constă din: scăderea consumului (datorită menținerii stricte a raportului aer-gaz pe tot diapazonul de variere a puterii arzătorului), scăderea consumului (datorită reglării puterii arzătorului în funcție de temperatura exterioară, interioară și gradul pierderilor de căldură a obiectului), minimizarea uzurii arzătoarelor, respectiv și cazanelor (în rezultatul distribuției puterii arzătoarelor în centrala termică). Rezultatele cercetărilor demonstrează, că consumul de gaz se micșorează la menținerea strictă a raportului aer-gaz în toate regimurile arzătorului cu 2,5-:-4,0 %. Efectul economic, bazat pe volumul mediu de gaz redus într-o oră și numărul de arzătoare produse de întreținerea „RGG” constituie de la 2931,6 lei/h până la 10796,8 lei/h reieșind de la durată perioadei sezonului de încălzire. Efectul economic care se obține la scăderea consumului se datorează posibilității tehnice de reglare adecvată a puterii arzătorului (variabilitatea sarcinii) funcție de temperatura exterioară, interioară și gradul pierderilor de căldură a obiectului față de regimul constant de funcționare (similar principiului actualelor CET): (1) Consumul simultan de gaze constituie: în cazul de sezon foarte rece (pe un sezon de încălzire) cu 6-:-12% mai puțin în blocuri cu pierderi mari de căldură (fără termoizolare) și cu 4-:-10% în blocuri cu pierderi medii (cu termoizolare); în cazul de sezon cald (pe un sezon de încălzire) - cu 7-:-15% în blocuri cu pierderi mari de căldură (fără termoizolare) și cu 5-:-12% în blocuri cu pierderi medii (cu termoizolare). (2) Consumul cumulativ de gaze, ținând cont de prețul gazelor mediu de 5,5 lei/m<sup>3</sup>, constituie - în cazul de sezon foarte rece (pe un sezon de încălzire) mai puțin cu 16 mii m<sup>3</sup> – echivalentul de 120.000 lei în blocuri cu pierderi mari de căldură (fără termoizolare) și cu 24 mii m<sup>3</sup> – echivalentul de 180.000 lei în blocuri cu pierderi medii; în cazul de sezon cald (pe un sezon de încălzire) - mai puțin cu 6 mii m<sup>3</sup> - echivalentul de 45.000 lei

în blocuri cu pierderi mari de căldură și cu 14 mii m<sup>3</sup> - echivalentul de 105.000 lei în blocuri cu pierderi medii (cu termoizolare).

*Mențiune: Calculul privind tarifele la gazele naturale este expus conform datelor de la etapa inițială de studiu (Conform Hotărârii Consiliului de administrație al ANRE nr. 425 din 29.09.2011, //Monitorul Oficial 160-163/1459, 30.09.2011: 6. Gazele naturale, furnizate altor consumatori finali, inclusiv centralelor termice pentru producerea și aprovizionarea cu energie termică a consumatorilor prin sisteme de alimentare locale, stațiilor de alimentare a automobilelor cu gaze comprimate, conectați la rețelele de distribuție de: presiune înaltă - 5537; presiune medie - 5835; presiune joasă\*\*- 6221.*

În concluzie se poate menționa că: a) algoritmul de reglare descentralizată a puterii arzătoarelor cu regulatorul tip PID cu două bucle de reacție asigură funcționarea stabilă a instalației la sarcini variabile; b) algoritmul a fost testat experimental pentru arzătoarele de tip „DAVA” cu diferite valori a puterii nominale; c) se asigură calitatea procesului reglării în regimurile tranzitorii, având suprareglarea temperaturii agentului termic sub 4%, iar puterii instantanee termice în diapazonul de 9-17 %; d) s-a elaborat metoda și algoritmi de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup la sarcină variabilă; e) economia de gaze naturale atinge valoarea de 6 -15% pe sezon în funcție de tipul clădirii (cu termoizolare medie și redusă) și condițiile climaterice (sezon rece și relativ cald) pentru o clădire încălzită.

## **CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI**

Cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au generat formularea următoarelor concluzii:

### **Aspecte teoretice și practice.**

1. Au fost determinate și formulate condițiile de ardere calitativă, eficiența și funcționare fiabilă a arzătoarelor instalațiilor de producer a energiei termice în regimuri variabile de sarcină, asigurând performanțe tehnice și economice evidente în comparare cu tehnologiile utilizate în prezent (*reglarea puterii în trepte*).
2. S-a determinat că omogenitatea amestecului aer-gaz și stabilitatea flăcării sunt determinate de viteza de scurgere a amestecului aer-gaz din arzător, valoarea coeficientului de exces de aer, caracterul mișcării amestecului, diametrul gurii arzătorului, realizarea constructivă a stabilizatorului și alte particularități constructive; a fost obținută ecuația fenomenului formării amestecului aer-gaz [1,3,6,8,10,12,17,18].

3. A fost identificat, că utilizarea modelelor fizice ale arzătorului pentru cazul problemei studiate are avantaje, deoarece modelele matematice sunt foarte sensibile la devierea valorilor coeficienților lor, de exemplu, a valorii numărului Reynolds cu 0.05% în ecuația Navier-Stokes în regim de turbulență, deoarece soluțiile obținute pentru aceste condiții ce se deosebesc extrem de mult una de alta în zona valorii critice a numărului Reynolds, (cp.2),[1,5,6,10,18];
4. S-a elaborat Metodica de dirijare a arzătorului, stabilind principiul de menținere a raportului de aer-gaz în regimuri variabile de funcționare a arzătorului, [17], (Brevet, AGEPI).
5. A fost elaborată metoda experimentală de cercetare a proceselor de formare a amestecului aer-gaz cu substituirea combustibilului gazos cu un flux de aer cald, [5,12,14]. Metoda are la bază calcularea valorii medii a temperaturii și compararea ei cu valoarea determinată prin măsurări (experimentale) a acestei mărimi în procesul de simulare fizică a arderii prin substituirea gazului cu aer cald.
6. Au fost identificați principalii parametri constructivi ai arzătorului, care influențează omogenitatea amestecului: distanța de la gura arzătorului  $x/D$ ; distanța de la axa gurii arzătorului  $h/R$ ; produsul mărimilor  $x^*/h$ ; parametrii constructivi a stabilizatoarelor din arzător; viteza amestecului aer-gaz; unghiul de desfășurare și lungimea flăcării. A fost selectat și argumentat algoritmul de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere în baza fenomenului de pătrundere și rupere a flăcării în/de la gura arzătorului, (cp.3) [10, 15, 17, 18]. S-a propus algoritmul și metoda de calcul a valorilor acelor mărimi, care se reduce la determinarea valorilor vitezei amestecului aer-gaz, excesului de aer  $\alpha$ , vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării.
7. A fost elaborată metoda și soft-ul de calcul a parametrilor arzătoarelor, schema de aplicare a arzătoarelor care include algoritmul de reglare descentralizată a puterii arzătoarelor la utilizarea regulatorului de tip PID cu două bucle de reacție inversă, [4,7,8,10,17], realizări ce au fost testate experimental de către întreprinderea „RGG” SRL la dirijarea cu arzătoarele de tip „DAVA” cu diferite valori a puterii nominale în instalații termice *tip* dotate cu aceste arzătoare.
8. A fost elaborat procedeul de calcul a sarcinii termice a clădirii, ținând cont de factorii de influență asupra echilibrului termic în baza abordării empirico-analitice care include: a) analiza stării curente a obiectului și determinarea valorii sarcinii curente; b) determinarea numărului de arzătoare a instalației termice; c) reglarea separată a puterii arzătoarelor. S-au obținut caracteristicile de reglare a regimului instalației termice, inclusiv modelul matematic al regulatorului la varierea temperaturii exterioare sub forma relației  $T_c = -a T_e^2 - bT_e + c T_i + \Delta T$ , veridic

pentru diverse clădiri cu valorile coeficientului termic în banda 0.02-2.5 W(m\*K), (cp.4), [8,11,16,17].

9. A fost elaborată metoda și algoritmi de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup [3,8,16,17] la centrale termice cu sarcină variabilă.

10. Efectul economic estimat al utilizării tehnologiei elaborate de ardere a gazelor naturale determinat de sporirea calității arderii și ținând cont de aria implementării curente s-a estimat la nivel de cca 100 mii lei/h. În cazul centralei termice cu puterea de 400 kW (Strășeni) economia de gaze naturale atinge valoarea de 6-15% pe sezon, în funcție de tipul clădirii (cu termoizolare medie și redusă) și condițiile climatice (sezon rece și relativ cald).

11. Estimarea corectitudinii rezultatelor teoretice și rezultatelor experimentale și din exploatare (expuse în lucrare), rezultatele implementării la întreprinderea „Romanny Gaz Group” SRL a producerii arzătoarelor cu putere variabilă de tip „DAVA”, testările în Sistemele Naționale de Certificare (Rep. Moldova, România, Ucraina, Rusia) confirmă performanța arzătoarelor elaborate și compatibilitatea lor în cadrul normativ tehnic în vigoare privind eficiență în exploatare, fiabilitate de exploatare, efectul de protecție a mediului la producerea energiei termice [2,4,10,17].

#### **Rrecomandări pentru implementare.**

12.(1). Metoda și soft-ul de calcul a parametrilor arzătoarelor se recomandă de aplicat ca instrument de lucru la proiectarea arzătoarelor pentru instalațiile termice cu sarcină variabilă. Această metodă și algoritm este utilă și în cazul soluționării problemei de optimizare a construcției arzătoarelor în baza datelor analizei parametrice a regimurilor de funcționare la sarcini variabile, inclusiv și la ajustarea funcționării în regim tranzitoriu.

13.(2). Metoda și algoritmi de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup se poate utiliza la optimizarea regimurilor de funcționare a centralelor termice tip (modul) dotate cu arzătoare standard. Mai bune rezultate se pot obține la utilizarea arzătoarelor elaborate și utilizarea regulatorului de tip PID cu două bucle de reacție inversă.

14.(3). Utilizarea modelului fizic al studierii parametrilor amestecului de aer-gaz prin utilizarea procedurii propus și testat de amestecare a fluxurilor de aer cald și aer rece permite asigurarea unor economii sensibile de gaze naturale și a asigurării securității tehnice la efectuarea cercetărilor experimentale a arzătoarelor instalațiilor termice de mare putere.

15.(4). Rezultatele implementării arzătoarelor elaborate în diferite companii servește în calitate de o bună platformă de promovare a tehnologiei și echipamentului

elaborat în țară pentru sporirea eficienței conversiei gazelor natural în energie termică.

**Problema științifică rezolvată și expusă în lucrare** constă în identificarea, argumentarea și verificarea practică a performanței soluției inovative de confecționare a arzătoarelor gazelor combustibile și sistemului de reglare apte să funcționeze stabil și sigur la sarcini termice variabile în tehnologiile de producere distribuită a energiei termice cu impact redus asupra mediului.

#### ***Direcții ale cercetărilor de perspectivă.***

1. Elaborarea metodei de optimizare a construcției arzătoarelor în conformitate cu particularitățile de realizare constructivă a cazanelor confecționate pe cale industrială. Aceasta va contribui la depășirea barierilor condiționate de prescripțiile tehnice de exploatare a cazanelor cu asigurarea compatibilității funcționării arzătoarelor propuse cu asigurarea indicilor lor de performanță tehnică și economică.
2. Cercetarea posibilităților de sporire a eficienței procesului de ardere a gazelor naturale ca urmare a utilizării câmpului electric dirijat în arzătoarele de construcția propusă.
3. Cercetarea eficienței funcționării arzătoarelor alimentate cu biogaz și cu componentele singaz, având ca scop determinarea regimurilor optime de ardere eficientă a astfel de tip de combustibil gazos.

#### **BIBLIOGRAFIE**

- 1 **DAUD V., NICU R.** Studiul tehnicilor de stabilizare a proceselor de ardere în arzătoare de gaze cu putere variabilă. - In: Registrul de Stat a operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturi conexe. Seria PC, Nr. 1090/1911, *AGEPI*, 2008.
- 2 **DAUD V.** Arzător de gaz monobloc automatizat de tip „DAVA”. – In: Tezele Conferinței Naționale „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”, Timișoara, 2002. p. 125-128.
- 3 **DAUD V.** Procedee și algoritmi de reglare a puterii arzătoarelor în sisteme termoelectrice. In: Tezele conferinței anuale a doctoranzilor și studenților UTM. Chișinău, 17 noiembrie 2006.
- 4 **DAUD V.** Program de calcul a temperaturii cazanelor pentru optimizarea proceselor tehnologice în sisteme termoelectrice. - In: Registrul de Stat a operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturi conexe. Seria PC, Nr. 358/1411, *AGEPI*, 2007

- 5 **DAUD V.** Standul de încercări tehnice ale arzătorului „DAVA”. - In: Tezele conferinței tehnico-științifice „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Vol. II, Chișinău, 2002, p.328-332.
- 6 **DAUD V.** Procedee și tehnici de stabilizare a proceselor de arderea gazelor în instalații cu putere variabilă. In : Meridian Ingineresc, Nr. 5, 2015.
- 7 **DAUD V., NICU R.** Power control algorithms of gas burner in thermoenergeticsystems. – In: Tezele Conferinței SIELMEN 2007, Chișinău, 2007.
- 8 **DAUD V., NICU R.** Procedee și algoritmi de reglare a puterii arzătoarelor în sisteme termoenergetice– In: Tezele Conferinței ICMCS 2007, Chișinău, 2007.
- 9 **DAUD V., NICU R.** Procedee și dispozitive electronice de identificare a oscilațiilor termoacustice în arzătoarele de gaze. – In: Tezele Conferinței ICMCS 2007, Chișinău, 2007.
- 10 **DAUD V., NICU R.** Program de calcul a parametrilor arzătoarelor cu control electronic de putere variabilă. - In: Registrul de Stat a operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturi conexe. Seria OS Nr. 1667/1634 , *AGEPI*, 2007.
- 11 **DAUD V., R. NICU.** Procedeu de optimizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice. In: Tezele conferinței anuale a doctoranzilor și studenților UTM. Chișinău, 17 noiembrie 2006.
- 12 **DAUD V., TONU V.** Research of stabilizing techniques of combustion processes within combustion plants with variable power. Conference with international participation “Installations for constructions and ambiance comfort”, Timișoara, 2011.
- 13 **DAUD V., TONU V.,** Metodologia studierii performanțelor de realizare a procesului fizic în instalații de ardere de putere variabilă, Conferința tehnico-științifică cu participare internațională “Instalații pentru construcții și economia de energie”, Ediția XIX, Iași, Romania,2011.
- 14 **NICU R., DAUD V.** Mijloace și procedee de experimentare automatizată și simulare a proceselor de ardere a gazelor. - In: Proceeding of the 2nd International Conference "TEI". Vol. I. -Chișinau, 2008, pp. 193-198.
- 15 **NICU T. , DAUD V.** Studiul procesului de ardere a gazului natural în câmp electric. Tezele „Conferinței jubiliare UTM-40”, Chișin. 2004.
- 16 **NICU T. , DAUD V.** Un algoritm de control al puterii a unui grup de arzătoare. In: Tezele „Conferinței jubiliare UTM-40”, Chișin., 2004.
- 17 **NICU T., DAUD V., CERNEAVSCHI M.** Procedeu de dirijare automatizată a arzătorului de gaz. Brevet de invenție 1908 G2, Moldova, F23 N1 /02; Firma "A.F.N." S.R.L., *AGEPI*, 2007.
- 18 **TONU V., TULEANU C. DAUD V.** Research of homogeneity of fuel mixture in burners with different types of stabilizers. - Meridian Ingineresc. Nr. 2, 2011.

## ADNOTARE

la teza „Optimizarea construcției și a regimurilor de funcționare a arzătoarelor instalațiilor de producere a energiei termice” prezentată de Vasile Daud, ing., cerc.șt. pentru conferirea gradului științific de doctor în tehnică. Teza a fost perfectată la IE al AȘM, Chișinău, 2017.

Teza include: introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări, 176 pagini de text de bază, bibliografie din 186 titluri, 16 anexe, 57 figuri, 32 tabele.

Rezultatele obținute sunt publicate în 22 lucrări științifice, 1 brevet, 3 lucrări științifice cu drept de autor.

Cuvinte cheie: arzătoare de gaze naturale, amestec omogen de aer-gaz, stabilitate proces de ardere, sarcină variabilă, reglare putere.

Domeniul de studiu se referă la aspectele teoretice ale omogenității amestecului, evaluarea eficienței și stabilității procesului de ardere a gazelor în condiții de sarcină variabilă.

Teza este dedicată reducerii consumului de gaze prin optimizarea construcției și a regimurilor de funcționare a arzătoarelor și a impactului ambiental.

S-a realizat standul de experimentare a proceselor de ardere fizică, perfecționându-l pe parcurs, ce a permis simulare arderii, creiînd posibilitatea repetării multiple a condițiilor de cercetare.

Fundamentarea teoretică a rezultatelor obținute se bazează pe ecuațiile criteriului Peklet, valoarea coeficienților de proporționalitate  $c$ , exponentul  $m$ , fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării, exponentul puterii- $n$ .

Rezultatele au fost prelucrate și interpretate folosind funcțiile statistice TREND (excel).

Au fost determinate limitele de viteze ale amestecului la ruperea și pătrunderea flăcării, s-a evidențiat eficiența utilizării arzătoarelor în regimuri de sarcini variabile.

S-a realizat programul de determinare a parametrilor arzătoarelor aplicat la proiectarea arzătoarelor „DAVA”, organizată producerea și implementarea lor.

Datorită informației relevate, materialele tezei se realizează și în procesul didactic de învățământ cu profil tehnic.



## АННОТАЦИЯ

диссертации на тему “ Усовершенствование конструкции и режима работы горелок установок по производства тепловой энергии ”, автор Василе Дауд, инженер, на соискание ученой степени доктора технических наук.

Диссертация написана при ИЕ Академии наук Республики Молдова, Кишинев, 2017.

Структура диссертации: введение, 4 главы, выводы и рекомендации, библиография из 187 названий, 16 приложений, 176 страниц основного текста, 57 фигур, 32 таблиц.

Полученные результаты опубликованы в 22 статьях, 1 патент, 3 научных работ с авторским правом .

Ключевые слова:

горелки природного газа, однородная смесь газ-воздух, стабильность процесса горения, переменная нагрузка, регулирование мощности.

Область исследования относится к теоретическим аспектам однородности смесеобразования и стабильности горения при переменной нагрузке.

Диссертация имеет цель уменьшение потребление газа путем усовершенствование конструкции и режима работы горелок и уменьшение воздействия на окружающую среду.

Научная новизна и оригинальность заключается в выявлении факторов, определяющих концентрацию газа и их взаимодействия для получения зависимости от них концентрации газа в пламени, характеристики устойчивости процесса горения, предложены уравнения стабильности скорости смеси при проскоке/отрыве пламени.

Практические рекомендации направлены на применение теоретических и экспериментальных исследований, используемые при проектировании и изготовлении горелок с переменной нагрузке „DAVA”.

Доказана эффективность горелок переменной мощности.

В то же время, материал диссертации может быть использован в процессе обучения студентов в высших учебных технических заведениях.

## ANNOTATION

For the PhD thesis “Optimization of the construction and operation regimes of the burners of the thermal energy production installations”, presented by Vasile Daud, engineer, in order to confer to him the technical sciences PhD title. The dissertation was developed at the IE of the Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, 2017.

Thesis contains introduction, 4 chapters, general conclusions, 187 bibliographical titles, 16 appendixes, 176 pages of basic text, including 57 figures and 32 tables.

Results have been published in 22 scientific papers, 1 brevet, 3 lucrări științifice cu drept de autor..

Keywords:

natural gas burning, homogeneous air-gas mixture, stable combustion process, variable loading, power regulation.

Area of study refers to the theory and development of gas burners with variable loading.

The purpose of paper:

The purpose of this paper is to evaluate the efficiency and stability of the gas combustion process under variable load.

Scientific novelty and originality: were proved a study on factors determining the concentration of gas main and significant interaction for obtaining gas concentration dependence of the flame.

There were determined the factors and characteristics of stability in the combustion process and dependency of speed of excess air breaking/penetration of flame and were proposed the equations of burning stability.

Theoretical significance and applied value of paper:

The studies related the evaluation of efficiency and stability of combustion of gas in variable load conditions can be used in their practical application to save gas and increase competitiveness of variable power burners.

The practical recommendations are aimed at applying theoretical and experimental investigations that were conducted in an integrated program for the determination of variable power burners parameters and to the design of gas burners "Dava", the thesis can be used in teaching in technical education.

**DAUD VASILE**

**OPTIMIZAREA CONSTRUCȚIEI  
ȘI A  
REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE  
A ARZĂTOARELOR  
INSTALATIILOR DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE**

**221.01 „SISTEME ȘI TEHNOLOGII  
ENERGETICE”**

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

---

Bun de tipar – 24.VII. 2017.	Formatul hârtie 60x84 1/16
Hârtie ofset. Tipar RISO.	Tirajul 50 ex.
Coli de tipar 2,0	Comanda nr.02 - V.D.

---

*Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei: MD 2060, or.  
Chișinău, bd. Academiei, nr. 5, a.432.*